



HAL
open science

Contribution d'une application éducative au développement de la littératie et de la numératie émergentes chez des enfants avec Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) en inclusion scolaire

Carole Saleur

► To cite this version:

Carole Saleur. Contribution d'une application éducative au développement de la littératie et de la numératie émergentes chez des enfants avec Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) en inclusion scolaire. Psychologie. Université de Lorraine, 2022. Français. NNT : 2022LORR0231 . tel-04059489

HAL Id: tel-04059489

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-04059489v1>

Submitted on 5 Apr 2023

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.



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**

**BIBLIOTHÈQUES
UNIVERSITAIRES**

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact bibliothèque : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr
(Cette adresse ne permet pas de contacter les auteurs)

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



Thèse de doctorat

École doctorale SLTC (Sciences, Langages, Temps, Connaissances)

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Mention « Psychologie »

Par Carole SALEUR

Contribution d'une application éducative au développement de la littératie et de la numératie émergentes chez des enfants avec Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) en inclusion scolaire

Soutenue le 28 novembre 2022, à Nancy

Membres du jury :

Mme Céline CLEMENT, Professeure des Universités, Université de Strasbourg (*Présidente du jury*)

Mme Carole TARDIF, Professeure des Universités, Aix-Marseille Université (*Rapporteur*)

Mme Fabienne LEMÉTAYER, Professeure des Universités, Université de Lorraine (*Examineur*)

M. Luc VANDROMME, Professeur des Universités, Université de Picardie (*Examineur*)

M. Youssef TAZOUTI, Professeur des Universités, Université de Lorraine (*Directeur de thèse*)

M. Christophe LUXEMBOURGER, Maître de Conférences, Université de Lorraine (*Co-directeur de thèse*)

Laboratoire Lorrain de Psychologie de Neurosciences de la Dynamique des Comportements

2 LPN, EA, 7489



À Martin, à Dimitri, à Arthur.

À tous les autres élèves exceptionnels qui ont croisé ou croiseront mon chemin.



Je souhaite remercier le Comité national Coordination Action Handicap (CCA), ainsi que la Direction Académique du Numérique 54 (DANE 54) qui ont accepté de financer cette thèse. Je tiens également à remercier tous les acteurs du projet LINUMEN.

Remerciements

C'est dans un restaurant nancéien que cette histoire scientifique a débuté. Que de chemin parcouru depuis ! D'une première présentation de la recherche à Hong Kong, à la communication de ses résultats, à Montréal, du début de l'écriture du manuscrit sur les chemins de Crète, des Hautes-Alpes, des Canaries, d'Égypte, à son achèvement en Norvège. Les communications, elles aussi, partaient de Nancy à Saint Malo, et Montpellier enrichissant grandement les réflexions. La route se termine...enfin ! Mais les aventures continueront !

Ce chemin n'a pas été parcouru seule : ce travail de thèse n'aurait pu aboutir sans l'implication de plusieurs personnes qui m'ont entourée durant ces quatre années.

En premier lieu, je tiens à adresser mes remerciements à mes directeurs de thèse. Youssef Tazouti pour son humour sans faille, sa passion et son efficacité pour les traitements statistiques ainsi que Christophe Luxembourger pour sa sérénité et ses connaissances approfondies des enfants à besoins éducatifs particuliers. Merci pour votre confiance et pour m'avoir permis de réaliser cette thèse dans de bonnes conditions, en prenant en compte mon statut particulier, avec autant d'attention, de bienveillance et de présence.

Je remercie ensuite chaleureusement tous les membres du jury. Carole Tardif et Céline Clément qui me font l'honneur d'être les rapporteurs de cette thèse, Fabienne Lemétayer et Luc Vandromme pour avoir examiné ce travail.

Je voudrais également remercier Fabien Schneider, directeur de l'INSPE de Lorraine, M. Tiquet, Directeur Académique des Services de l'Éducation Nationale, ainsi que les Inspecteurs de l'Éducation Nationale pour leurs différentes autorisations, notamment celle d'être accompagnée d'une élève chien guide, Ricci, qui aide aujourd'hui une jeune femme avec TSA.

Je remercie aussi mes collègues de l'EMA Stanislas pour leurs encouragements et nos échanges, pour leur investissement dans la prise en charge des enfants à besoins éducatifs particuliers.

Je tiens à remercier les membres du laboratoire 2LPN avec lesquels j'ai eu l'honneur et la chance de travailler. Jérôme Dinet, le directeur du 2LPN, pour sa réactivité, Alexandre, Hélène, Blandine, Benoît, Valérie, Alison, Hanna, Maxime, Sunshine...



Je remercie particulièrement les membres de mon comité de suivi de thèse, Annette Jarlegan et Stéphanie Claudel Valentin, pour cette belle collaboration, pour leurs conseils, qui ont permis d'approfondir mon travail de recherche, ainsi que pour leur bienveillance.

Un grand merci à toute l'équipe du groupe LINUMEN, particulièrement à Aude et Lara, ainsi qu'à tous les membres du groupe de co-conception : Yannick Bouché, Gabrielle, Philippe, Bénédicte, Brigitte...

Je remercie évidemment du fond du cœur les élèves avec TSA qui ont participé à cette recherche, qui m'ont appris à mieux connaître ces troubles et apprécier davantage leur singularité. Merci à leurs parents qui m'ont fait confiance, aux enseignants et AESH qui ont accueilli le projet. Sans eux, ce travail n'aurait pu voir le jour.

Merci également à l'équipe de *Learn Enjoy*, notamment Benjamin pour l'échange de nos nombreux mails et pour avoir essayé de concilier les envies avec la réalité du monde informatique.

Un grand merci à mes amis, particulièrement Leslie pour son écoute attentive (ou presque) pendant les matchs de l'ASNL (on s'abonnera de nouveau l'an prochain en ligue 2), Véro à qui je vais enfin pouvoir répondre que la thèse est terminée, Thierry avec qui je reprendrai (sans doute) le saxo, Caro, mon amie d'enfance qui m'encourage dans les projets les plus fous (mais sans me suivre !), Christophe, Gwenaëlle, Hélène...

Je remercie vivement, Leslie et Sylvain pour leur relecture orthographique, Laurent pour sa maîtrise de l'anglais ainsi qu'Alexandre pour la relecture scientifique et la pertinence de ses conseils.

Un énorme merci à mes parents, à ma famille pour avoir cru en moi. Le goût de l'effort, la force du travail viennent sans doute de mon papa et ma maman m'aura donné son sourire indéfectible et son altruisme.

Merci à ma « petite » tribu. Cléopée et Pierre, bientôt docteurs en médecine, Marie qui exercera l'un des plus beaux métiers du monde, elle sera une maîtresse attentive à tous les élèves, Émilien qui rêve également de médecine et enfin, mon petit Philéas qui trouvera sans doute le temps d'éduquer des élèves chiens guides tout en vendant des galettes. Vous m'avez laissé me concentrer sur ma thèse, merci pour les encouragements, les sourires, la fierté que j'ai pu voir dans leurs yeux. À présent, nous allons pouvoir reprendre nos parties de jeux de société !

Merci, enfin et surtout à Sylvain qui m'a laissé vivre cette formidable (et longue) aventure, d'avoir été à mes côtés et de m'avoir laissée partir aussi. Il sait déjà que je vais avoir envie de franchir de nouvelles montagnes, que je mettrai au défi un corps qui lâche peu à peu, mais l'envie, la passion, l'amour de la vie seront toujours vainqueurs.

Résumé

L'objectif général de ce travail de doctorat en psychologie de l'éducation a été de concevoir et d'évaluer l'utilisation d'une application numérique adaptée auprès d'élèves avec TSA, âgés de 4 à 6 ans, scolarisés en inclusion dans des écoles maternelles. L'application *AppLINO*+ (Apprendre avec *LINO* pour les élèves à besoins éducatifs particulier) a été développée à l'Université de Lorraine et vise le développement des compétences en Littératie émergente (LE) et Numératie émergente (NE).

Ce travail de thèse a consisté dans un premier temps à l'analyse de la littérature scientifique. Nous avons pu constater que l'utilisation d'une tablette numérique avec des élèves avec TSA favorisait les apprentissages et permettait de travailler les compétences altérées dans l'autisme telles que l'attention, la communication et l'autonomie. Dans un second temps, nous avons mené une étude avec l'objectif de tester le ralentissement de la parole. Nous avons comparé 22 élèves avec TSA âgés de 4 à 6 ans, scolarisés en inclusion scolaire, à 40 élèves tout-venant du même âge. Ils ont été soumis à deux épreuves : la répétition de phrases du test NEPSY-2 (voir Annexe 1) et le test des concepts verbaux du BOEHM-3, en vitesse réelle ou ralentie de 30%, avec le logiciel LOGIRAL. Les résultats ont montré l'efficacité du ralentissement de la parole sur la compréhension verbale de tous les enfants.

Dans un troisième et dernier temps, nous avons testé l'application *AppLINO* + selon une méthode quasi-expérimentale auprès de 36 élèves avec TSA. Cette étude a eu pour objectif de mesurer le développement des compétences en LE et NE en comparant trois groupes d'élèves : 13 ont utilisé l'application sans le ralentissement des consignes, 14 en ont bénéficié, 9 n'ont pas utilisé *AppLINO*+ et ont profité d'un enseignement traditionnel. Après 12 semaines d'expérimentation, à raison de 4 séances de 10 minutes par semaine, les résultats ont montré que les élèves des groupes expérimentaux ont significativement plus progressé que ceux du groupe contrôle. En revanche, le ralentissement n'a pas permis des progrès supplémentaires. Ces résultats sont discutés et ce travail ouvre des perspectives de recherche pour favoriser l'inclusion des élèves avec TSA et développer leurs compétences. De même, les implications pédagogiques seront évoquées.

Mots clés : TSA – Ralentissement – Application numérique – Inclusion scolaire – Littératie émergente – Numératie émergente

Abstract

The general objective of this doctoral work in educational psychology was to design and evaluate the use of an adapted digital application for children with ASD, aged 4 to 6 years and enrolled in inclusive preschools. The *AppLINO+* application (Learning with LINO for children with special educational needs) was developed at the University of Lorraine and aims at developing skills in Emergent Literacy (EL) and Emergent Numeracy (EN).

This thesis work consisted first of an analysis of the scientific literature; we were able to observe that the use of a digital tablet by children with ASD favored learning and allowed us to work on skills that are impaired in autism such as attention, communication and autonomy. In a second step, we conducted a study with the objective of testing of slowing down speech. We compared 22 children with ASD, aged 4 to 6 years, in inclusive schooling, to 40 students of the same age without ASD. They were subjected to two tests: the sentence repetition of the NEPSY-2 test and the verbal concepts test of the BOEHM-3, in real speed or slowed down by 30% with LOGIRAL. The results showed the effectiveness of slowing down speech on the verbal comprehension of all children.

In the third and last step, we tested the *AppLINO+* application using a quasi-experimental method with 36 students with ASD. The purpose of this study was to measure the development of LE and NE skills by comparing three groups of students: 13 used the app without the instructional slowdown, 14 received the slowdown, and 9 did not use *AppLINO+*. After 12 weeks of experimentation, with four 10-minute sessions per week, the results showed that the students in the experimental groups made significantly more progress than those in the control group. In contrast, slowing down did not result in any additional progress. These results are discussed and this work opens research perspectives to promote the inclusion of children with ASD and develop their skills. The pedagogical implications will also be discussed.

Key words: ASD - Slowing down speech - Digital application - School inclusion - Emergent literacy - Emergent numeracy.



Il est plus facile de désintégrer un atome qu'un préjugé.

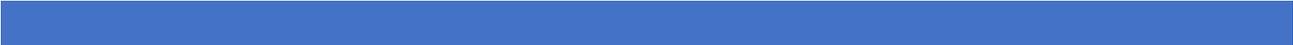
Einstein

Table des matières

Introduction.....	13
Chapitre 1 - Autisme : définitions, diagnostic et étiologies	20
1.1 Évolution de la définition de l'autisme : de Bleuler à Asperger	21
1.1.1 L'autisme de Bleuler, une forme de schizophrénie	21
1.1.2 De la schizophrénie infantile à l'autisme de Kanner : l'autisme infantile précoce, un trouble affectif.....	22
1.1.3 L'autisme d'Asperger : la psychopathie autistique	23
1.2 Les critères des TSA selon les classifications internationales	23
1.2.1 Du DSM 2 au DSM 4.....	23
1.2.2 Le DSM 5 : des TED aux TSA	24
1.2.3 De la CIM 10 à la CIM 11 : la référence en France	26
1.3 Les signes cliniques des TSA.....	26
1.3.1 Des déficits de la communication et des interactions sociales	27
1.3.2 Le caractère restreint ou répétitif des comportements et des intérêts.....	29
1.3.3 Des difficultés sensorielles et perceptives	30
1.4 L'étiologie des TSA	31
1.4.1 Une influence génétique	31
1.4.2 Des facteurs environnementaux.....	32
1.4.3 Une prédisposition neurodéveloppementale.....	32
1.4.4 Le rôle du « cerveau social »	33
1.5 Les outils d'évaluation.....	34
1.5.1 L'évaluation du diagnostic et de la sévérité des TSA.....	35
1.5.2. L'évaluation psychologique.....	36
Conclusion	39

Chapitre 2 – L’inclusion scolaire des élèves avec TSA	40
2.1 L’évolution de la scolarisation des élèves avec TSA	41
2.1.1. Ségrégation/intégration/inclusion.....	42
2.1.2. Une politique inclusive.....	43
2.1.3. Les plans autisme.....	45
2.1.4. Les politiques éducatives en faveur de l’autisme en Europe.....	46
2.2 Les méthodes éducatives proposées aux élèves avec TSA et les implications pédagogiques	48
2.2.1. La méthode ABA : des interventions fondées sur l’analyse appliquée du comportement	49
2.2.2. La méthode TEACCH : un programme de traitement et d’éducation	49
2.2.3 Le modèle de Denver : un programme d’intervention précoce	50
2.2.4. D’autres outils pour faciliter la communication.....	50
2.3 Les effets de l’inclusion scolaire des élèves avec TSA.....	52
2.3.1. Les différents parcours de scolarisation pour les élèves avec TSA.....	52
2.3.2. Les effets sur la relation pédagogique	53
2.3.3. Les effets sur les élèves	56
Conclusion	62
Chapitre 3- Les applications éducatives sur tablettes tactiles auprès des élèves avec TSA	64
Article 1 - Les applications éducatives sur tablettes tactiles auprès d’élèves avec Troubles du Spectre de l’Autisme (TSA) : une revue de la littérature.....	66
Conclusion	92
Chapitre 4 - Le ralentissement : une stratégie efficace auprès des élèves avec TSA.....	94
4.1. De la malvoyance du mouvement et de l’é-motion aux Désordres du Traitement Temporo-Spatial (DTTS).....	95
4.2. Les bénéfices du ralentissement.....	97

4.2.1 Le ralentissement permet d'accroître la fixation visuelle des élèves avec TSA sur le visage	97
4.2.2 Le ralentissement améliore la reconnaissance des expressions faciales.....	99
4.2.3 Le ralentissement permet l'imitation	100
4.2.4 Le ralentissement réduit les comportements inadaptés	101
4.2.5 Les bénéfices de l'utilisation du ralentissement par les orthophonistes.....	103
4.3. Article 2 - Ralentir la parole pour favoriser la compréhension verbale des enfants porteurs d'autisme.....	106
Conclusion	122
Chapitre 5 - <i>AppLINOU+</i> : une application pour développer des compétences en littératie et numératie émergentes.....	124
5.1 Le développement des compétences en littératie et numératie émergentes.....	125
5.1.1 La littératie émergente	125
5.1.2 La numératie émergente	127
5.1.3 Le développement des compétences en LE chez les élèves avec TSA.	129
5.1.4 Le développement des compétences en NE chez les élèves avec TSA.....	133
5.2 Présentation du projet LINUMEN	135
5.2.1 La phase de co-conception	136
5.2.2 La phase expérimentale	139
5.3 Adaptation d' <i>AppLINOU</i> pour les enfants à besoins éducatifs particuliers.....	141
5.3.1 Le contexte	142
5.3.2 Les activités d' <i>AppLINOU+</i>	142
5.3.3 Les fonctionnalités d' <i>AppLINOU+</i>	144
5.4. Article 3 - Les résultats de l'expérimentation (<i>AppLINOU+</i>)	145
Conclusion	171



Discussion générale.....	173
Conclusion	179
Bibliographie.....	182
Liste des tableaux.....	215
Liste des figures	216
Annexes.....	218
Annexe 1	219
Annexe 2	221
Annexe 3	222
Annexe 4	223
Annexe 5	224
Annexe 6	226
Annexe 7	229
Annexe 8	233
Annexe 9	235
Annexe 10	236

Introduction

De nombreuses recherches montrent que les compétences en littératie émergente (LE) et en numératie émergente (NE) permettent de prédire les compétences scolaires ultérieures (par ex., Duncan et al., 2007 ; Jordan et al., 2009). De même, des interventions spécifiques peuvent aider les enfants d'âge préscolaire à les acquérir et à les maîtriser, aussi bien en LE (Borre et al., 2019) qu'en NE (voir Nelson et McMaster, 2019, pour une analyse). Plusieurs études récentes ont évalué l'efficacité des applications éducatives sur tablette à améliorer ces compétences (par ex., Griffith et al., 2020 ; Outhwaite et al., 2017, 2019 ; Neumann, 2018). S'il existe un grand nombre de travaux sur les élèves au développement typique, peu de recherches ont porté sur le développement des compétences en LE et NE des élèves avec TSA (par ex., Apanasionok et al., 2021 ; Solari et al., 2021). En outre, la majorité des applications éducatives destinées à ces enfants se concentrent sur le développement des compétences sociales et de communication et peu d'entre elles visent l'apprentissage académique, en particulier des enfants d'âge préscolaire (Koumpouros & Kafazis, 2019). Nous commençons dans un premier temps par définir l'autisme et évoquer la question de l'inclusion des élèves avec TSA. Dans un second temps, nous abordons la question de l'apport des applications éducatives au développement et aux apprentissages de ces enfants. Ensuite, nous évoquons nos questions de recherche, nos hypothèses et notre protocole expérimental.

La première partie de cette thèse débute par une présentation générale des TSA. Selon Plumet (2014), l'autisme n'est certainement pas une pathologie datant du XXe siècle : elle cite le cas d'enfants qualifiés autrefois d'*arriérés* qu'on diagnostiquerait aujourd'hui peut-être comme autistes. Kanner (1943) et Asperger (1944) vont différencier la psychose infantile de l'autisme à partir d'enfants présentant des symptômes communs : difficultés de communication et d'adaptation à l'univers social allant jusqu'à un isolement et une rigidité comportementale. La définition retenue aujourd'hui est proche puisque les troubles du spectre de l'autisme, reconnus comme étant des troubles neurodéveloppementaux, sont caractérisés par des altérations de la communication et des interactions sociales, ainsi que par des comportements ou intérêts restreints (DSM-5, APA, 2015). Sur la base d'une prévalence d'environ 1% de la population, en augmentation, la Haute Autorité de Santé (HAS) estime qu'en France, 700 000 personnes présenteraient un trouble du spectre autistique, soit 7500 bébés naissant chaque année (HAS, 2018). À partir de 54 études récentes, Loomes et al. (2017) estiment que cette prévalence serait de trois garçons pour une fille. Plusieurs facteurs expliquent l'augmentation de la prévalence : 1° une connaissance améliorée des TSA conduisant à un meilleur

dépistage, 2° davantage de diagnostics tardifs, 3° un diagnostic des filles qui serait mieux pris en compte 4° et un élargissement des critères diagnostiques. Concernant les causes, Plumet (2014) évoque un modèle étiologique multifactoriel avec différentes combinaisons qui impliqueraient des facteurs génétiques en interaction avec une pluralité de facteurs environnementaux ainsi qu'une prédisposition neurodéveloppementale. Il n'y a pas un, mais *des* autismes (Tardif & Gepner, 2019).

La deuxième partie porte sur l'inclusion scolaire des élèves avec TSA. Depuis les lois du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées (MEN, 2005), puis la loi du 8 juillet 2013 pour la refondation de l'École de la République (MEN, 2013), tous les élèves avec TSA ont droit à un parcours scolaire en inclusion auprès des enfants « ordinaires ». Malgré une volonté politique inclusive, la scolarisation des élèves avec TSA reste encore problématique. En effet, en 2016, 32 000 élèves avec TSA étaient scolarisés de la maternelle au lycée, ce qui représente environ 30 % de l'estimation du nombre d'enfants et d'adolescents avec TSA vivant en France (Secrétariat chargé des personnes handicapées, 2018). À la rentrée de septembre 2021, 45 000 élèves avec TSA du premier et second degré seraient scolarisés ; plus de 16 000 le seraient dans des établissements spécialisés (DEEP, 2022). Malgré les deux premiers plans autisme de 2005-2008 et 2008-2010, la France a été condamnée par le Conseil de l'Europe le 11 septembre 2013, jugeant que la scolarisation, pourtant obligatoire, des élèves avec TSA n'était pas assurée. Le bilan du troisième plan autisme, 2013-2017, montre que malgré des évolutions notables et le développement des pratiques d'inclusion en milieu ordinaire, le parcours des élèves avec TSA est marqué par de nombreuses ruptures et par des temps de scolarisation réduits quel que soit le dispositif d'accueil. Le 4e plan autisme (2018-2022), appelé également la stratégie nationale pour l'autisme, priorise le diagnostic, le repérage précoce ainsi qu'une scolarisation effective des élèves avec TSA.

Presque 20 ans après la loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes en situation de handicap, la mobilisation pour construire une école inclusive reste fondamentale. En effet, malgré leurs difficultés, les élèves avec TSA sont capables d'apprentissages académiques si des outils adaptés sont proposés à leur profil particulier. Ainsi, les nouvelles technologies numériques seraient des outils complémentaires au service de l'enseignement (Yelland, 2018). Dès leur plus jeune âge, les enfants peuvent interagir avec des objets numériques (Marsh et al., 2015 ; Merchant, 2015). La troisième partie de cette thèse abordera les applications éducatives sur tablettes tactiles. Ces dernières correspondent parfaitement au traitement

perceptif et temporel observés dans l'autisme en réduisant les difficultés liées aux interactions sociales (Virole, 2014). Les informations sont présentées de façon séquentielle (Knight et al. 2013), les réponses sont immédiates (Grossard & Grynspan, 2015), prévisibles (Murray, 1997) et permettent des activités répétées (Hedges et al., 2018). L'utilisation d'une tablette numérique avec des élèves avec TSA favoriserait les apprentissages (Kagohara et al., 2013 ; Stasolla et al., 2016 ; Fage et al., 2018 ; Eliçin et al., 2017), augmenterait la motivation, la concentration et l'autonomie (Amar et al., 2012 ; Mercier et al., 2017 ; Garnier, 2017). De plus, elle améliorerait les interactions sociales (Amar et al., 2012 ; Mercier et al., 2017 ; Allen et al., 2016 ; Fage et al., 2018 ; Xin & Leonard, 2014 ; Renaud et al., 2018), réduirait les comportements inappropriés et augmenterait les comportements positifs (Neely et al., 2013 ; Briet et al., 2018 ; Renaud et al., 2018 ; Amar et al., 2012). Toutefois, la littérature souligne des limites car une utilisation excessive peut conduire à une isolation sociale (Martin, 2018), un usage à contre-emploi peut inviter à répondre au hasard ou un risque de fatigue visuelle peut survenir (Garnier, 2017, 2018). Il est donc important d'en faire un usage raisonné. Enfin, Koumpouros & Kafazis (2019) soulignent que les effectifs des études sont souvent faibles avec notamment une taille de l'échantillon réduite en moyenne à neuf participants, une durée d'expérimentation courte et des résultats non généralisables en l'absence fréquente de groupe contrôle (Grossard & Grynspan, 2015).

Par ailleurs, Xie et ses collaborateurs (2018) montrent des effets significatifs de l'apprentissage sur tablette avec des enfants jusque 5 ans par rapport à un apprentissage traditionnel. En effet, pour que les applications soient efficaces, il paraît important qu'elles soient dotées de qualités pédagogiques. À partir de multiples recherches en sciences de l'éducation, Hirsch Pasek et al. (2015) proposent quatre piliers nécessaires pour que les applications puissent être éducatives : un apprentissage actif, un apprentissage qui fait sens pour les apprenants, un engagement de ceux-ci dans la tâche et une interaction avec les pairs. Pour les élèves avec TSA, il est nécessaire que l'univers graphique soit épuré (Bertone et al., 2005) et que les consignes soient courtes (Murphy, 2006). Le quatrième chapitre traitera du ralentissement des consignes qui pourrait également être une aide pour les élèves avec TSA. En effet, le DSM-5 (APA, 2015) reconnaît la présence d'une hyper ou hyporéactivité aux stimulations sensorielles qui seraient présentes chez 82 à 97% des personnes avec TSA (Dellapiazza et al., 2018). Afin de mieux accompagner ces personnes, Gepner (2014) propose de ralentir les informations autour d'elles. Gepner et Tardif (2012, 2014) ont ainsi développé *LOGIRAL* (LOGItiel de *RALentissement*) qui permet de ralentir les signaux auditifs et visuels. De nombreuses études ont mentionné les aspects positifs du ralentissement. Il permettrait une meilleure

reconnaissance des expressions faciales (Gepner et al., 2020) et une attention accrue pour le visage d'autrui (Meiss et al., 2015 ; Tardif et al., 2016). Il améliorerait également la discrimination phonologique (Tardif et al., 2002) et augmenterait la communication verbale et non verbale, les performances dans la cognition verbale (Tardif et al., 2017) et l'amélioration de la compréhension verbale (Saleur et al., 2021). Il pourrait donc faire partie des stratégies efficaces pour le développement des compétences des élèves avec TSA.

Enfin, la cinquième et dernière partie abordera le développement des compétences en Littératie Emergente (LE) et Numératie Emergente (NE). De nombreuses recherches montrent qu'elles peuvent être développées par des applications éducatives (par ex. Griffith et al., 2020 ; Outhwaite et al., 2017, 2019 ; Neumann, 2018). Pour qu'une compétence soit considérée comme émergente, il est nécessaire qu'elle soit présente dès la période préscolaire et qu'elle soit corrélée et prédictive des apprentissages ultérieurs (Lonigan & Shanahan, 2009). La littératie émergente peut être définie comme un ensemble de compétences et connaissances qui apparaissent avant le développement des activités formelles de lecture et d'écriture (Snow et al., 1998 ; Whitehurst & Lonigan, 1998). Dans la littérature scientifique, certaines composantes sont principalement étudiées comme la connaissance des lettres, le vocabulaire, la compréhension ou encore la conscience phonologique (Bara et al., 2008 ; Purpura & Napoli, 2015). De même, avant leur entrée à l'école élémentaire, les enfants développent également des compétences en numératie émergente (Sarama & Clements, 2009). Celle-ci se compose de compétences mathématiques précoces distinctes qui s'articulent en interaction pour construire les compétences mathématiques plus avancées (Aunola et al., 2004 ; Purpura et al., 2013). Certaines composantes sont principalement étudiées comme la connaissance des chiffres et des nombres, la chaîne numérique, le dénombrement ou les problèmes à histoire. Ces compétences sont corrélées aux futurs apprentissages des enfants, il paraît donc essentiel de les développer dès le plus jeune âge.

Nous constatons que les études se sont majoritairement intéressées aux programmes d'accompagnement des personnes avec TSA pour le développement des compétences en communication et en socialisation. Peu de travaux ont porté sur le développement des compétences scolaires, un domaine essentiel pour l'inclusion des élèves avec TSA. Notre étude proposera donc d'étudier les effets de l'utilisation d'une application éducative auprès d'élèves avec TSA scolarisés en inclusion dans des écoles maternelles. *AppLINOU+* (Apprendre avec LINO), destinée à développer des compétences en LE et NE des élèves avec TSA a été développée par une équipe multi-catégorielle (chercheurs, enseignants, conseillers pédagogiques, Inspectrice de l'Éducation Nationale,

informaticiens) à l'Université de Lorraine, dans le cadre du projet LINUMEN (Littératie et Numératie Emergentes par le Numérique) lauréat de l'appel à projet e-FRAN (Espaces de Formation, de Recherche et d'Animation Numérique) dans le cadre PIA 2 (Projet Investissement Avenir 2). Elle prolonge l'application *AppLINO* qui vise le développement des compétences en LE et NE des enfants d'âge préscolaire. Cette dernière a été testée selon une méthode expérimentale et longitudinale de 2018 à 2020 (Tazouti et al., 2022). *AppLINO+* a également été développée selon le modèle iRPD (*Research, Practice and Design Framework*, en anglais). Ce modèle de co-conception repose sur une triple collaboration des acteurs, un socle identique de connaissances, une prise en compte des facteurs culturels et l'examen des affordances de l'outil, avec une pédagogie centrée sur l'enfant.

Même si de nombreuses études ont montré l'effet positif des applications éducatives sur tablette dans l'apprentissage des enfants, notamment en LE et NE (par ex., Neumann, 2018, Outhwaite et al., 2017, 2019), les recherches sur les élèves avec TSA restent limitées. En outre, plusieurs auteurs ont souligné la nécessité d'études supplémentaires utilisant une approche expérimentale ou quasi-expérimentale (Hassler et al., 2015 ; Neumann, 2018). La recherche menée dans le cadre de cette thèse a utilisé une méthodologie quasi-expérimentale pour évaluer l'impact de l'utilisation d'*AppLINO+* en classe sur les compétences en LE et NE des élèves avec TSA. Nous avons testé deux hypothèses :

Hypothèse 1. Nous nous attendons à ce que les élèves qui ont utilisé *AppLINO+* en classe (groupes expérimentaux) aient fait plus de progrès en LE et NE que ceux qui n'ont pas utilisé *AppLINO+* (groupe contrôle).

En effet, les aspects captivants, motivants, normalisants et non stigmatisants de la tablette numérique (Arthanat et al., 2013), la personnalisation de l'interface, les *feedbacks* immédiats (Hailpern, 2007) permettraient aux élèves avec TSA de mieux entrer dans les apprentissages, de maintenir leur attention, d'être plus autonomes (Arthanat et al., 2013), de travailler à leur rythme et de répéter autant de fois que nécessaire (Campigotto et al., 2013). L'implication de plusieurs sens serait également un avantage (Mintz et al., 2012). L'usage de tablettes numériques améliorerait le fonctionnement cognitif et socio-adaptatif des élèves avec TSA (Fage et al., 2018).

Hypothèse 2. Nous nous attendons à ce que les élèves du groupe expérimental 1 bénéficiant du ralentissement aient de meilleurs résultats en LE et NE que ceux du groupe expérimental 2 qui n'en ont pas bénéficié.

En effet, pour de nombreuses personnes avec TSA, le monde va trop vite. « Ce décalage temporel avec le monde environnant induit chez elles une cascade de désordres émotionnels, communicatifs et relationnels, se traduit souvent par des incompréhensions, une lenteur et des maladresses » (Gepner, 2014, p.12). Une application identique à *LOGIRAL* (Gepner & Tardif, 2012 ; 2014) sera utilisée dans notre expérimentation pour ralentir les consignes afin que les élèves aient plus de temps pour les assimiler.

Pour tester nos deux hypothèses, *AppLINO+* a été utilisée selon une méthodologie quasi expérimentale auprès de 36 élèves avec TSA, scolarisés en inclusion dans des écoles maternelles. Neuf enfants appartiennent au groupe contrôle et ne disposent pas de l'application. Treize élèves font partie du groupe expérimental 1 ; ils utilisent *AppLINO+* sans le ralentissement des consignes. Enfin, les quatorze autres élèves forment le groupe expérimental 2 et utilisent *AppLINO+* avec ralentissement. L'étude a duré 12 semaines, à raison de 40 minutes hebdomadaires. La moitié du temps, les élèves avec TSA utilisent l'application avec un autre élève de la classe d'inclusion. Concernant la mesure des apprentissages, nous avons utilisé les tests élaborés dans le cadre du projet LINUMEN pour les évaluations initiales et finales. Il s'agit de l'Echelle Préscolaire de Littératie Emergente (EPL, Thomas et al., 2021a) ainsi que des échelles adaptées de Numératie Emergente (Thomas et al., 2021b) avec des adaptations (contenu limité pour réduire la durée de l'évaluation) liées au handicap. Le test d'intelligence WPPSI-IV (*Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence*, en anglais, Wechsler, 2014) a également utilisé comme outil de référence des performances intellectuelles. Le PEP-3 (Profil Psycho-Educatif, Schopler et al., 2021) est retenu pour une évaluation des niveaux de développement cognitif ainsi que pour déterminer les forces et les faiblesses des élèves.

Le premier chapitre théorique de cette thèse présente l'évolution de la définition de l'autisme et précisera les signes cliniques, les outils d'évaluation et les étiologies des TSA. Nous verrons dans un deuxième chapitre l'évolution de la scolarisation des élèves avec TSA, les méthodes éducatives qui leur sont proposées et mesurerons certains effets de l'inclusion scolaire, aussi bien du côté des élèves que des enseignants. Le troisième chapitre de cette thèse présente une revue de la littérature



sur les applications éducatives auprès des élèves avec TSA (voir article 1). Puis, dans le quatrième chapitre, nous nous focaliserons sur le ralentissement, une stratégie qui paraît efficace pour le développement des compétences de ces enfants (*voir* article 2). Le cinquième chapitre abordera les notions de littératie et de numératie émergentes puis nous présenterons les applications *AppLINOU* et *AppLINOU+*. Un troisième article exposera les résultats de l'utilisation d'*AppLINOU+* auprès d'élèves avec TSA scolarisés en inclusion. Enfin, le chapitre six consistera en une discussion générale. Nous tenterons de répondre à notre question principale de recherche : l'utilisation d'une application numérique adaptée permet-elle de développer des compétences en LE et NE chez des enfants âgés de 4 ans à 6 ans avec TSA ? Nous pointerons également quelques limites et proposerons des implications pratiques et pédagogiques ainsi que de nouvelles perspectives de recherche.

Chapitre 1 - Autisme : définitions, diagnostic et étiologies

Les Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) sont des troubles neurodéveloppementaux, d'apparition précoce qui altèrent les fonctions intellectuelles, motrices ou sociales. Les caractéristiques de l'autisme diffèrent d'une personne à une autre. Nous parlons donc de spectre afin de souligner les variations en intensité du trouble et ses manifestations très différentes. Si l'autisme est probablement une pathologie ancienne, antérieure au XXe siècle (Plumet, 2014), sa définition est récente. En effet, Kanner (1943) va être le premier à différencier la schizophrénie infantile de Bleuler de l'autisme infantile précoce, insistant sur le caractère inné de ce trouble. À la même période, Asperger (1944) observe chez certaines personnes avec autisme, les mêmes difficultés sociales (par ex., l'isolement, un manque d'empathie), comportementales (par ex., une rigidité, des intérêts restreints) et communicationnelles, mais avec une apparition précoce du langage et des capacités intellectuelles efficientes. Il définit alors le syndrome d'Asperger, présent dans les classifications internationales jusqu'en 2013. Le *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, en anglais, le DSM-5 (APA, 2015) et la Classification Internationale des Maladies, la CIM 11 (OMS, 2018) le catégorisent actuellement dans les troubles du spectre de l'autisme.

Les classifications et le diagnostic ont ainsi évolué au fil des années. Les TSA sont caractérisés par une dyade autistique et se manifestent principalement par des déficits de la communication et des interactions sociales ainsi que par des intérêts restreints et répétitifs. Les symptômes sont présents depuis la petite enfance et altèrent le fonctionnement quotidien de la personne (APA, 2015). La reconnaissance des spécificités sensorielles est ajoutée comme critère diagnostic : une majorité des personnes avec TSA ont des atypies au niveau du traitement de l'information sensorielle. Par exemple, à partir de l'étude de 18 enfants âgés de 2 à 7 ans, Brouche et ses collaborateurs (2020) ont constaté que 100% des enfants avaient des particularités sensorielles concernant les modalités visuelles et 66% concernant les modalités tactiles.

L'étiologie des TSA est multifactorielle (Lord et al., 2018). Une combinaison de facteurs génétiques, autres que neurologiques ou environnementaux, pourrait être la cause de ces anomalies neurodéveloppementales. Aucun facteur unique ni mécanisme ne peut rendre compte de son origine, c'est pourquoi Tardif et Gepner (2019) parlent des autismes. Un dépistage et une prise en charge précoces permettraient de modifier la trajectoire développementale ; la plasticité du cerveau est forte pendant la petite enfance et des premiers signes évocateurs apparaissent très tôt- souvent dès les premiers mois de vie du bébé. La nouvelle stratégie pour l'autisme définie par le gouvernement

français en 2018 place ainsi la recherche au cœur de sa politique publique afin de diagnostiquer et d'intervenir plus précocement. L'objectif affiché est de prendre en compte les besoins spécifiques des personnes et de leur entourage pour les accompagner dignement et efficacement.

Dans cette première partie, nous présenterons d'abord l'évolution de la définition de l'autisme. Puis nous préciserons les critères des TSA selon les classifications internationales. Ensuite, nous décrirons l'étiologie qui englobe à la fois des facteurs génétiques, environnementaux et neurologiques. Enfin, nous exposerons les outils actuellement utilisés pour diagnostiquer l'autisme.

1.1 Évolution de la définition de l'autisme : de Bleuler à Asperger

D'une forme schizophrénique à une psychopathie autistique, en passant par un trouble affectif, les définitions de l'autisme ont considérablement évolué au cours du XX^{ème} siècle. Elles s'accordent néanmoins pour définir l'élève avec TSA comme solitaire, isolé, et éprouvant des difficultés dans la communication et les interactions sociales.

1.1.1 L'autisme de Bleuler, une forme de schizophrénie

Bleuler (1911), un psychiatre suisse, est la première personne à utiliser le mot « autisme ». Il propose le mot allemand *Autismus* (du radical grec ancien *αὐτός*, *autós*) signifiant « soi-même » pour décrire un retrait sur soi, un isolement, ainsi que des difficultés de communication qu'il observe chez des adultes schizophrènes. Selon lui, l'autisme est une forme de schizophrénie, plutôt d'ordre neurodéveloppemental que neurodégénératif. Il parle de schizophrénie infantile pour décrire des enfants repliés sur eux-mêmes et, selon lui, en train d'halluciner.

La psychanalyste austro-britannique, Klein (1930), définit également le terme de schizophrénie infantile ou psychose infantile en décrivant un manque de contact affectif ainsi que des stéréotypies. Son attention est centrée sur un enfant, Dick, indifférent à la présence des personnes, insensible à la douleur, qui disposait d'un langage particulier mais sans envie manifeste de se faire comprendre, avec les comportements différents des enfants névrosés. Elle écarte également la responsabilité de l'autisme attribuée aux mères car elle estime que le rôle de l'environnement familial n'est pas premier.

1.1.2 De la schizophrénie infantile à l'autisme de Kanner : l'autisme infantile précoce, un trouble affectif

Despert (1938) et Kanner (1943) sont des pionniers en s'intéressant à une clinique non pas de l'adulte mais de l'enfant et en soumettant l'hypothèse que l'autisme est présent depuis la naissance, lui accordant une origine génétique. C'est un syndrome qui a un déterminisme neurobiologique. Despert (1938) transpose le concept de schizophrénie à l'enfant en schizophrénie infantile : on ne parle pas encore d'autisme. Elle fait l'hypothèse que la schizophrénie infantile serait présente dès la naissance, ce qui va à l'encontre des thèses psychanalytiques qui suggèrent qu'un temps de développement normal précède l'arrivée de la schizophrénie. Elle décrit des cas d'enfants schizophrènes qui présentent depuis leur naissance des signes tels qu'une insociabilité, un repli sur soi, une tendance à la rêverie, une peur des nouveaux contacts, de l'irritabilité, parfois de l'hyperactivité ou de l'agressivité, ainsi qu'une tendance à vivre dans son monde.

Kanner (1943), un pédopsychiatre américain d'origine autrichienne, se penche sur le cas de quelques enfants incapables de communiquer et d'établir des relations sociales dès leur plus jeune âge. Ses recherches diffèrent de celles de Bleuler : le trouble autistique ne serait pas une conséquence mais bien un défaut fondamental. Il y a dès le départ une solitude autistique extrême avec un rejet des autres. De plus, selon lui, autisme et schizophrénie sont différents car l'enfant porteur d'autisme n'hallucine pas. Kanner désigne sous le terme d'autisme infantile précoce, des enfants, repliés sur eux-mêmes, dans un isolement extrême ayant une aversion pour le changement, des comportements répétitifs, des réactions anormales au bruit, sujets à de sévères crises d'angoisse au moment des changements ainsi que des troubles alimentaires. Selon lui, l'autisme est un trouble affectif. À partir de onze cas (huit garçons et trois filles dont trois enfants non verbaux), il constate : 1° des déficits dans la communication (paroles monotones, écholalies, inversion des pronoms personnels (je/tu), une compréhension très littérale, 2° des déficits dans les interactions sociales : difficulté à établir un lien affectif avec l'autre ou des relations particulières avec les personnes, et 3° des intérêts restreints, une limitation de la variété de l'activité spontanée (manque de curiosité, d'intérêt pour la nouveauté), des difficultés liées au changement avec besoin de permanence. Il évaluait la prévalence de l'autisme, c'est-à-dire le nombre de personnes avec TSA dans la population de 2 à 5 cas pour 10 000 (Tardif & Gepner, 2019).

1.1.3 L'autisme d'Asperger : la psychopathie autistique

Sans avoir eu connaissance des travaux de Kanner, Asperger (1944), pédiatre autrichien, étudie la psychopathie autistique de l'enfant. À partir de l'étude de cas de quatre enfants, sa définition de l'autisme associe un repli sur soi dès le plus jeune âge, un manque d'empathie, des troubles de la communication, l'absence ou la faiblesse de contacts visuels ainsi qu'un mélange entre des capacités lacunaires et de véritables exploits intellectuels.

Bleuler, Kanner et Asperger s'entendent sur un point : l'enfant avec TSA est replié sur lui. Entre 1943 et les années 1970, il n'y a pas de véritable changement dans la manière d'associer autisme infantile et schizophrénie. Il faudra attendre la révolution psychiatrique des années 1970 pour que l'autisme se différencie de la psychose et de la schizophrénie.

1.2 Les critères des TSA selon les classifications internationales

Dans les années 1970, il y a une reconnaissance du diagnostic de l'autisme. Un changement de paradigme s'opère car on passe d'un trouble affectif (Kanner) à un trouble de dysfonctionnement de la cognition et plus particulièrement de la communication et des interactions sociales. Ce changement correspond notamment à une évolution de l'approche des troubles psychiatriques qui s'opère en 1980 avec le DSM III (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, en anglais), à partir duquel les maladies mentales sont définies cette fois uniquement par une description des symptômes et signes cliniques et n'intègrent plus aucune théorie étiologique.

Au niveau international, il existe deux classifications. La première, le DSM, est un manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, publié par l'Association Américaine de Psychiatrie, aux États-Unis. La seconde, la Classification Internationale des Maladies (CIM) est publiée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé). À chaque nouvelle édition du DSM, la définition de l'autisme évolue et s'élargit. Nous évoquerons les points communs et les divergences par rapport à la CIM-11.

1.2.1 Du DSM 2 au DSM 4

Le DSM est une classification des troubles mentaux qui sert de référence lors du diagnostic. Dans la première version du DSM, apparue en 1952 et dans le DSM 2 (APA, 1968), l'autisme est associé à une forme de schizophrénie infantile. Ce n'est que quarante années après les travaux de Kanner et d'Asperger que le DSM dissocie l'autisme infantile de la schizophrénie ou de la psychose



infantile. En effet, en 1980, le DSM 3 (APA, 1980) reconnaît l'autisme comme un trouble spécifique. On parle désormais du « trouble autistique » qui intègre les « Troubles Envahissants du Développement » (TED). L'autisme de Bleuler chez l'adulte disparaît, laissant place à l'autisme infantile comme trouble à part entière.

Wing (1981), une pédiatre britannique, suggère que les symptômes et leur intensité se situent sur un continuum avec des troubles pouvant varier d'une difficulté dans les interactions sociales à un retrait majeur. Elle introduit ainsi la notion de spectre. Elle fait l'hypothèse qu'un certain nombre de zones cérébrales chez l'enfant avec TSA sont vulnérables, particulièrement celles qui traitent les informations sociales et les facultés de communication. Elle pose les bases de la triade autistique avec une présence des troubles des interactions sociales, des troubles dans la communication verbale et non verbale, un caractère restreint ou répétitif des intérêts et des comportements. Elle se différencie ainsi de Kanner : l'autisme ne serait pas lié à un trouble affectif mais à un trouble de la communication et des interactions sociales. Elle utilise le terme de « syndrome d'Asperger » pour qualifier ce handicap, présent dès le plus jeune âge et qui entrave les capacités de communication et de socialisation.

Dans le DSM-4 (APA, 1994) et le DSM-4-TR (APA, 2000), les TED regroupent l'autisme décrit par Kanner, le syndrome d'Asperger, le syndrome désintégratif de l'enfance, le syndrome de Rett et les troubles du développement non spécifiés.

1.2.2 Le DSM 5 : des TED aux TSA

Dans la dernière classification internationale de l'Association Américaine de Psychiatrie, le DSM 5 (APA, 2015), les différentes formes d'autisme sont regroupées dans une seule catégorie, les TSA, caractérisée par deux dimensions symptomatiques (voir tableau 1) et différents critères diagnostiques (voir Annexe 2). Les TSA sont des troubles neurodéveloppementaux au même titre que les troubles de l'attention, des apprentissages, du développement intellectuel, de la motricité ou de la communication. La notion de spectre est mise en avant dans le but de souligner le fort degré d'hétérogénéité des manifestations de symptômes et signes comportementaux très variables d'un enfant porteur de ce trouble à un autre (Gillet et al., 2018). Autrement dit, face à cette grande variété d'expressions de l'autisme, il existerait autant d'autismes que de personnes avec TSA. On parle désormais de sévérité des troubles. La sévérité est caractérisée selon les besoins que le trouble engendre dans la communication sociale et les comportements répétitifs et restreints. Les personnes avec TSA de niveau 1 nécessitent un soutien et ont des difficultés perceptibles en communication et

socialisation. Elles ont, par exemple, des difficultés ou un manque d'intérêt à initier des interactions sociales. De plus, les comportements restreints et répétitifs peuvent nuire au fonctionnement de la personne. Les personnes de niveau 2 ont besoin d'un soutien important. Les symptômes associés comprennent des déficits marqués au niveau de la communication verbale et non-verbale impactant les activités quotidiennes. Enfin, selon le DSM-5, le niveau 3 marque un besoin de soutien très important en raison de déficits graves dans les compétences de communication et dans les interactions sociales ainsi que des comportements répétitifs et restreints sévères. La communication et les interactions sociales ne forment désormais plus qu'un seul groupe de symptômes. Les problèmes sensoriels (hyper ou hypo réactivité sensorielle) sont aujourd'hui reconnus comme un symptôme spécifique figurant parmi le caractère restreint et répétitif des comportements et des intérêts (voir Tableau 1). Nous passons d'une triade autistique à une dyade autistique.

De plus, selon la Haute Autorité de Santé (HAS, 2018), le diagnostic doit préciser : 1° avec ou sans déficience intellectuelle, 2° avec ou sans altération du langage, 3° associé à une pathologie médicale ou génétique connue ou à un facteur environnemental, 4° associé à un trouble neurodéveloppemental, mental ou comportemental (TDAH, TAC, troubles des apprentissages, troubles anxieux), et 5° avec catatonie (présence de régressions comme l'incontinence, refus alimentaire, mouvements automatiques compulsifs, verbigération).

Tableau 1.

Dyade autistique (d'après le DSM-5, APA, 2015)

Déficits persistants de la communication et des interactions sociales observés dans des contextes variés	<ul style="list-style-type: none"> Déficit de réciprocité sociale ou émotionnelle Déficits des comportements non verbaux Déficits du développement, maintien de la compréhension des relations
Caractère restreint et répétitif des comportements, des intérêts, des activités	<ul style="list-style-type: none"> Mouvements répétitifs ou stéréotypés Intolérance au changement, adhésion inflexible à des routines Intérêts restreints ou fixes, anormaux dans leur intensité ou leur but Hyper ou hyposensibilité aux stimuli sensoriels

1.2.3 De la CIM 10 à la CIM 11 : la référence en France

Jusqu'en 2022, en France, c'est la CIM-10 (OMS, 1989) qui est recommandée par la Haute Autorité de Santé pour le diagnostic de l'autisme. Elle définit l'autisme selon la triade autistique proposée par Wing (1981) et classe cette particularité dans la catégorie des TED. La typologie des TED regroupe huit catégories avec des critères diagnostiques propres qui sont l'autisme infantile, l'autisme atypique, le syndrome de Rett, les autres troubles désintégratifs de l'enfance, une hyperactivité associée à un retard mental et des mouvements stéréotypés, le syndrome d'Asperger, les autres TED et les TED sans précision.

Le 18 juin 2018, l'Organisation Mondiale de la Santé a publié la CIM-11, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2022. Les TSA sont des troubles neurodéveloppementaux, continus, d'apparition précoce qui altèrent les fonctions intellectuelles, motrices ou sociales. Concernant la description des caractéristiques de l'autisme, la CIM-11 (OMS, 2018) comprend les deux mêmes catégories que le DSM-5 (APA, 2013) ; les symptômes répartis en deux domaines principaux sont identiques. La classification des troubles neurodéveloppementaux est identique et regroupe : 1° les troubles du développement intellectuel, 2° les troubles de la communication, 3° les TSA, 4° les troubles spécifiques des apprentissages (dyslexie, dyscalculie, dysorthographe), 5° les troubles moteurs (trouble développemental de la coordination, des mouvements stéréotypés, tics avec une distinction pour la CIM-11 qui distingue le trouble du développement de la coordination motrice, les troubles des mouvements stéréotypés, les tics et les tics primaires), 6° le déficit de l'attention/hyperactivité, 7° les autres troubles neurodéveloppementaux non spécifiés. Les particularités sensorielles inhabituelles sont toujours prises en compte. Une distinction est néanmoins présente au sein des TSA car la CIM-11 (OMS, 2018) est centrée sur les niveaux de développement intellectuel et du langage fonctionnel (présence/absence d'une déficience du langage fonctionnel ; présence/absence d'une déficience intellectuelle ; présence/absence de langage fonctionnel)

1.3 Les signes cliniques des TSA

Bien que les individus porteurs de TSA soient très différents, nous avons vu que le trouble est caractérisé par des déficits essentiels dans deux domaines principaux : la communication et les interactions sociales d'une part, les comportements sensori-moteurs répétitifs et restreints, d'autre part.

1.3.1 Des déficits de la communication et des interactions sociales

La communication désigne les situations dans lesquelles un sujet entre en contact avec une ou plusieurs personnes afin d'échanger, de partager des opinions ou des points de vue, de parler chacun à son tour dans une communication réciproque. Très tôt, un bébé est capable d'interagir avec son entourage grâce aux regards, aux gestes, aux mimiques c'est pourquoi des altérations de la communication peuvent être perceptibles dès le plus jeune âge.

a) Des déficits dans la communication sociale non verbale et préverbale

Le trouble de la communication sociale apparaît précocement chez l'élève avec TSA. À 5/6 mois, on observe que le bébé (contrairement au bébé tout-venant) ne réagit toujours pas à son prénom, il ne regarde pas ce que l'adulte montre du doigt, ne sourit pas face au miroir, ne crie pas quand la personne qui s'occupe de lui s'en va. Vers 7/9 mois, il n'attire pas l'attention par des vocalises verbales, vers 10/12 mois, il ne joue pas à « cache-cache » et ne regarde pas ce que l'adulte regarde. Passé la première année, vers 14/18 mois, de nombreux enfants avec TSA ne tendent pas leur doigt vers un objet qui les intéresse ou ne participent pas à des jeux de « faire semblant » vers 24/30 mois.

Concernant la communication non-verbale et préverbale, un des principaux symptômes présents chez l'individu avec TSA est le déficit d'attention conjointe. Il s'agit de la capacité à partager un intérêt commun sur un même objet et/ou avec une autre personne (Scaife & Bruner, 1975). Deux personnes se regardent mutuellement, un regard glisse vers un objet et il est suivi par l'autre regard. Autour de 9 mois, un bébé tout-venant développe l'attention conjointe (Aubineau et al., 2015), qui semble acquise entre 10 et 14 mois (Scaife & Bruner, 1975). Ce déficit d'attention conjointe, observé précocement dans le développement des élèves avec TSA (Charman et al., 2003) va de pair, en partie, avec les difficultés communicationnelles et sociales (Mundy, 1995). Il semble être corrélé avec le Quotient Intellectuel (QI) de l'individu, son âge, ainsi que son niveau de langage (Naber et al., 2008 ; MacDonald et al., 2006 ; Baron-Cohen, 1989).

Les déficits de la communication non verbale sont plus évidents dans les situations où l'intention du locuteur et le sens littéral d'une phrase divergent fortement, comme dans le cas de l'ironie et du sarcasme (Tesink et al., 2009 ; Zalla et al., 2014). Ces formes d'expression nécessitent un certain niveau de compétences en théorie de l'esprit. Ces déficits résulteraient de déficience primaire dans la représentation des états mentaux (Baron-Cohen et al., 1985).

Quelques témoignages de personnes avec TSA expliquent cette difficulté à comprendre le langage et à s'exprimer comme si elles étaient perturbées par un parasitage sensoriel. Ainsi, Grandin (1994, p.197), explique : « Parfois, je comprenais tout et entendais tout, mais, à d'autres moments,

les sons et les mots bouillonnaient dans ma tête en faisant un bruit insupportable, comparable à celui d'un train de marchandises roulant à grande vitesse ». Elle explique également : « Je comprenais ce qui se disait, mais j'étais incapable de répondre » (p.42). Ou Tammet (2007, p.101) : « Écouter les autres n'est pas facile pour moi. Quand quelqu'un me parle, j'ai souvent le sentiment d'être en train de chercher une station radio, et une grande partie du discours entre et sort de la tête comme des parasites ».

b) Des déficits dans les interactions sociales

L'altération qualitative des interactions sociales se retrouve dans toutes les formes de troubles apparentés et constitue le socle commun à ces pathologies. Comme nous venons de le voir, dans les TSA, l'altération des modalités de communication concerne à la fois les capacités verbales et non verbales. L'élève avec TSA fait souvent des écholalies, des néologismes, inverse des pronoms, son discours peut être incohérent ou idiosyncrasique, il peut éprouver des difficultés à répondre à l'appel de son prénom ou à répondre aux questions de son entourage. Sa voix est monotone, son débit de la parole peut parfois être saccadé. « Je ne me rendais pas compte de l'hésitation et du timbre terne qu'avait parfois ma voix » (Grandin, 1994, p.122). Nous avons également souligné un déficit de l'attention conjointe (Charman et al., 2003) auquel peut s'ajouter des difficultés d'imitation (Rogers & Pennington, 1991). Ces altérations affectent les interactions sociales marquées par un contact visuel fluctuant ou absent, des mimiques ou gestes sociaux appauvris, une difficulté à exprimer ses émotions et à comprendre les émotions des autres personnes.

Zilbovicius (2004) explique que le cerveau des personnes avec TSA réagit différemment face à l'expression du visage des personnes. Des personnes au développement typique, par exemple, saisissent différentes informations au travers des émotions du visage et à l'IRM, la zone du cortex appelée l'aire fusiforme des visages s'active. Cette activation n'existe pas chez les personnes avec TSA.

Des études montrent, par exemple, que les enfants avec TSA ont des interactions de moindre qualité par rapport aux enfants au développement typique car ils passent plus de temps à s'engager dans une activité de communication sans but et/ou mettent une distance physique avec leurs pairs (McGee et al., 1997 ; Sigman et al., 1999). Sigman et ses collaborateurs (1999) ont par exemple démontré que les enfants avec TSA, quel que soit leur niveau de développement, étaient moins engagés socialement par rapport à des enfants présentant un retard de développement. Ils n'étaient pas repoussés par leurs pairs mais ils n'initiaient et n'acceptaient que rarement des offres de jeu. Cette étude longitudinale a porté sur 70 élèves avec TSA, 93 enfants atteints du syndrome de Down

(trisomie 21), 59 enfants présentant des retards de développement et 108 enfants au développement typique. Les auteurs ont également montré que les capacités linguistiques et intellectuelles des élèves avec TSA s'étaient améliorées alors que ce n'était pas le cas des enfants atteints du syndrome de Down. De plus, ils investissent également peu les jeux imaginatifs en s'engageant plutôt dans des jeux sensoriels et répétitifs (Doody & Mertz, 2013). Cette difficulté à s'engager dans les jeux symboliques pourrait être liée à un déficit de la théorie de l'esprit (Baron-Cohen et al., 1993). La théorie de l'esprit se définit comme la capacité à comprendre les états mentaux d'autrui – tels que les intentions, les souhaits, les connaissances- et leurs influences sur les comportements des autres (Baron-Cohen et al., 1985). Cette capacité est le plus souvent évaluée par un test de fausses croyances, de premier ordre, comme l'histoire de Sally et Anne (Baron-Cohen et al., 1985). Les enfants au développement typique âgés de 4 ans donnent la bonne réponse alors que la plupart des élèves avec TSA âgés de 6 à 16 ans seraient en échec (Baron-Cohen et al., 1985).

Néanmoins, malgré la présence de ces déficits d'interaction et de communication sociale, les élèves avec TSA peuvent entrer en interaction avec d'autres enfants. La littérature montre que, même avec une faible production d'initiatives sociales et un temps moindre d'interactions, des élèves avec TSA participent à des interactions sociales avec leurs pairs (Kennedy et Shukla, 1995).

1.3.2 Le caractère restreint ou répétitif des comportements et des intérêts

Les intérêts restreints et comportements répétitifs sont définis comme l'expression de maniérismes répétitifs, de préoccupations à l'encontre d'objets, de comportements sensoriels, d'une adhérence importante à la routine et de rituels (Richler et al., 2007). Ils sont définis, selon le DSM-5 (APA, 2015), selon quatre catégories ; 1° un caractère stéréotypé et répétitif des mouvements, de l'utilisation des objets ou du langage ; 2° une intolérance au changement, une adhésion inflexible à des routines ou à des modes comportementaux verbaux ou non-verbaux ritualisés ; 3° des intérêts restreints et fixes, anormaux soit dans leur intensité, soit dans leur but et 4°, une hyper ou une hypo réactivité aux stimulations sensorielles ou intérêts inhabituels pour les aspects sensoriels de l'environnement.

Tammet (2007), un adulte avec TSA, témoigne et illustre un exemple de ses intérêts restreints au sein d'une communication : « Je ne comprenais pas que le but de la conversation n'est pas de parler uniquement des choses qui vous intéressent. (...) Il ne m'apparut jamais que le sujet dont je parlais puisse ne pas être intéressant pour mon interlocuteur » (p.101).

Les intérêts restreints se manifestent généralement par des comportements « d'ordre inférieur » qui sont des activités motrices répétitives et des mouvements de manipulation physique et/ou sensorielle d'objets (Barrett et al., 2004 ; Lam et al., 2008). Les comportements « d'ordre supérieur » impliquent des fonctions cognitives plus avancées et se caractérisent par la présence de rituels, une insistance sur la similitude et des intérêts circonscrits (Szatmari et al., 2006 ; Turner, 1999). Selon Turner (1999), la plupart des élèves avec TSA présentent ces comportements au cours de leur développement, néanmoins, tous ne les manifesteront pas systématiquement. De même, ces types de comportements ne sont pas propres aux enfants porteurs d'un TSA et font partie du développement typique. Mais ils sont supposés servir l'objectif de la maîtrise du développement et diminuent une fois que les compétences développementales sont acquises. Parmi les comportements répétitifs ou restreints, nous constatons que l'élève avec TSA peut développer des stéréotypies telles que le *flapping* (battre des mains), des balancements de son corps, l'alignement ou l'empilement d'objets. Il peut aussi détourner la fonction première des objets en faisant tourner les roues des voitures par exemple.

1.3.3 Des difficultés sensorielles et perceptives

La perception de l'environnement peut également poser des problèmes chez les personnes avec TSA. Dans le DSM 5 (APA, 2015), la reconnaissance des spécificités sensorielles comme critère diagnostique a été ajoutée. Kanner (1943) avait déjà identifié des perturbations sensorielles telles que l'évitement du regard, une aversion pour le mouvement ou une attention inhabituelle à des détails. Sur le plan auditif, par exemple, les personnes avec TSA peuvent présenter une hypersensibilité à certains bruits qui peuvent être minimes et insupportables alors que d'autres ne les feront pas réagir. Tammet (2007) évoque par exemple que des bruits à peine perceptibles comme des soupirs ou une page de magazine qu'on tourne lui étaient insupportables : « Je sentais que ma tête était sur le point d'éclater en mille morceaux » (p.151). Sur le plan visuel, le regard peut être fuyant ou quelquefois, l'œil est attiré par des détails. Enfin, sur le plan tactile, les troubles du contact sont fréquents mais variables car certains fuient le contact alors que d'autres ne le font pas du tout. La maman de Grandin (2014) explique « Elle n'aime pas qu'on la touche, le simple fait d'avoir un chapeau trop serré la met en rage » (p.20). Mais elle observe également que le fait de se sentir enveloppée dans une couverture atténue son hypersensibilité et son angoisse.

Enfin, de nombreuses études (Gepner & Mestre, 2002 ; Gepner et al., 2021) ont montré que les personnes avec TSA éprouvaient des difficultés à détecter et percevoir les mouvements physiques ou

visuels notamment quand ceux-ci étaient rapides. Ces désordres ou troubles entraînent des difficultés d'interactions sociales (Gepner, 2014) et de traitement de l'information (Gepner & Tardif, 2009).

1.4 L'étiologie des TSA

L'autisme n'a pas une cause unique. Tardif & Gepner (2019) parlent d'autismes au pluriel car actuellement, aucun facteur unique ne peut rendre compte de son origine. Les données de la recherche mettent en évidence de nombreux facteurs possibles à l'origine des TSA. L'étiologie engloberait à la fois des facteurs génétiques, environnementaux et neurologiques (Trottier et al., 1999).

1.4.1 Une influence génétique

L'origine des TSA serait majoritairement génétique. Bourgeron et ses collaborateurs (2009) ont constaté des mutations génétiques identiques au sein d'enfants d'une même famille. Ces gènes étaient localisés sur le chromosome X. Une mutation génétique affecterait la formation des synapses, lieu de contacts entre les neurones, altérant la transformation de l'information. Le manque de connections entre les zones du cerveau peut entraîner des difficultés de perceptions, d'interactions sociales et de communication. À l'inverse, l'excès de connections conduirait à avoir des intérêts restreints, des actions répétitives et le sens du détail. Depuis, de nombreux gènes (NLGN3/4, NRXN1, SHANK3) ont été identifiés par son équipe et d'autres chercheurs. En 2019, 141 gènes associés à l'autisme ont été dénombrés notamment grâce au programme de recherche SPARK (*Simons foundation Powering Autism Research*, en anglais). Ils peuvent avoir un lien direct avec l'autisme ou indirect via des symptômes associés comme la déficience intellectuelle. Actuellement, un diagnostic génétique peut être posé chez 10 à 20 % des personnes, ce chiffre peut atteindre les 35% en présence d'une déficience intellectuelle (Bourgeron, 2020).

Si l'origine génétique semble démontrée, les études rapportent des chiffres plus ou moins différents. Folstein & Rutter (1977) ont comparé dix paires de jumeaux monozygotes et ont montré que pour quatre paires de jumeaux, si un enfant était porteur de TSA, l'autre l'était aussi. Ces auteurs soulignent également que des anomalies cognitives pouvaient atteindre 82% des deux jumeaux. Des déficits de langage ont par exemple concerné neuf paires de jumeaux monozygotes sur les onze. Des revues de la littérature rapportent ainsi un taux de concordance de l'autisme de 60 % à 92 % observé chez des jumeaux monozygotes (Folstein et al., 2001 ; Xu et al., 2004). En revanche, pour les jumeaux dizygotes, elle serait de moins de 30% (Bourgeron, 2015). Plus récemment, Tick et ses collaborateurs

(2016) ont réalisé une méta-analyse regroupant sept études, portant sur des populations de jumeaux et ils estiment une héritabilité entre 64% et 91%. Par ailleurs, des études familiales à grande échelle ont permis d'identifier un nombre en croissance rapide de gènes liés aux TSA (Yuen et al., 2017 ; Sanders et al., 2012). Ainsi, dans une famille où il y a un enfant porteur de TSA, le risque pour les frères et sœurs d'être aussi atteints de troubles autistiques ou apparentés serait environ de 4 à 5 % (Tardif et al., 2019) et pourrait atteindre 13 % (Wood et al., 2015). De plus, il a été démontré que l'âge paternel et maternel avancés étaient associés à un risque accru d'avoir des enfants avec TSA et qu'il augmente significativement avec l'âge. En effet, Croen et ses collaborateurs (2007) ont comparé 593 élèves avec TSA âgés de 5 à 10 ans (parmi 132 251 naissances), l'âge de la mère allait de 12 à 53 ans et l'âge du père de 13 à 70 ans. Ainsi, pour une maman de 20 ans, le risque d'avoir un enfant avec TSA serait de 1 sur 251 alors qu'il double à 40 ans (1 sur 123). Pour les pères, il serait multiplié par 3 (1 sur 387, à 20 ans et 1 sur 116, à 40 ans).

1.4.2 Des facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux jouent également un rôle aussi important dans le développement des TSA que les facteurs génétiques (Landrigan, 2010 ; Tammimies et al., 2015) Leur part pourrait atteindre 50 % aujourd'hui (Tardif et al., 2019). Selon Landrigan (2010), l'exposition prénatale à des produits chimiques nocifs (par ex., l'acide valproïque qui traite l'épilepsie, le toluène...) ou la survenue d'une infection virale comme la rubéole pendant la gestation du fœtus est un facteur environnemental qui peut nuire au développement du système immunitaire et avoir des effets irréversibles sur les régions cérébrales et périphériques du système nerveux central du fœtus (Hertz-Picciotto et al., 2008). D'autres études ont également montré un risque de survenue d'autisme chez les mamans vivant à proximité d'une autoroute ou exposées à certains pesticides (Shelton et al., 2014), celles présentant un hypothyroïdisme ou ayant eu des antécédents de stérilité ou d'avortements spontanés. Enfin, des difficultés au moment de l'accouchement (hypoxie cérébrale du nouveau-né) ou une contamination postnatale par certains virus (herpès, rougeole, oreillons) sembleraient également impliquées dans certains cas de TSA.

1.4.3 Une prédisposition neurodéveloppementale

Deux phases d'anomalies de croissance du cerveau précèderaient l'apparition clinique des troubles des TSA (Courchesne, 2004 ; Courchesne et al., 2004). Le périmètre crânien passerait d'une

taille normale ou inférieure à la normale au cours des premiers mois des nourrissons à une croissance accélérée. À l'âge de 2 à 3 ans, par exemple, 90 % des jeunes enfants avec TSA présentaient des volumes cérébraux supérieurs par rapport à la moyenne de jeunes enfants au développement typique. Cette croissance excessive est suivie par une croissance lente ou arrêtée. Ces anomalies pourraient avoir une étiologie génétique (gène EN2) dans la structuration du cervelet par exemple (Gharani et al., 2004). De même, une sur-connectivité dans le lobe frontal et une connectivité réduite entre le cortex frontal et les autres systèmes cérébraux ont été constatées (Courchesne & Pierce, 2005a, 2005b) mettant en avant l'existence des anomalies du lobe frontal à un stade précoce de développement.

Herbert (2005) évoque une autre explication : l'augmentation globale du volume cérébral associée à une augmentation de la substance blanche sous-corticale dans le lobe frontal et à des modèles de croissance anormaux dans le cortex cérébral, l'amygdale et les formations hippocampiques pourraient entraîner des TSA. L'auteur n'exclut pas le rôle des gènes dans la macrocéphalie autistique mais en 2005, aucun mécanisme génétique spécifique à l'autisme n'est encore identifié. D'autres études, ont montré également des schémas anormaux d'activation et de synchronisation dans différentes régions corticales et sous-corticales, d'anomalies de la matière grise corticale, impliqués dans le langage, la mémoire de travail, la résolution de problèmes et la cognition sociale (Minshew & Williams, 2007). Ces auteurs soulignent que 15 à 20 % des personnes avec TSA présentent une macrocéphalie, ce qui est confirmé par des études d'imagerie par résonance magnétique. Selon eux, l'autisme serait un trouble venant du cerveau plutôt que du comportement, « un trouble des systèmes neuronaux à grande échelle, avec des altérations de la connectivité des systèmes corticaux » (p.6). Ensemble, ces études appuient l'hypothèse selon laquelle le TSA est un trouble causé par une organisation neuronale corticale qui entraîne des altérations du traitement de l'information à différents niveaux du système nerveux. Ces altérations neurobiologiques affectent probablement la trajectoire développementale du comportement social et de la communication pendant les premières années de la vie (Landa et al., 2007).

1.4.4 Le rôle du « cerveau social »

De nombreuses études ont également révélé des anomalies dans les régions temporales et préfrontales appelées le « cerveau social » (Brunelle et al., 2012). Chez des enfants avec TSA, la connectivité entre ces deux régions serait moins activée or elles sont fortement impliquées dans le traitement des stimuli sociaux, qui sont à la base des interactions sociales. En 2009, par exemple,



suite à l'analyse des images IRM (Imagerie par Résonance Magnétique), des chercheurs du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux Energies Alternatives), de l'INSERM (Institut National de la Santé Et des Recherches Médicales) et de l'Assistance Publique des Hôpitaux de Paris ont constaté que des anomalies cérébrales seraient associées à certaines formes de TSA. En comparant 77 enfants avec TSA âgés de 2 à 16 ans à 77 enfants au développement typique, des anomalies au niveau du lobe temporal, essentiel pour le langage et la cognition sociale, ont été constatées pour 40 % des élèves avec TSA. Les travaux de Saitovitch et ses collaborateurs (2016) ont également montré des anomalies dans une région particulière du cerveau qui traite l'information sociale, la perception et le comportement du regard, le sillon temporal supérieur. Au repos, dans les régions temporales supérieures des élèves avec TSA, le débit sanguin est moins important, les synapses fonctionnant alors moins. Cette étude menée avec 15 sujets a montré qu'une stimulation magnétique transcrânienne (TMS) de cette région peut entraîner un détournement du regard.

Les Troubles du Spectre de l'Autisme ont donc une étiologie multifactorielle avec des interactions entre des facteurs génétiques, des anomalies de développement de certaines aires du cerveau et des facteurs environnementaux, générant des réactions et comportements spécifiques.

1.5 Les outils d'évaluation

Le diagnostic de TSA est cliniquement possible chez l'enfant dès 18 mois reposant sur des observations recueillies auprès des proches de l'enfant ou des tests standardisés, en fonction de l'âge de l'enfant et de son développement cognitif et social. La HAS recommande deux outils permettant de contribuer au diagnostic (ADI-R et ADOS-2) ainsi que deux autres évaluant la sévérité des TSA (CARS-2, ECA-R). D'autres outils peuvent dresser le bilan psychologique et explorer le fonctionnement cognitif de l'élève porteur de TSA, notamment l'échelle d'intelligence de Wechsler (WPPSI-IV ou WISC V). L'échelle de comportement adaptatif Vineland-II ou encore des échelles cliniques spécifiques aux TSA à l'instar de la PEP-3, la Batterie d'Evaluation cognitive et socio-émotionnelles (BECS), l'Echelle d'évaluation de la Communication Sociale Précoce (ECSP) ou le Sensory-Profile peuvent également être utilisés.

1.5.1 L'évaluation du diagnostic et de la sévérité des TSA

Les professionnels utilisent plusieurs outils pour diagnostiquer puis préciser le degré de sévérité des TSA afin de cerner finement les différentes particularités de l'autisme. Dans le tableau 2 seront cités les outils les plus fréquemment utilisés avec leurs caractéristiques et les dimensions explorées.

Tableau 2

Comparaison des outils évaluant l'intensité des TSA

Outil utilisé	Age	Objectif(s) Point(s) fort(s)/faible(s)	Type et durée de passation	Dimensions principales
ADI-R, L'entretien du Diagnostic de l'Autisme Revisité (Rutter et al., 2011, adaptation française de Rogé et al.)	2 ans (âge mental de 24 mois)	Diagnostiquer les TSA en retraçant l'histoire de développement de l'enfant <u>Point(s) fort(s)</u> Souvent utilisé dans les CRA et en recherche <u>Point(s) faible(s)</u> ADOS souhaitable en complément Plus compliqué à utiliser à l'âge adulte Déni des parents possible	Entretien parental semi-structuré <u>Durée</u> : 1h30 (version courte) 4h (version longue)	40 ou 112 items avec 4 degrés de sévérité <u>3 domaines comportementaux</u> : interactions sociales réciproques, communication et langage, comportements et intérêts restreints
ADOS 2 Autism Diagnostic Observation Schedule (Lord & al., 2015, adaptation française de Rogé)	A partir de 12 mois	Diagnostiquer les TSA <u>Point(s) fort(s)</u> Utilisable dès 12 mois et jusqu'à l'âge adulte <u>Point(s) faible(s)</u> ADI R souhaitable en complément	Observations en situation de jeu et/ ou à l'aide de questions standardisées <u>Durée</u> : 45min à 1h	<u>5 modules</u> avec de nombreuses activités et cotations en fonction de l'âge Communication verbale et non verbale, interactions sociales, compétences sociales, émotionnelles et l'imagination
CARS 2 L'échelle d'évaluation de l'autisme infantile (Shopler et al., 2010, traduction française de Rogé)	A partir de 2 ans	Outil diagnostique pour évaluer la sévérité des troubles <u>Point(s) forts(s)</u> Observation concrète Applicable à tous les âges Instrument standardisé très utilisé <u>Point(s) faible(s)</u> Insuffisant pour poser un diagnostic	Entretien et observations <u>Durée</u> : 30 à 45 min	<u>15 items comportementaux</u> Relations sociales, imitation, réponses émotionnelles, utilisation du corps, des objets, adaptation aux changements, réponses visuelles, auditives, communication verbale, non verbale, gout/odorat/toucher, niveau intellectuel et homogénéité du fonctionnement intellectuel
ECA-R L'échelle des comportements autistiques révisée (Barthelemy et al., 1997; Barthelemy & Lelord, 2003)	3 à 18 ans	Mesurer les comportements associés aux TSA <u>Point(s) faible(s)</u> Ce n'est pas un outil de diagnostic ou de suivi	Observations directes, discussion de son anamnèse, recherche d'information <u>Durée</u> : 1h30	<u>25 items</u> 5 degrés de sévérité

1.5.2. L'évaluation psychologique

Il existe de nombreux outils pour dresser le bilan psychologique de l'élève avec TSA. Des épreuves visent l'évaluation du fonctionnement cognitif de l'élève avec TSA. Le retard intellectuel peut être présent chez 50 à 75 % des élèves avec TSA (Tardif & Gepner, 2019). L'échelle d'intelligence de Wechsler, la WPPSI-IV (Wechsler, 2014) peut être utilisée pour des enfants âgés de 2 ans et demi à 7 ans et demi, le WISC-V (Wechsler, 2016) est utilisé pour des enfants âgés de 6 ans à 16 ans et 11 mois et le WAIS-IV (Wechsler, 2011) pour les personnes de plus de 16 ans. Ces échelles permettent de fournir le Quotient Intellectuel (QI) mais la majorité des subtests sont verbaux.

Le test des matrices progressives de Raven (Raven, 1998) utilisé chez l'enfant à partir de 5 ans permet d'évaluer l'aptitude de l'intelligence fluide. Dawson et ses collaborateurs (2015) ont comparé les résultats aux tests du WISC-III (Wechsler, 1997) aux matrices de Raven, avec 62 enfants âgés de 6 à 16 ans. L'étude montre que les résultats sont identiques aux deux tests pour des enfants au développement typique (24 enfants) alors qu'il existe des différences importantes, plus de 70 points percentiles en plus aux matrices de Raven (voir figure 1) chez les élèves avec TSA (38 enfants) âgés de 6 à 16 ans. Des résultats similaires ont été observés avec un échantillon d'adulte. Les auteurs recommandent donc le test des matrices progressives de Raven car il met en valeur les particularités cognitives des enfants avec TSA qui peuvent rencontrer des difficultés de langage et avoir une très bonne mémoire, de très bonnes compétences visuo-spatiales ou un raisonnement fluide.

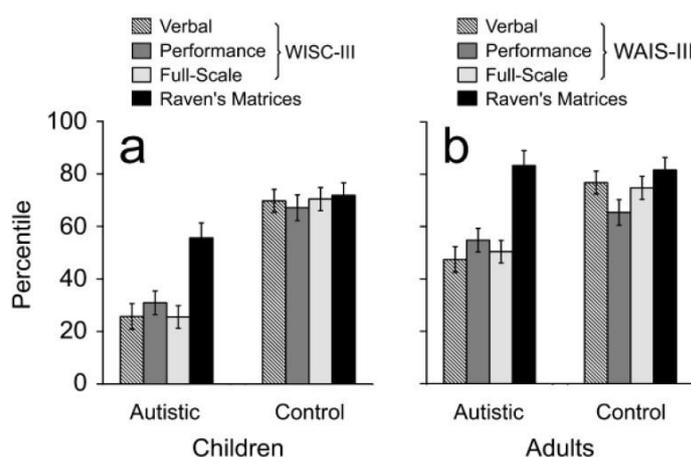


Figure 1.

Comparaison des résultats aux tests WISC-III (enfants) et WAIS (adultes) avec les Matrices de Raven (Dawson et al. 2015).

L'échelle de comportement adaptatif Vineland (VABS-II, Sparrow et al., 2015) permet de déterminer la sévérité du trouble du développement intellectuel ainsi que les comportements adaptatifs à l'aide d'un questionnaire et d'un entretien semi-directif (version enquête d'une durée de 20 à 60 minutes ou version étendue d'une durée du 60 à 90 minutes). Il existe également une version classe avec un questionnaire rempli par l'enseignant pour des enfants de 3 à 12 ans. Cet outil explore la communication, l'autonomie, la socialisation ainsi que la motricité et les comportements inadaptés pour les enfants. En complément d'autres tests (ADOS par exemple), il peut être une aide pour le diagnostic des TSA.

Le PEP 3 (Schopler et al., 2021) fait référence pour l'évaluation des élèves avec TSA et particulièrement ceux ayant un niveau préscolaire (2 à 7 ans). Il évalue le processus d'apprentissage des élèves avec TSA grâce à des situations de jeux variées. Il cible sept domaines de développement (imitation, perception, motricité fine, motricité globale, coordination oculo-manuelle, performance cognitive et verbale) et quatre domaines de comportement dont les relations et l'affection, le jeu et l'intérêt pour le matériel ainsi que les réponses sensorielles. Il a l'avantage de cibler également les compétences en émergence ainsi que les forces et les faiblesses et de déterminer un âge de développement afin de mettre en place avec précision un projet individualisé. La plupart des items ne dépendent pas des compétences linguistiques. Les procédures d'administration bénéficient d'une grande souplesse car le choix de l'ordre des items est laissé à l'examineur.

Enfin, d'autres échelles vont évaluer des domaines complémentaires. L'ESCP (Guidetti & Tourette, 2017) évalue les compétences sociales et communicatives précoces des jeunes enfants âgés de 3 à 30 mois dans trois domaines : l'interaction sociale, l'attention conjointe et la régulation du comportement. Il s'agit de jeux libres filmés avec une séquence préétablie où l'expérimentateur provoque des situations d'échanges avec des jouets. Cet outil est intéressant car il permet un diagnostic précoce de la communication et du langage.

La BECS (Adrien, 2008), est une batterie d'évaluations destinée à des enfants de 4 à 24 mois. Elle évalue les constituantes du domaine cognitif (permanence de l'objet, relations sociales, moyens pour atteindre un but, causalité opérationnelle, qualité d'organisation des schèmes, jeu symbolique, image de soi) ainsi que les constituantes du domaine socio-émotionnel (neuf échelles dont les interactions sociales, l'attention conjointe, le langage, l'imitation, les émotions). Il est possible de passer ces épreuves à plusieurs échéances afin de mettre en évidence les progrès, les gains, les pauses ou les stagnations et ainsi déterminer la trajectoire développementale. L'avantage est sa courte durée (40 à 50 minutes).



Enfin, l'évaluation des particularités sensorielles fréquentes dans les TSA est importante et reconnue dans les DSM-5. Le Sensory-Profile (Dunn, 2010), par exemple, permet de comprendre les schémas de traitement sensoriel d'un enfant dans des situations quotidiennes. Il est utilisé pour des enfants âgés de 3 à 10 ans et 11 mois.

Conclusion

L'autisme est un trouble neurodéveloppemental. Les personnes avec TSA traitent et donnent un sens différent aux informations ce qui peut expliquer des comportements variés. Les critères diagnostiques sont : 1° un déficit dans la communication et les interactions sociales et 2° un caractère restreint et répétitif des comportements, des intérêts et des activités. Ces caractéristiques sont présentes dès la petite enfance avec des spécificités cognitives et un profil sensoriel propres à chaque personne avec TSA. À ces critères peuvent s'associer divers troubles ou pathologies (déficience intellectuelle, troubles du sommeil ou de l'alimentation, épilepsie...).

Avec l'introduction du mot « spectre », il est reconnu que l'autisme est un syndrome hétérogène qui se caractérise par des manifestations cliniques très variables d'une personne à l'autre (Charman et al., 2011). La reconnaissance de cette hétérogénéité de profils manifestés par une intensité variable des comportements autistiques, des niveaux de langages différents, la présence de troubles associés ou non, pourraient mieux éclairer les différences inter-individuelles.

Depuis les premières définitions de l'autisme dans les années 1970 à nos jours, de grands changements ont eu lieu : il y en aura vraisemblablement d'autres dans les années à venir aussi bien dans la définition de l'autisme que dans sa prise en charge ou dans la manière de le penser, car les recherches scientifiques en médecine, en psychologie, en neurosciences, en génétique, en pédagogie avec des élèves avec TSA font progresser considérablement la compréhension des TSA.

La place de l'élève avec TSA est aujourd'hui à l'école, c'est un objectif majeur de la politique française actuelle. Nous verrons dans un deuxième chapitre l'évolution de cette politique inclusive et expliquerons les méthodes éducatives actuelles liées à la prise en charge de ces enfants.

Chapitre 2 – L’inclusion scolaire des élèves avec TSA

Inscrite dans la Déclaration Universelle des Droits de l’Homme de 1948, l’éducation est un droit fondamental. En 1994, la Déclaration de Salamanque (UNESCO, 1994), sous l’égide de l’Unesco, affirme que tous les élèves doivent pouvoir apprendre grâce à une pédagogie prenant en compte leurs besoins spécifiques. En 2006, les états signataires de la Convention relative aux droits des personnes handicapées de l’ONU s’engagent explicitement à faire respecter le droit à l’éducation sans discrimination : accès à un enseignement inclusif, de qualité et gratuit, accès à l’enseignement secondaire.

En France, la loi du 30 juin 1975 du code de l’éducation institue la scolarisation et l’obligation éducative pour l’ensemble des élèves. La loi d’orientation du 10 juillet 1989 réaffirme ce principe mais ce n’est que la loi du 11 février 2005 (MEN, 2005) qui permet une avancée majeure dans la prise en charge des enfants porteurs de handicap car elle instaure le principe de droit à la compensation. Des postes d’enseignants référents sont créés ainsi que les Maisons Départementales des Personnes Handicapées (MDPH). Néanmoins, le principe d’intégration domine encore. C’est la loi de Refondation de l’école du 8 juillet 2013 (MEN, 2013) qui introduit le terme d’école inclusive.

Les concepts d’intégration et d’inclusion sont souvent confondus, notamment dans le système scolaire. L’intégration consiste en une cohabitation des enseignements ordinaires et spécialisés en deux lieux distincts. En revanche, l’objectif de l’inclusion est de mettre ensemble tous les individus quels qu’ils soient en prenant compte leurs différences au sein de cet ensemble. Dans ce deuxième chapitre, nous montrerons cette évolution en nous attachant particulièrement à la scolarisation des élèves avec TSA en France, puis en Europe.

En France, on estime qu’en 2018, il y avait 700 000 personnes concernées par les TSA dont 100 000 enfants de moins de 20 ans (HAS, 2018 ; Tardif & Gepner, 2019). Dans le quatrième plan autisme, on indique une prévalence oscillante entre 0,9 et 1,2%, soit environ 7500 bébés qui naissent chaque année en France et sont porteurs de TSA (Plumet, 2014). Actuellement, avec 741 000 naissances en France en 2021 (INSEE, 2021), ce ratio est proche de 1 enfant sur 100 alors qu’en 2012, la HAS rapportait qu’1 enfant sur 150 naissait avec un TSA. Enfin, la prévalence serait de trois garçons pour une fille (Loomes et al., 2017). Ce ratio pourrait s’expliquer par un sous diagnostic des filles avec TSA (Carpenter et al., 2019). En effet, les outils d’aide au diagnostic ont été élaborés à partir d’un échantillonnage de garçons, les symptômes des filles seraient également différents et les troubles sociaux pourraient être camouflés car les filles ont plus joué aux jeux de faire semblant. En effet, chez les filles ou les femmes, la motivation sociale est plus importante (Sedgewick et al., 2015),



leurs intérêts spécifiques sont socialement acceptés et elles pourraient masquer plus facilement leurs traits autistiques. Néanmoins, une recherche qualitative récente (Milner et al., 2019), portant sur une vingtaine de femmes concernées par l'autisme, a montré leurs difficultés à maintenir des relations amicales, des obstacles liés à leur diagnostic plus compliqué à établir par rapport aux hommes, leurs particularités sensorielles ou leur besoin de retrait.

L'évolution de l'inclusion scolaire des élèves avec TSA sera abordée dans cette première partie puis dans une seconde partie, nous évoquerons les méthodes éducatives qui leurs sont proposées ainsi que leurs implications pédagogiques. La connaissance de ces méthodes est importante car elles proposent des conseils utilisables en classe par les enseignants. Elles pourraient ainsi favoriser l'inclusion scolaire de ces élèves à besoins éducatifs particuliers. Enfin, nous examinerons dans une dernière partie les effets de l'inclusion scolaire aussi bien du côté de l'enseignant que de celui de l'élève avec TSA. Les différents parcours de scolarisation seront également présentés et discutés. La France ayant pour singularité de proposer à la fois une scolarisation en classe ordinaire, en classe spécialisée à l'intérieur d'une école ordinaire ou en classe spécialisée dans un établissement dédié.

2.1 L'évolution de la scolarisation des élèves avec TSA

Aujourd'hui, l'école française se fixe pour objectif d'être une école inclusive. Ce terme est apparu dans les années 1990 aux États-Unis. L'UNESCO (1994) le définit comme une approche dynamique permettant de répondre positivement à la diversité des élèves et de considérer les différences entre les individus non comme des problèmes, mais comme des opportunités d'enrichir l'apprentissage. Derrière cette notion d'inclusion se trouve la volonté de scolariser les élèves à besoins éducatifs particuliers (enfants porteurs de handicap, nouvellement arrivés en France, malades, avec des troubles des apprentissages, intellectuellement précoces, enfants du voyage ou mineurs en milieu carcéral) dans des établissements ordinaires plutôt que dans des instituts spécialisés. En France, la scolarisation des élèves avec TSA est récente et n'a été envisagée que dans les années 1980 (Philip, 2012) avec la création des classes intégrées. L'évolution de cette scolarisation a subi de nombreuses modifications. Chauvière (2018) découpe son historique en trois temps forts : celui de la ségrégation jusque dans les années 1970, de l'intégration jusqu'aux années 1990 et de l'inclusion à partir des années 2000. Nous définirons et distinguerons ces concepts avant de montrer que la scolarisation inclusive des élèves avec TSA est devenue un enjeu majeur des politiques éducatives actuelles.

2.1.1. Ségrégation/intégration/inclusion

Jusque dans les années 1980, les enfants en situation de handicap, dont les élèves avec TSA, étaient scolarisés dans des institutions spécialisées où des soins et une rééducation étaient proposés et devaient primer (Thomazet, 2008). Cette filière ségrégative partait d'une bonne intention en accordant une priorité médicale aux enfants à besoins éducatifs particuliers alors que les enfants « normaux » fréquentaient l'école ordinaire. Le gouvernement se positionne sur les enfants différents avec la « loi d'orientation en faveur des personnes handicapées » du 30 juin 1975 et ses deux circulaires sur l'intégration de 1982 et 1983. Cette loi, qui marque le début de la période intégrative, est centrée sur la personne handicapée au lieu de considérer comme primordiale la situation de handicap.

La création des Classes d'Intégration Scolaire (CLIS), dans le premier degré en 1990, est un exemple d'intégration : les élèves en situation de handicap sont scolarisés dans des classes dédiées au sein d'établissements ordinaires. La circulaire du 9 avril 1990 précise les objectifs et le fonctionnement des CLIS. Elles remplacent les « classes de perfectionnement » créées en 1909 pour l'accueil des enfants dits « arriérés » puis des enfants handicapés. Dans le second degré, en 1995, des Unités Pédagogiques d'Intégration (UPI) sont créées. La première classe intégrée pour les élèves avec TSA, en 1985, dans l'Essonne, est également un autre exemple d'intégration. Néanmoins, Thomazet (2008) souligne que cette intégration ne concerne en définitive que peu d'enfants en situation de handicap, principalement ceux porteurs d'un handicap sensoriel et moteur et s'agissant de ceux capables de suivre un enseignement dans une école ordinaire. Face à ces limites, l'inclusion scolaire a vu le jour.

Le mouvement inclusif a pris son essor depuis la proclamation de la déclaration de Salamanque (UNESCO, 1994) qui fait suite à la convention internationale pour les droits de l'enfant. La volonté d'une école inclusive est manifeste. « Les personnes ayant des besoins éducatifs spéciaux doivent pouvoir accéder aux écoles ordinaires, qui doivent les intégrer dans un système pédagogique centré sur l'enfant, capable de répondre à ses besoins » (UNESCO, 1994). Quatre-vingt-douze pays et 25 organisations internationales se sont engagés à œuvrer pour le développement d'écoles plus inclusives. La France fait alors évoluer sa politique éducative en faveur des enfants en situation de handicap et l'oriente vers l'inclusion de ces élèves. Ainsi, la loi du 11 décembre 1996 (Loi Choisy), en modifiant la loi du 30 juin 1975, reconnaît l'autisme comme un handicap. « Constitue un handicap, au sens de la présente loi, toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou

définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant » (article L114 du Code de l'action sociale et des familles).

Plusieurs années après, en septembre 2015, l'Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire ou ULIS école remplace les CLIS. Les élèves porteurs de handicap seront scolarisés dans des unités de 12 élèves, encadrés par des enseignants spécialisés et pour certains enseignements, ils seront inclus dans une classe ordinaire. Un nouveau dispositif est créé et vise un processus inverse car l'enfant est scolarisé dans une classe ordinaire. Il s'agit pour l'enseignant de mettre en place un dispositif de différenciation scolaire afin de donner les mêmes chances aux élèves de progresser.

2.1.2. Une politique inclusive

La France a donc fait le choix d'une politique inclusive pour la scolarité de tous les enfants et adolescents. Lors de la rentrée 2020/2021, plus de 200 000 élèves porteurs de handicap sont scolarisés dans le premier degré dont 20 744 élèves avec TSA en classe ordinaire et 6623 en ULIS (avec inclusion en classe ordinaire). Entre 2006 et 2019, la scolarisation en milieu ordinaire a augmenté de 132%. (DEEP, 2021). La figure 2 montre cette progression avec, en 2020, 147,4 milliers d'élèves scolarisés dans les classes ordinaires et 53,1 milliers d'élèves scolarisés en ULIS (données manquantes en 2006 en raison d'une grève administrative des enseignants référents).

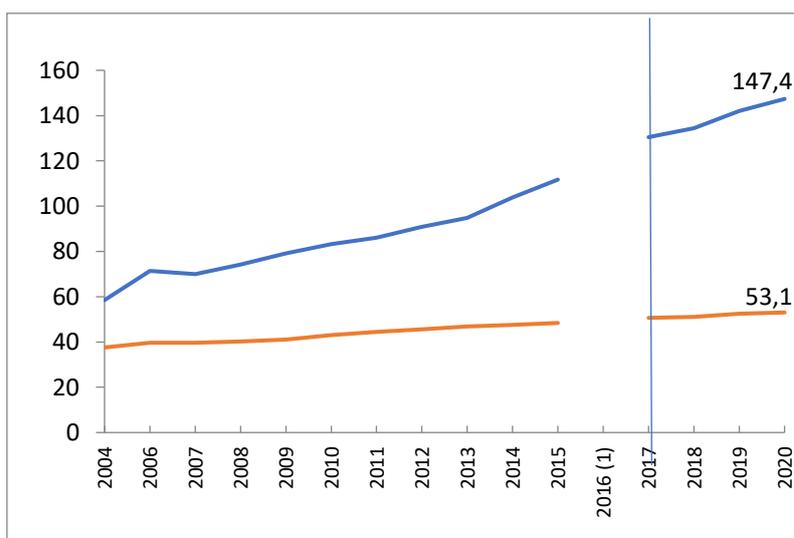


Figure 2.

Évolution de la scolarisation des élèves en situation de handicap dans le premier degré (d'après la DEEP 2021). En bleu, le nombre d'élèves scolarisés dans les classes ordinaires et en rouge, le nombre d'élèves scolarisés en ULIS (en milliers d'élèves)

Lors de la rentrée 2021, ces chiffres sont encore en augmentation (voir figure 3). 212 441 élèves porteurs de handicap sont scolarisés dans le premier degré dont 158 505 en classe ordinaire et 53 425 en ULIS (DEEP, 2022). Parallèlement, le nombre d'élèves en établissements spécialisés stagne.

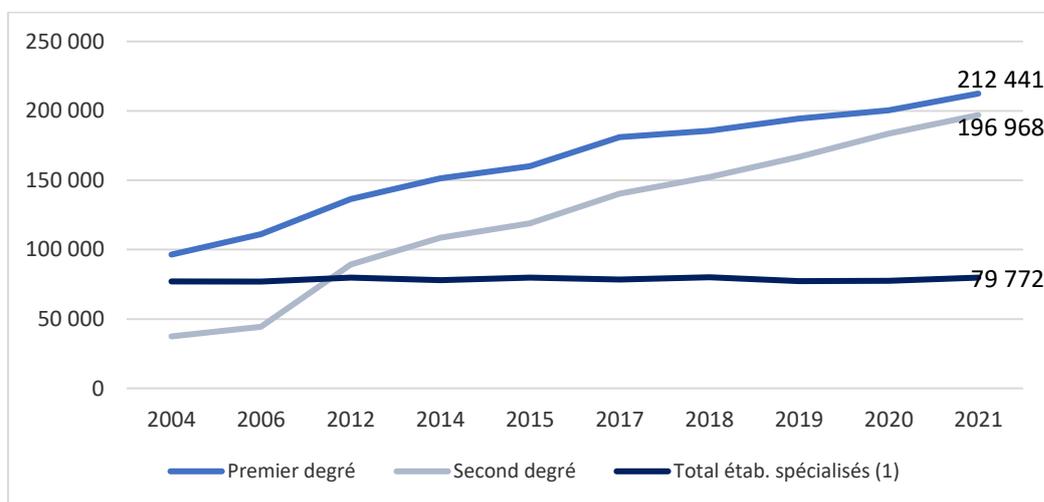


Figure 3.

Évolution de la scolarisation des enfants et adolescents en situation de handicap (d'après la DEEP, 2022)

Cette progression du nombre d'enfants scolarisés est due à la création de deux lois fondamentales qui promulguent l'école pour tous. Elles obligent les établissements scolaires à accueillir les élèves à besoins éducatifs particuliers.

La première loi, celle du 11 février 2005 (MEN, 2005), loi pour l'égalité des droits et des chances, de la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, apporte des évolutions fondamentales pour répondre aux attentes des personnes avec handicap. Elle permet à chaque enfant d'être inscrit dans l'école la plus proche de son domicile et reconnaît à chaque enfant en situation de handicap un statut d'élève. Cette loi est fondatrice car elle a permis de mettre en avant deux principes fondamentaux, celui de l'accessibilité et celui de la compensation représentant l'ensemble des moyens pouvant être mis en place afin de garantir l'égalité des droits et des chances. Le droit à la compensation est une grande avancée en matière de scolarisation des enfants en situation de handicap. Pour l'élève avec TSA, l'un des moyens fréquemment mis en place est l'aide humaine supplémentaire sur le temps scolaire. Des emplois d'Auxiliaire de Vie Scolaire (AVS) puis d'Accompagnant de l'Enfant en Situation de Handicap (AESH) sont créés. Ils assurent une médiation entre l'élève et son environnement scolaire. Cette loi a également vu apparaître la Maison Départementale des Personnes



Handicapées (MDPH). Elle a permis une augmentation significative du nombre d'élèves en situation de handicap dans le milieu ordinaire. Elle a également permis la création de la CDAPH, la Commission des Droits de l'Autonomie des Personnes Handicapées, qui prend des décisions concernant les aides et les prestations. Chaque enfant suivi par la MDPH dispose d'un Projet Personnalisé de Scolarité (PPS). Il coordonne l'ensemble des actions pédagogiques, psychologiques, éducatives, sociales, médicales et paramédicales qui viennent compléter la formation scolaire. Les parents sont étroitement associés à l'élaboration du PPS de l'enfant et à la décision d'orientation prise, en accord avec eux, par la CDAPH.

Avec la seconde loi du 8 juillet 2013 (MEN, 2013), loi d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école de la République, l'école refondée est une école inclusive. D'ailleurs, ce principe est énoncé dès le premier article du code de l'éducation « Il reconnaît que tous les enfants partagent la capacité d'apprendre et de progresser ». Il veille à « l'inclusion scolaire de tous les enfants, sans aucune distinction » et également à la mixité sociale des publics scolarisés au sein des établissements d'enseignement » (article L.111-1 du Code de l'éducation). Cette loi met également en avant les technologies numériques qui « permettent notamment d'adapter le travail au rythme et aux besoins de l'enfant ».

2.1.3. Les plans autisme

Différentes autres mesures sont également prises en France pour favoriser la scolarisation des élèves avec TSA. Pour garantir leur scolarisation, la stratégie nationale pour l'autisme (2018/2022) s'appuie sur les « plans autisme » ainsi que sur les recommandations de bonne pratique de la Haute Autorité de Santé et de l'Agence Nationale de l'Évaluation et de la qualité des Établissements et Services Sociaux et Médico-Sociaux (ANESM). Elles prennent en compte des difficultés pointées par le rapport de la Cour des comptes sur l'évaluation de la politique de l'autisme, lequel relève que la moitié des personnes avec TSA a connu des ruptures de parcours (déscolarisation, rupture de prise en charge), un moindre accès et une durée moindre de scolarisation par rapport aux autres personnes avec un handicap. En effet, des chiffres annoncés par Collectif autisme (et rapportés par Poirier & Cappe, 2016) montrent que 20% des élèves avec TSA seraient scolarisés en milieu ordinaire, 30% en établissement spécialisé et que 50% ne bénéficient pas d'une scolarisation. La Cour des comptes mentionne également que lorsqu'il y a scolarisation, c'est très souvent à temps partiel (moins de deux jours pour 30% des élèves en maternelle et 40% moins de 2 jours à l'école élémentaire). Le nombre

d'élèves avec TSA en inclusion scolaire diminue significativement à chaque étape de la scolarisation obligatoire : 87% le sont en école élémentaire, 11% au collège et 1,2% au lycée.

Après la loi du 11 février 2005, la France souhaite mieux prendre en compte la situation scolaire des élèves avec TSA. Le premier plan autisme (2005/2007) a notamment permis de créer un CRA (Centre Ressources Autisme) dans chaque région de France. Les CRA, constitués de professionnels expérimentés dans le domaine du TSA, exercent différentes missions : accueil, conseils, appuis à la réalisation de bilans et d'évaluations et formations. Le deuxième plan autisme (2008/2010) a comme objectif de « mieux connaître pour mieux former » en axant la recherche sur les données épidémiologiques (prévalence, incidence...). Le troisième plan autisme (2013/2017) proposait cinq axes : 1° diagnostiquer et intervenir précocement, 2° accompagner tout au long de la vie, 3° soutenir les familles, 4° poursuivre les efforts de la recherche et 5° former l'ensemble des acteurs de l'autisme. Ce troisième plan autisme a notamment permis la création d'un nouveau dispositif, les Unités d'Enseignement Maternelle Autisme (UEMA), créées en 2014/2015, situées dans une école maternelle ordinaire où sept élèves avec TSA sont accueillis par une équipe professionnelle, dès 3 ans. Enfin, la stratégie nationale pour l'autisme (2018/2022) ou quatrième plan autisme repose sur cinq engagements. Le premier engagement repose sur l'intervention précoce auprès des enfants, le deuxième propose de rattraper le retard en matière de scolarisation avec un meilleur taux de scolarisation des enfants dès l'âge de trois ans : la stratégie prévoit la création de 180 nouvelles UEMA et 45 unités d'enseignement en élémentaire. En 2017, Les UEEA (Unités d'Enseignement en Élémentaire) sont, comme les UEMA, des classes des établissements médicoéducatifs (IME) implantées dans une école ordinaire. Elles accueillent des élèves avec TSA âgés de 6 à 11 ans. Les autres engagements consistent à soutenir la citoyenneté des adultes, à mettre en place une recherche d'excellence, enfin, à aider les familles et reconnaître leur expertise. La stratégie nationale a également permis de créer un poste de référent autisme dans chaque département, poste pourvu par un enseignant spécialisé dont la mission est d'intervenir auprès des équipes pédagogiques.

2.1.4. Les politiques éducatives en faveur de l'autisme en Europe

Après avoir vu l'évolution de la scolarisation des élèves avec TSA en France, nous nous attacherons particulièrement dans cette dernière sous-partie, à étudier les différences de la scolarité des élèves avec TSA en Europe. À l'instar de la France, la prévalence des TSA n'a cessé d'augmenter dans les autres pays. Elle oscille actuellement entre 0,9 et 1,5 % (Frombonne, 2020) même si les différences entre les méthodologies, les procédures d'échantillonnage, les critères diagnostic retenus

ne permettent pas de rendre compte d'une prévalence exacte. L'utilisation de nouveaux outils élargis aux TED puis aux TSA, un dépistage et un diagnostic précoces ou la prise en compte des facteurs environnementaux (environnement pré et postnatal, exposition à des produits chimiques ou pesticides par exemple) peuvent expliquer cette augmentation (Tardif & Gepner, 2019).

En 1992, Autism Europe, une association internationale créée en 1983 fédérant près de 90 associations de l'autisme dans une trentaine de pays européens, crée la Charte des personnes avec autisme ; le point 3 souligne l'accès à une éducation appropriée et le point 6 accorde le droit à un soutien. En 1994, la Déclaration de Salamanque souligne la nécessité d'une école inclusive. En 2006, l'Assemblée Nationale des Nations Unies adopte la Convention relative aux Droits des Personnes Handicapées (CDPH). L'article 24 de la CDPH stipule, par exemple, que toutes les personnes avec handicap doivent être incluses dans le système éducatif, un enseignement primaire et secondaire gratuit doit être accordé. Les personnes avec TSA entrent donc cette définition. Fin 2021, 164 pays sont signataires de cette convention, dont ceux de l'Union européenne. En 2010, les États membres de l'Union européenne ont ratifié la Convention des Nations Unies relative aux Droits des Personnes Handicapées (CNUDPH) en introduisant des stratégies nationales du handicap qui seront disparates au sein de chaque pays. Enfin, en 2015, la Déclaration Écrite sur l'Autisme a été adoptée par le Parlement européen soulignant l'importance d'un diagnostic précoce et la nécessité d'étendre les recherches sur l'autisme.

Concernant la prise en charge des élèves porteurs de TSA en Europe, nous distinguons trois systèmes différents. Tout d'abord, le modèle déployé dans quelques pays d'Europe du Nord (Suède, Norvège, Islande) et d'Europe du Sud (Italie, Espagne, Portugal), où quasiment tous les élèves à besoins éducatifs sont scolarisés à l'école ordinaire. Le modèle italien, par exemple, a souvent servi de référence en matière d'inclusion scolaire amorçant une politique d'inclusion dès les années 1960. Un modèle inverse où la quasi-totalité des élèves sont scolarisés dans des structures spécialisées est proposé en Allemagne, aux Pays Bas, en Belgique, en Hongrie. Enfin, un système où l'inclusion en milieu ordinaire est privilégiée mais une orientation en milieu spécialisé peut être proposée, comme en Pologne. La France recourt d'une manière équilibrée aux trois modèles car l'inclusion est favorisée. Les élèves avec TSA sont répartis entre les classes ordinaires (majoritairement) et les classes spécialisées. Le modèle français serait un intermédiaire entre le modèle italien et le modèle allemand.

2.2 Les méthodes éducatives proposées aux élèves avec TSA et les implications pédagogiques

Les recommandations issues des travaux de la HAS soulignent l'importance du diagnostic et de l'intervention précoces. Les premiers signes peuvent apparaître dès 12 mois (Frombonne & Giacomo, 2000 ; Volkmar et al., 1994). La recherche montre que le diagnostic peut être posé à l'âge de 2 ans (avec une évocation à 6 mois, Sacrey et al., 2018). Or les enfants sont diagnostiqués en moyenne vers l'âge de 4 ans en France. La HAS recommande des interventions et accompagnements éducatifs ayant un impact sur le développement psychomoteur, cognitif et social. Elles doivent être précoces, globales, coordonnées, individualisées et intensives. Toutes doivent reposer sur une étroite collaboration avec les familles. Ces méthodes éducatives adaptées aux élèves avec TSA méritent d'être connues des enseignants car elles proposent de nombreux outils (par ex., pour structurer l'espace et le temps) et peuvent être facilement utilisés dans une classe pour favoriser l'inclusion de l'élève avec TSA.

Depuis le rapport de la Haute Autorité de Santé en 2012, certaines pratiques éducatives ne sont plus recommandées, notamment en raison d'une insuffisance des données de recherche et d'une relative inefficacité. Il s'agit du *Floor Time*, en anglais, reposant sur la stimulation par le jeu, du programme *Son Rise*, en anglais, fondé sur une intervention menée par les parents, à leur domicile et de la méthode des 3i (40 heures par semaine, très intensive et qui a pour conséquence une déscolarisation de l'enfant) ou de la méthode Feuerstein (pour les enfants avec un retard mental).

L'Applied Behavior Analysis (en anglais, ABA), *Le Treatment and Education of Autistic and related Communication Handicapped-Children*, (en anglais, la méthode TEACCH) et la méthode *Early Start Denver Model* (en anglais, ESDM), restent, en revanche, recommandés par la HAS et l'ANEMS (2012). Il paraît important de souligner que ces approches éducatives comportementales et/ou développementales ne sont pas exclusives ; l'ESDM ou la méthode TEACCH intègrent également des principes issus de l'ABA. De nombreuses études ont montré que ce type d'intervention permettait d'améliorer les trajectoires développementales des élèves avec TSA sur le plan cognitif ou socio communicatif (Dawson et al., 2010 ; Eapen et al., 2013). D'autres interventions focalisées ont pour objectif de développer un domaine en particulier (Wong et al., 2015) ; elles permettent, par exemple, de favoriser la communication des élèves avec TSA, à l'instar du Picture Exchange Communication System (PECS), du programme Makaton, du langage SACCADE (Structure et Apprentissage Conceptuel Continu Adapté au Développement Évolutif) ou de l'usage de la langue des signes français.

2.2.1. La méthode ABA : des interventions fondées sur l'analyse appliquée du comportement

L'ABA a été initiée dans les années 1930 par Skinner et créée en 1970 par Lovaas (1987). Cette méthode cognitivo-comportementale vise deux objectifs : développer et renforcer les attitudes adaptées et réduire celles qui sont inadaptées (Boukéras, 2018). Ainsi, un comportement suivi de conséquences agréables sera reproduit alors qu'un comportement suivi de conséquences désagréables ou n'ayant pas de conséquence dans l'environnement ne réapparaît pas. Cette approche vise la modification du comportement via le renforcement en visant des progrès au niveau de la communication et de l'autonomie. Elle part des intérêts et des envies de la personne pour créer de la motivation et rendre les apprentissages plus efficaces. Grâce à une observation fine de l'élève avec TSA, il est possible d'identifier des relations entre les comportements afin de développer des stratégies pour les modifier. La méthode utilise la grille ABC (*antecedent, behavior, consequence*, en anglais) pour constituer le répertoire comportemental de l'élève et mieux comprendre ses intentions. L'enseignement est également structuré car chaque apprentissage est découpé en séances répétées visant à guider l'enfant en tout lieu et tout moment. Ce programme nécessite une prise en charge intensive avec des personnes formées et il peut améliorer la communication, l'autonomie, les habiletés sociales et les apprentissages scolaires de l'élève avec TSA.

2.2.2. La méthode TEACCH : un programme de traitement et d'éducation

La méthode TEACCH ou programme d'enseignement structuré a été conçu par Schopler (1994), aux États-Unis, dans les années 1970. Son objectif est de développer l'autonomie de l'élève avec TSA par la structuration de l'environnement et de fournir des stratégies pour le soutenir dans son milieu familial, scolaire et social. Cette approche très personnalisée est construite en étroite relation avec la famille et les professionnels. Ce programme préconise de structurer l'environnement de l'élève avec TSA en raison de sa grande difficulté à se concentrer et à s'organiser dans l'espace. Dans une salle de classe, il est nécessaire de déterminer des aires pour des types d'activités précises (aire de travail, aire de jeux, aire de transition...). Pour l'aire de travail, par exemple, il est proposé de placer devant l'élève ce qu'il doit faire, à sa gauche, le travail qu'il lui reste à faire et à sa droite, le travail qu'il a accompli. Le matériel proposé à l'élève doit être en quantité limitée ; il ne doit avoir besoin que du matériel indispensable à la tâche pour éviter toute dispersion. Il est également important de structurer le temps à l'aide de supports visuels personnalisés indiquant de manière prévisible et compréhensible l'ordre des activités. Cet emploi du temps doit être un réel outil de repérage pour

l'élève avec TSA, lui permettant d'anticiper et de comprendre le déroulement d'une matinée ou d'une journée. Le programme TEACCH propose de découper les tâches de l'élève en plusieurs étapes (Boukéras, 2018). Enfin, l'utilisation d'un *timer* pour indiquer la durée de la tâche est préconisée.

2.2.3 Le modèle de Denver : un programme d'intervention précoce

L'ESDM, *Early Start Denver Model*, en anglais, est le modèle d'intervention précoce de Denver, développé aux États-Unis, à Denver, dans les années 80 par Rogers et Dawson, pour des enfants âgés de 18 à 36 mois, avec TSA, et qui se poursuit jusque 48-60 mois. Il possède des similitudes avec le programme ABA (utilisation de la grille ABC, utilisation de renforcement de comportement, par exemple) et vise la construction des interactions et de la communication sociale en accordant une place centrale au jeu. Il repose sur une intervention intensive (20 à 25 heures par semaine) et travaille toutes les compétences liées au développement de la petite enfance : langage, jeu, interaction sociale, attention conjointe, imitation, autonomie, comportement et compétences motrices. Les parents sont formés par les thérapeutes et sont partie intégrante du projet.

2.2.4. D'autres outils pour faciliter la communication

Différents outils peuvent faciliter la communication des élèves avec TSA. Nous pouvons les regrouper sous le terme de Communication Alternative e/ou Augmentative (CAA). La CAA regroupe l'ensemble des formes de communication proposées aux personnes dont la communication est altérée. Elle est dite alternative quand elle propose des moyens de remplacement ou augmentative lorsqu'elle complète la communication déjà existante.

Le *Picture Exchange Communication System* (en anglais, PECS), par exemple, conçu sur les principes de l'enseignement de l'ABA, développé par Bondy et Frost (1994) est un système de communication picturale. Il propose à l'enfant de communiquer ou d'exprimer un souhait ou un besoin en mettant à la disposition de l'enfant et de l'adulte des images ou pictogrammes qui représentent les mots de la langue (verbes, noms, adjectifs, adverbes etc...). L'enfant dispose d'un classeur sur lequel il ordonne des pictogrammes pour formuler sa demande afin que l'adulte y réponde verbalement. La réponse favorable de l'adulte renforce la demande initiale de l'enfant. Le recours aux renforçateurs est par conséquent souvent utilisé. Les données empiriques rapportent des résultats très positifs avec une augmentation des comportements socio-communicatifs, une émergence du langage oral et une diminution des troubles du comportement (Ganz & Simpson, 2004).

Le Makaton, est un autre programme d'aide à la communication et au langage, développé par une orthophoniste britannique, Margaret Walker en 1927 et introduit en France en 1995. Il est constitué d'un vocabulaire fonctionnel utilisé avec la parole, les signes et les pictogrammes. A la différence du PECS, les pictogrammes du Makaton sont plus abstraits et non personnalisables mais certains enfants qui éprouvent des difficultés de communication peuvent se sentir plus à l'aise en les combinant avec les signes empruntés à la langue des signes français. Les signes et les pictogrammes illustrent une diversité de concepts qui permet rapidement de favoriser les échanges (voir figure 4). Cette utilisation conjointe favoriserait le développement de la parole grâce la proximité cérébrale des zones concernées (Montoya & Bodart, 2009). Progressivement, l'enfant apprend des mots avec le signe et le pictogramme correspondant. Les différents objectifs du programme Makaton sont donc d'établir une communication fonctionnelle, d'améliorer la compréhension et de favoriser l'oralisation, de structurer le langage oral et écrit, de permettre de meilleurs échanges ainsi que d'optimiser l'intégration sociale.



Figure 4.

Exemple de l'utilisation du programme Makaton (d'après Montoya & Bodart, 2009)

Le Langage SACCADE Conceptuel (LSC), un modèle cognitivo-comportemental qui utilise la remédiation cognitive et pédagogique à l'aide d'un code écrit adapté, peut également faciliter la communication des élèves avec TSA. Il est fondé sur l'hypothèse du fonctionnement interne de la structure de pensée autistique (Harrison & St-Charles, 2012). Il permet à la personne avec TSA d'avoir accès au sens de l'information qu'elle reçoit et de diminuer son anxiété. Une formation est proposée mais elle n'est dispensée que par l'équipe de formateurs SACCADE. Le LSC n'est pas encore validé avec des données probantes.

Enfin, la langue des signes française, qui apparaît au milieu du XVIII^e siècle est également un moyen de communication alternative et/ou augmentative que les personnes avec TSA peuvent utiliser. L'importance de la langue des signes est reconnue depuis plus de 35 ans aux États-Unis. En France, c'est la loi du 11 février 2005 qui la reconnaît comme « langue à part entière ». Elle s'avère être une

solution adaptée pour permettre à ces personnes de communiquer (Sancho, 2015), d'autant que les personnes avec TSA utilisent facilement le canal visuel-gestuel.

2.3 Les effets de l'inclusion scolaire des élèves avec TSA

L'inclusion scolaire peut provoquer un bouleversement dans l'organisation habituelle de la classe. Après avoir présenté les différents parcours actuels de la scolarisation des élèves avec TSA, nous nous attacherons particulièrement aux effets de l'inclusion scolaire de ces élèves. Du côté des enseignants, d'une part, en cernant la relation pédagogique, du côté des élèves, d'autre part, en évoquant les effets aussi bien sur les élèves avec TSA que sur les enfants de la classe d'inclusion.

2.3.1. Les différents parcours de scolarisation pour les élèves avec TSA

Nous pouvons regrouper quatre parcours différents. Le premier est celui de la scolarisation en classe ordinaire, avec des enseignants non spécialisés, voulu et défendu par l'école inclusive. Ici, selon l'avis de la MDPH, les élèves peuvent bénéficier d'une aide humaine à l'école (Accompagnant d'Élèves en Situation de Handicap, AESH individuelle) et peuvent fréquenter, en même temps, différents services (Services d'éducation spéciale et de soins à domicile, institut médicoéducatif, hôpital de jour). Le Parcours personnalisé de Scolarité (PPS) guide la scolarisation de l'élève. Le second parcours est celui de l'Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire (ULIS-école, ULIS-Collège ou ULIS-lycée). Il est préconisé lorsque l'enfant en situation de handicap ne peut suivre de manière continue sa scolarisation dans une classe ordinaire. Les enfants sont placés sous la responsabilité d'un enseignant spécialisé avec la présence d'un ou plusieurs AESH. En fonction de leur niveau scolaire, les élèves peuvent être inclus dans une classe de l'école pour suivre certains enseignements. Le troisième parcours, lié au troisième plan autisme, est la scolarisation en Unités d'Enseignement Maternel Autisme ou en Unités d'Enseignement Élémentaire Autisme (UEMA, UEAA) qui sont implantées dans les écoles maternelles ou élémentaires et rattachées à un établissement ou service médico-social. L'enseignant spécialisé travaille aux côtés de psychomotriciens, éducateurs spécialisés, ergothérapeutes ou neuropsychologues. Il est également accompagné d'un AESH. Depuis la rentrée 2021, plus de 330 Unités d'Enseignement (UE) ont été créées dans les écoles maternelles et élémentaires. En 2022, les UEMA devraient scolariser plus de 2000 enfants d'âge maternel, soit environ 10 % de la classe d'âge des 3/6 ans présentant des TSA. Un programme de création de 45 UEMA est prévu d'ici 2022/2023. Enfin, le quatrième parcours est la mise en place

d'une unité d'enseignement spécialisée directement dans les établissements d'accueil (type CMP ou IME). Ce dernier parcours est destiné à des élèves ayant un TSA dit sévère avec la présence d'un retard mental important (Cappe et al., 2016). Le tableau 3 propose un récapitulatif des différentes structures qui peuvent accueillir des élèves avec TSA conformément aux textes officiels.

Tableau 3.

Récapitulatif des structures accueillant les élèves avec TSA

Structure	Effectif	Textes officiels
Hôpitaux de jour CMP Centre Médico Psychologique	Petit groupe Individuel 0 à 20 ans	Circulaire du 18 novembre 1991, relatif à la Scolarisation des enfants et des adolescents accueillis dans des établissements à caractère médical, sanitaire ou social
IME Institut Médico Educatif	Petit groupe Individuel 3 à 20 ans	Arrêté du 2 avril 2009, relatif à la scolarisation des enfants, adolescents et des jeunes adultes handicapés dans les établissements spécialisés
UEMA Unité d'Enseignement en Ecole Maternelle	7 élèves 3 à 6 ans	Instruction ministérielle du 13 février 2014 relative à la création de places et des unités d'enseignements prévus par le 3 ^{ème} plan autisme.
UEEA Unité d'Enseignement Élémentaire Autisme	10 élèves 6 à 11 ans	Instruction ministérielle du 1 ^{er} aout 2018
ULIS école Unité Localisée Inclusion Scolaire	12 élèves 6 à 12 ans	Circulaire du 21 aout 2015, pour la scolarisation des élèves en situation de handicap dans le premier et second degré
ULIS collège	10 élèves 12 à 16 ans	
ULIS lycée	10 élèves	
ULIS pro		La première classe d'ULIS pro a ouvert à la rentrée de septembre 2021 à Château-Chinon

2.3.2. Les effets sur la relation pédagogique

Avec un diagnostic des TSA tardif en France, en moyenne entre 3 et 5 ans (HAS, 2018), de nombreux enseignants non spécialisés accueillent à chaque rentrée des élèves avec TSA. Peu d'études françaises se sont intéressées à cette inclusion en maternelle (André et al., 2015). Or, le rôle



de la relation pédagogique et notamment l'influence des comportements de l'enseignement sur l'engagement social est importante pour les enfants à besoins éducatifs particuliers (Tsao et al., 2008). À partir d'une étude portant sur 143 élèves en situation de handicap (déficits de développement, troubles du langage, autisme), âgés de 48 à 54 mois, Tsao et ses collaborateurs (2008) montrent que les enfants porteurs de handicap se sont engagés positivement dans les relations avec leurs pairs au développement typique ainsi qu'avec les adultes. Chaque enfant a bénéficié de trois séances d'observation de 30 minutes et ils ont été évalués avec le *Code for Active Student Participation and Engagement-Revised* (en anglais, CASPER-III, Tsao et al., 2001). Toutefois, les interactions sont plus nombreuses quand les adultes ont bénéficié d'une formation à l'éducation spécialisée démontrant ainsi l'importance de la formation des enseignants.

Une autre recherche, à cas unique (Despois et al., 2016), a étudié les interactions entre une enseignante expérimentée d'une classe de toute petite/petite section et un élève avec TSA âgé de 4 ans. Les temps d'accueil de cet élève sont filmés au cours du premier trimestre. Notons que la scolarisation est partielle : une matinée par semaine. Les résultats montrent, d'une part, que lorsque la guidance de l'enseignante est faible, l'engagement social de l'enfant inclus est faible. Les jeux proposés à l'élève avec TSA (puzzles, tâches de motricité fine) paraissent inadaptés à ses compétences et ne permettent pas un engagement social. Lorsque l'enseignante souhaite apporter une aide individuelle en apportant une guidance physique, en montrant par exemple le geste attendu et en l'accompagnant dans la réalisation d'un puzzle, il y a toujours un désengagement. Or, lorsque les tâches de motricité fine sont adaptées aux capacités cognitives de l'élève, l'élève avec TSA s'engage seul ou avec les autres. D'autre part, cette étude souhaitait identifier l'évolution de ces interactions. Les résultats montrent que l'engagement de l'enfant reste faible quand la guidance de l'enseignante est faible. En revanche, l'élève avec TSA montre un engagement plus actif sans la guidance de l'enseignant lorsqu'il effectue des tâches à côté d'autres élèves. Malgré les limites de cette étude qui ne porte que sur un seul enfant, les auteurs ont interrogé une pratique enseignante et montrent que le profil d'interaction dominant est du registre de l'assimilation (André et al., 2014) avec une interaction « absence de guidance/non engagement » selon les situations. Les résultats montrent également l'importance de différencier les tâches, de les adapter au niveau de l'élève et le rôle important des pairs.

Mazereau (2011) montre que les enseignants de milieu ordinaire ont essentiellement recours à la guidance individuelle. Par manque de formation (Chastang, 2019 ; Akoa & Houillon, 2016), ils ne seraient pas en mesure de proposer une palette d'aides, notamment en s'inspirant des programmes d'intervention ABA ou TEACCH que nous avons cités précédemment. Selon Martin-Noureaux

(2016), l'inclusion peut déstabiliser l'enseignant qui doit gérer l'ensemble de sa classe et simultanément l'enfant en inclusion. La guidance individuelle paraît donc être le premier outil à disposition des enseignants. De surcroît, l'un des premiers objectifs pédagogiques dans les classes maternelles est la socialisation de l'enfant inclus. L'enseignant compte donc aussi sur les autres élèves de la classe.

Néanmoins, la littérature ne souligne pas que des effets positifs lors des inclusions, elle peut relater le stress ressenti par les enseignants qui accueillent des élèves avec TSA. Boujut & Cape (2016), à partir d'échelles auto-évaluatives, complétées par 245 enseignants, ont montré que les enseignants de milieu ordinaire disposent de moins de ressources que leurs collègues spécialisés pour adapter leur enseignement et que ce manque de formation constitue une source de stress. Les capacités d'attention et de concentration limitées des élèves avec TSA, les difficultés sociales rencontrées avec les pairs ainsi que les crises pouvant entraîner des comportements agressifs ne permettent pas toujours aux enseignants, souvent peu formés comme nous venons de le dire, de réagir efficacement et sereinement. Rattaz et al. (2013/4) résumant ces difficultés (voir tableau 4) suite à un questionnaire soumis à 223 enseignants qui accueillent des élèves avec TSA (n=427) aussi bien en classe ordinaire que spécialisée. D'autres difficultés sont également soulignées comme le manque de connaissance sur l'autisme ou un sentiment d'isolement.

Tableau 4.

Difficultés rencontrées par les enseignants accueillant des élèves avec TSA (d'après Rattaz et al., 2013/4)

	Classe ordinaire n=166	Classe / dispositif adapté n=55	Total n=221	Chi2
Faibles capacités d'attention et de concentration	74 %	77 %	75 %	ns
Difficulté à intégrer l'enfant dans le groupe	72 %	73 %	72 %	ns
Comportements répétitifs ou stéréotypés	49 %	59 %	52 %	ns
Résistance aux changements	49 %	55 %	51 %	ns
Troubles du comportement	44 %	68 %	50 %	9.93, p = .002
Insuffisance des moyens de communication	46 %	39 %	44 %	ns
Manque de motivation	34 %	48 %	37 %	4.15, p = .054
Gestion des temps informels	22 %	39 %	27 %	6.62, p = .014
Manque de connaissances sur l'autisme	77 %	55 %	71 %	ns
Sentiment d'isolement de l'enseignant	50 %	30 %	45 %	ns



Blancher et ses collaborateurs (2014) ont montré que face à ces élèves avec TSA aux réactions imprévisibles, les enseignants peuvent développer des relations plus distanciées ou conflictuelles et parvenir à un épuisement professionnel (Churchod Ruedi et al., 2013) voire à un burn-out (Friedman, 2003). La formation des enseignants semble donc essentielle. L'enquête de Rattaz et ses collaborateurs (2013) souligne en effet que 23% des enseignants en classe ordinaire ont bénéficié d'une formation spécifique sur l'autisme, en général, une formation d'1/2 journée ou d'une journée qui consiste en une présentation générale de l'autisme. Boujut & Cape (2016) montrent parallèlement que les enseignants spécialisés, titulaire d'un CAPA-SH (actuellement, le CAPPEI, certificat d'aptitude professionnelle aux pratiques de l'éducation inclusive) plus soutenus par leurs collègues et habitués à travailler avec des personnels du soin, vivent l'accueil d'un enfant avec TSA plus comme un défi et moins en termes de menaces. L'importance de la formation initiale des enseignants est donc très importante car elle permet d'observer, de comprendre et d'agir en prenant en compte les spécificités des besoins et les outils disponibles pour ce public d'enfants très spécifique. Actuellement, cette formation initiale spécifique dispensée à l'Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation (INSPÉ) est d'une durée égale à 25 heures, soit 5 jours sur l'ensemble de la formation, ce qui semble dérisoire.

2.3.3. Les effets sur les élèves

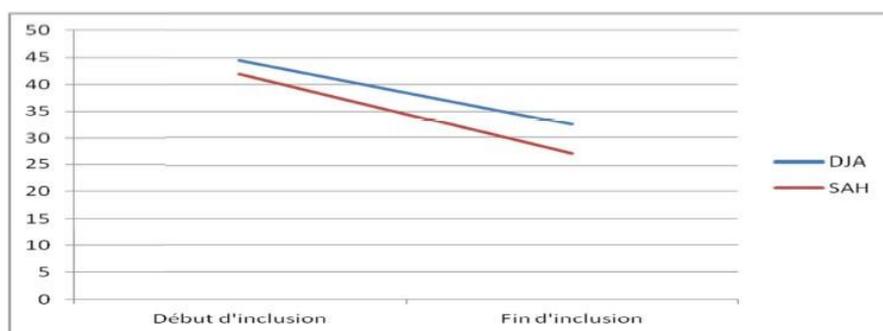
Malgré des méthodologies variées, de nombreuses études mettent en avant les effets positifs de l'éducation inclusive sur les élèves avec TSA. Rattaz et ses collaborateurs (2013/4) montrent que 64% des enseignants de classe ordinaire notent des progrès de l'élève avec TSA en inclusion concernant la vie en collectivité, 57% constatent des améliorations dans les relations avec les pairs et 48% des progrès dans les apprentissages (voir tableau 5). De plus, une diminution des troubles du comportement est constatée.

Tableau 5.

Bénéfices de la scolarisation des élèves avec TSA (d'après Rattaz et al. (2013/4)

	Classe ordinaire n=167	Classe / dispositif adapté n=56	Total n=223	Chi2
Progrès de l'élève (vie en collectivité)	64 %	75 %	67 %	ns
Progrès de l'élève (relations avec les pairs)	57 %	59 %	58 %	ns
Progrès de l'élève (apprentissage)	48 %	73 %	54 %	10.82, p = .001
Réduction des troubles du comportement	34 %	62 %	41 %	13.93, p < .001
Modification des pratiques de l'enseignant	55 %	87 %	66 %	19.2, p < .001

Une autre étude de Merchelet & Azzouz (2012) présente également des résultats encourageants sur l'inclusion de deux jeunes élèves avec TSA dans une classe de 17 enfants de maternelle. Ces deux enfants dont les scores à la CARS sont élevés au début de l'expérimentation (44,5 et 42) ont été inclus pendant une année scolaire alors que l'inclusion est encore inexistante en Algérie à cette époque. Les résultats montrent tout d'abord que les deux enfants ont joui d'une certaine popularité dans la classe suite à la passation d'un test sociométrique. Les enfants de la classe devaient mettre dans des boîtes trois prénoms d'enfants avec qui ils aimeraient jouer et dans une autre boîte, trois prénoms d'enfants avec qui ils n'aimeraient pas jouer. Ces deux enfants sont arrivés 4^{ème} et 11^{ème} rang sans faire partie des enfants isolés. Concernant les résultats à la CARS, ils passent d'un seuil d'intensité sévère à moyen comme le montre la figure 5 ci-dessous.

**Figure 5.**

Evolution du score des deux enfants à la CARS (d'après Merchelet & Azouz, 2012)

Cette évolution s'accompagne d'une légère amélioration des compétences scolaires et des habiletés comportementales. Néanmoins, il n'y a pas eu de progrès sur les habiletés sociales ou la

communication. Bien que cette étude soit fondée sur l'étude de deux cas, elle montre que l'inclusion scolaire a été stimulante pour ces deux enfants.

Enfin, l'étude de Nahmias et ses collaborateurs (2014) a comparé les résultats de 98 élèves avec TSA à l'entrée de l'école primaire. Pendant la période préscolaire, ces enfants étaient placés dans trois environnements différents : en inclusion, avec d'autres enfants porteurs de handicaps mixtes et uniquement avec des élèves avec TSA. Pour mesurer les progrès cognitifs, le *Developmental Assessment of Young Children* (en anglais, DAYC ; Voress & Maddox, 1998) a été administré au début de l'expérimentation et l'échelle *Differential Ability Scales*, Second Edition (en anglais, DAS ; Elliott, 2007) a été administrée à la fin de l'expérimentation. Les auteurs évoquent une limite à l'utilisation de deux outils différents qui peuvent biaiser leurs conclusions. Les résultats (voir figure 6) montrent néanmoins que les enfants placés en inclusion ont de meilleurs résultats que ceux placés dans des environnements à handicaps mixtes. De plus, ces auteurs montrent une progression importante pour les enfants présentant des déficiences du comportement adaptatif importantes (*low adaptive behavior*, en anglais)

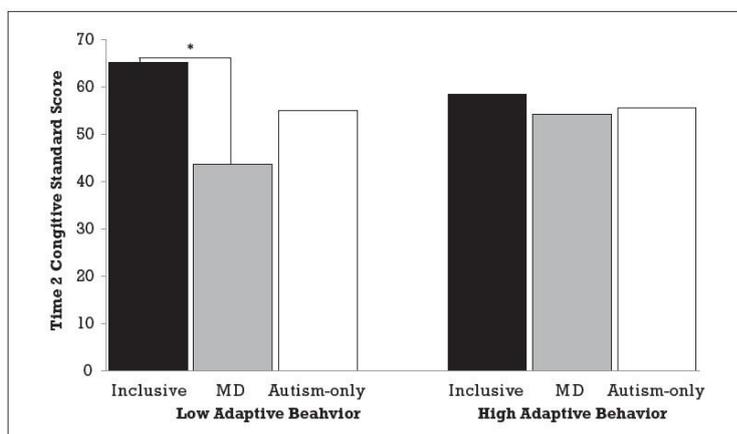


Figure 6.

Evolution des progrès cognitifs d'élèves avec TSA placés dans trois environnements différents : en milieu inclusif (Inclusive, en anglais), avec d'autres enfants aux handicaps multiples (MD) ou uniquement avec des élèves avec TSA (Autism-only, en anglais), d'après Nahmias & al (2014). Low adaptive behavior: standard score < 76 and high adaptive behavior: standard score ≥ 76.

Néanmoins, ces résultats ne sont pas unanimes. L'étude de Kidisha & Kemp (2009) a comparé l'engagement et les interactions sociales d'un groupe de 12 élèves avec TSA (âge moyen de 45 mois), en milieu inclusif et lorsqu'ils étaient isolés, c'est-à-dire en milieux spécialisés. Après une période de

quatre mois dans chacun des milieux, les interactions entre les enfants étaient faibles aussi bien en milieu spécialisé qu'en milieu inclusif (légèrement supérieurs), l'engagement est plus important et les échanges avec les adultes sont plus nombreux en milieu spécialisé, comme le montre le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6.

Comparaison de l'engagement et des interactions de 12 élèves avec TSA en milieu ségrégué vs milieu inclusif (d'après Kidisha et Kemp, 2009)

Child	Segregated					Inclusive				
	Active E	Passive E	Total E	Adult I	Peer I	Active E	Passive E	Total E	Adult I	Peer I
Eric	74.3	18.2	92.5	40.3	2.1	53.8	11.3	65	6.7	0.4
Lara	66.8	12.3	79	32.4	0.4	69.3	11.8	81.1	22.9	2.5
Nick	82.8	12.6	95.4	57	0.9	67.1	32.1	99.2	29.6	5.8
Sam	82.4	10.8	93.2	38.3	7.2	77.2	17.8	95	18.3	44.7
Jeff	65.9	12	77.9	50.2	0.4	42.5	17.9	60.4	13.8	0.4
Tim	84.6	11.3	95.8	47.1	13.8	72.1	18.8	90.8	18.8	5
Luke	48.6	38.2	86.8	32.6	0.7	23.8	25	48.8	20.8	1.3
Mike	62	7.1	69.2	23.4	3.8	62.9	8.8	71.7	9.6	14.6
Phil	88.8	7.7	96.4	41.2	7.3	88.3	9.6	97.9	22.5	5
Alan	47.5	16.7	64.2	30.4	0.8	52.5	14.6	67.1	19.6	1.3
Fred	18.8	18.3	37.1	64.6	0	29.8	22.2	52	31.2	0
Chris	76.5	15.1	91.6	49.5	2.1	21.3	10.8	32.1	2.1	1.3
Mean	66.6	15.0	81.6	42.2	3.3	55.0	16.7	71.8	18	6.8

Note: E = engagement; I = interaction.

Dans la même veine, Harris et ses collaborateurs (1990) ont comparé les effets d'un programme centré sur le développement du langage chez des élèves avec TSA en inclusion scolaire comparé à des élèves en milieu spécialisé (et non inclus). Les gains langagiers sont identiques. Ces résultats rejoignent ceux de Panerai et ses collaborateurs (2009) qui n'observent pas de différence en instaurant le programme TEACCH en milieu inclusif ou spécialisé. De fait, des études soulignent que la seule présence des pairs aux côtés de l'élève avec TSA ne suffirait pas à développer des compétences sociales (Anderson & al., 2004 ; Ingram et al., 2007). L'étude de Kasari et ses collaborateurs (2011) a montré que les élèves avec TSA scolarisés en inclusion jouaient plutôt en périphérie des autres élèves (voir figure 7) et qu'ils avaient des réseaux sociaux peu étendus. Sur la base des catégorisations de Farmer et Farmer (1996), quatre niveaux de centralité de réseaux sociaux ont été établis. Les enfants considérés comme isolés (*isolated*, en anglais) ont obtenu un score de 0 pour la centralité de leur réseau social, ils ne sont pas considérés comme faisant partie d'un groupe d'enfants de la classe. Les enfants jouant à proximité des autres (*peripheral*, en anglais) ont obtenu un score de 1 ; ils peuvent avoir quelques liens avec les autres enfants de la classe mais ne sont pas des membres importants du réseau social de leur classe. Les enfants ayant obtenu un score de 2, considérés comme

secondaires (*secondary*, en anglais) sont des enfants bien intégrés dans la classe et ceux étant les plus populaires (*nuclear*, en anglais) ont reçu un score de 3.

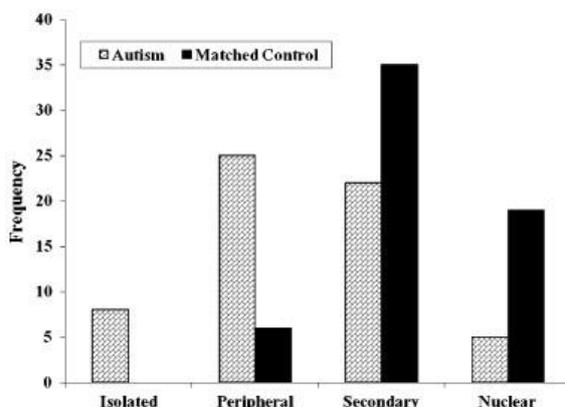


Figure 7.

Jeux sociaux des élèves avec TSA comparés à des enfants au développement typique (d'après Kasari et al., 2011)

Cette étude a porté sur 60 élèves avec TSA, avec un QI supérieur à 65 (dont 16 enfants avec syndrome d'Asperger), âgés de 6 à 11 ans, et scolarisés en inclusion au moins à 80% du temps, comparés à des enfants au développement typique. Soixante pour cent des enfants bénéficiaient d'une aide humaine mais qui n'a pas facilité l'engagement social de ces élèves. Elle a également montré que les relations sont moins bonnes quand les enfants sont plus âgés et que les amitiés étaient moins réciproques (voir figure 8). Les amitiés entre les trois premiers amis (*Reciprocal top 3 best*, en anglais) et les meilleurs amis (*reciprocal best friendships*, en anglais) ont été examinés. Le pourcentage d'amitiés réciproques des enfants avec leurs trois meilleurs amis désignés est significativement plus faible chez les élèves avec TSA par rapport à leur pair au développement typique. Ils ont également moins de meilleurs amis réciproques.

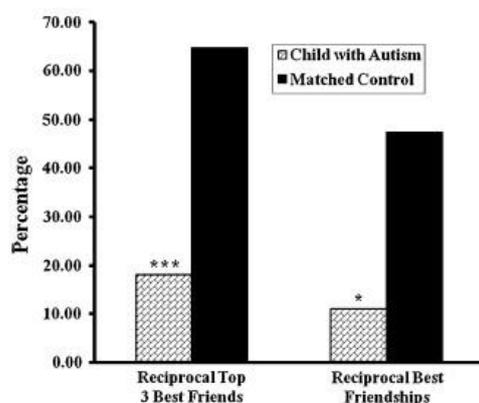


Figure 8.

Comparaison des relations amicales entre les élèves avec TSA et les enfants au développement (d'après Kasari et al., 2011)



Concernant les effets de l'inclusion des élèves avec TSA sur le développement des apprentissages des enfants au développement typique, la littérature relate peu d'études, à notre connaissance, de surcroît avec de jeunes élèves. C'est la raison pour laquelle, notre recherche s'est centrée sur les apports du numérique, et particulièrement sur l'aide de la tablette numérique avec une application adaptée, pour développer des compétences scolaires d'élèves scolarisés en classe maternelle. Notons néanmoins que la méta analyse réalisée par Szmumski et ses collaborateurs (2017) autour de 47 études en Europe, aux États-Unis et au Canada, montre un effet faible mais globalement positif de l'inclusion sur les apprentissages et les compétences socio-affectives des élèves au développement typique. En effet, il semblerait que ces élèves présentent moins de préjugés à l'égard des enfants porteurs de handicap, qu'ils seraient plus tolérants et accepteraient mieux leurs propres faiblesses (Farell, 2000).

Conclusion

Grâce à la volonté politique en faveur de l'inclusion scolaire, le nombre d'élèves avec TSA scolarisé dans les écoles ordinaires française est de plus en plus important. Le Comité National de suivi de l'école inclusive (CNSEI), réuni le 25 juillet 2022, annonce la scolarisation de plus de 430 000 élèves en situation de handicap pour cette rentrée 2022, un effectif qui a triplé en 15 ans. Afin de mieux prendre en charge les élèves avec TSA, 84 nouveaux dispositifs en maternelle (UEMA) et en élémentaire (UEEA) seront créés. Trois cent trente nouvelles ULIS seront également ouvertes, de l'école élémentaire au lycée, portant leur nombre à 10 272. Enfin, 4000 postes d'AESH seront créés pour la rentrée 2022. Néanmoins, aucune annonce ne concerne, par exemple, l'augmentation du nombre d'enseignants spécialisés ou la formation initiale des enseignants qui accueillent des élèves avec TSA. Or, nous venons de voir dans ce chapitre les liens manifestes entre la formation et l'inclusion efficace. Les milieux d'inclusion permettent une interaction avec des pairs au développement typique, dont l'importance est de plus en plus reconnue (Nahmias & al., 2014) mais il ne suffit pas de placer des élèves avec TSA aux côtés d'enfants au développement typique. Les études d'Harris et al. (1990) et Panerai et al. (2009) soulèvent des effets mitigés de l'inclusion car les progrès des élèves avec TSA, notamment langagiers, ne seraient pas favorisés par l'inclusion. Kidisha & Kemp (2009) ont par exemple montré que les échanges étaient plus nombreux quand les enfants étaient dans un milieu spécialisé. Ces résultats semblent rejoindre les travaux de Tsao et ses collaborateurs (2008) qui montrent que les échanges entre les enfants sont plus nombreux quand les enseignants sont formés. Ce manque de formation est souligné dans de nombreuses études (Merchelet & Azzouz, 2012 ; Rattaz et al., 2013/4). La guidance serait le premier outil mis en place par les enseignants (Despois et al., 2016) et il ne serait pas toujours efficace. Nous avons vu que les méthodes TEACCH (par ex., structuration de l'espace ou du temps) ou ABA (par ex., structuration des apprentissages, répétitions) proposent de nombreux outils qui sont souvent méconnus des enseignants. Des guides existent, notamment « Scolariser des élèves autistes ou présentant des troubles envahissants du développement » publié par le ministère de l'Éducation Nationale (2009) mais ils ne sauraient remplacer une formation, aujourd'hui réduite à 25h dans les INSPÉ. Szmumski et ses collaborateurs (2017) ont constaté des effets globalement positifs de l'inclusion pour les élèves avec TSA ainsi que pour les autres élèves de la classe ; ils doivent être encore encouragés.

Nous verrons dans un troisième chapitre quelles sont les applications éducatives qui peuvent être utilisées par les élèves avec TSA pour développer leurs compétences scolaires, améliorer leur communication et faciliter leur socialisation. Lorsque ces applications disposent de qualités



pédagogiques, elles peuvent être utilisées dès l'école maternelle et peuvent être un outil au service des enseignants et de la différenciation.

Chapitre 3- Les applications éducatives sur tablettes tactiles auprès des élèves avec TSA

Le développement du numérique, avec des coûts accessibles (Knight et al., 2013) aurait permis de changer la vie des personnes avec TSA (Vandromme, 2018). En effet, elles sont attirées vers ces nouvelles technologies (Grossard & Grynszpan, 2015). Suite à une enquête menée auprès de 472 adolescents avec TSA et inscrits au lycée, Hedges et ses collaborateurs (2018) ont montré que les tablettes numériques étaient le deuxième outil numérique le plus utilisé après le smartphone. Les tablettes semblent correspondre à leur fonctionnement particulier : les réponses sont immédiates, prévisibles et peuvent être répétées (Moore et al., 2000), les informations sont présentées de façon séquentielle (Knight et al., 2013), les tâches sont clairement définies ce qui favorise l'attention tout en réduisant les distractions (Murray, 1997). Les tablettes permettent également d'interagir dès le plus jeune âge par exemple avec les applications comme Minecraft ou Angry Birds plébiscitées par ces jeunes enfants (Marsh et al., 2015) et de mettre en place une interactivité dans les salles de classe en partageant, par exemple, des histoires sur des applications (Merchant, 2015).

De nombreuses applications existent et concernent les élèves avec TSA. La plate-forme collaborative *application.autisme.com*, les répertorient par domaines d'apprentissage. L'utilisation de tablettes numériques permettrait de travailler les compétences sociales, communicationnelles, émotionnelles, comportementales ou académiques (Hong et al., 2018). En effet, des applications ont permis de développer la collaboration, la créativité d'élèves avec TSA à l'instar des applications *drawing* ou *photogoo* (Hourcade et al., 2012), ou l'attention conjointe (Holt & Yuill, 2017). La possibilité de recourir à la Communication Alternative et /ou Augmentée (CAA) peut améliorer les compétences communicationnelles (Fage et al., 2018 ; Grossard & Grynszpan, 2015). Lorah et ses collaborateurs (2015) ont montré par exemple que 93% des personnes avec TSA améliorent leurs capacités de communication à l'aide d'un générateur de parole tel que *Proloquo2Go*, par exemple. Des études ont également porté sur le développement de l'autonomie dans les tâches quotidiennes chez des personnes adultes avec TSA comme plier des serviettes, passer l'aspirateur (O'Handley & Allen, 2017) ou faire des achats (Burkley et al., 2015). Récemment l'étude de Pérez-Fuster et ses collaborateurs (2019), menée avec quatre adultes sur une période de huit semaines, a montré que l'utilisation des tablettes numériques est plus efficace que des outils traditionnels pour apprendre à mettre la table ou faire la vaisselle. Les études concernant les enfants sont moins nombreuses. Cihak



et ses collaborateurs (2010) ont montré que l'utilisation d'une tablette avait amélioré les déplacements et les transitions dans la journée de quatre enfants âgés de 6 à 8 ans grâce à la modélisation vidéo. De même, Garnier et ses collaborateurs (2017), ainsi que Mercier et ses collaborateurs (2018) ont montré que le recours aux applications numériques permettait des gains dans l'autonomie des élèves avec TSA, dans le brossage des dents par exemple, grâce à la décomposition de la tâche (Mercier et al., 2018), en utilisant l'application *çATED*, un agenda numérique. Enfin, bien qu'il soit difficile d'établir les effets bénéfiques de certaines des applications, la méta-analyse de Xie et ses collaborateurs (2018) montre que les situations d'apprentissage ayant recours aux tablettes numériques sont bénéfiques aux apprentissages. Les applications *Mathpower*, *Preschool et School* développées par *Learn Enjoy* permettent d'enseigner des compétences en lecture, écriture, nombres ou calculs avec une progressivité des activités conçues par des enseignants spécialisés et des orthophonistes (Bourgueil et al., 2015). Ces applications, par exemple, fondées sur l'analyse comportementale appliquée (ABA) disposent de certaines qualités comme la guidance ou le choix de niveaux de réussite, le renforcement des réponses (Tarbox et al., 2006) et des consignes simples (Murphy, 2006). Les études de Nézereau et ses collaborateurs (2016, 2018) ont montré des gains significatifs notamment dans les capacités de régulation et de résistance au changement, après 3 à 6 mois d'utilisation des applications *Learn Enjoy*, avec 40 personnes avec TSA, pendant deux années. De plus, les bénéfices sont plus importants pour les participants ayant bénéficié de trois heures d'entraînement par semaine par rapport aux participants ayant bénéficié d'une ou deux heures. Néanmoins, à notre connaissance, peu d'études ont évalué les apports d'une application éducative sur les apprentissages dans un contexte écologique. Aussi, dans le cadre de l'inclusion scolaire et pour la favoriser, il nous a semblé intéressant de proposer un entraînement sur tablette à des élèves avec TSA, âgés de 4 à 6 ans, au sein de leur classe.

L'objectif de notre revue de la littérature est de réaliser une synthèse sur les différents travaux depuis 2010 concernant l'impact de l'utilisation des tablettes numériques avec des élèves avec TSA. Nous attacherons une importance particulière aux qualités et fonctionnalités des applications et analyserons les travaux portant plus spécifiquement sur les différents domaines du développement et des apprentissages.

Article 1 - Les applications éducatives sur tablettes tactiles auprès d'élèves avec Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA) : une revue de la littérature

C. Saleur, Y. Tazouti, & C. Luxembourgger

Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la Dynamique des Comportements
(2LPN, EA 7489) – 34 Cours Léopold, 54000 Nancy

Article en révision dans la revue Carrefours de l'Education

Introduction

Dans la classification internationale de l'Association Américaine de Psychiatrie (DSM-V, APA, 2015), l'autisme est un trouble neurodéveloppemental dont deux des principaux critères diagnostiques sont la présence d'un déficit de la communication sociale d'apparition précoce ainsi que le caractère restreint et répétitif des comportements et des intérêts. Les altérations de la communication et les anomalies des interactions sociales seraient présentes chez toutes les personnes avec autisme, quel que soit le degré de sévérité.

Depuis une vingtaine d'années, l'évolution technologique et l'accès facilité aux outils numériques offrent une ressource complémentaire venue enrichir considérablement les dispositifs d'accompagnement des personnes en situation d'handicap en ciblant spécifiquement des registres de compétences souvent difficiles à faire acquérir avec les outils ordinaires. Stepenson & Limbrick (2015) soulignent l'appétence des élèves avec TSA pour les différents supports mobiles interactifs. De nombreuses recherches montrent également que l'utilisation d'une tablette numérique avec des élèves avec TSA améliore leurs compétences communicationnelles et émotionnelles (e.g. Allen et al., 2016, Fage et al., 2018), leurs performances scolaires (e.g. Stasolla et al., 2016), ou encore leurs interactions sociales (e.g. Briet et al., 2018). Toutefois, peu de revues critiques de ces recherches ont été réalisées. Ainsi l'objectif de cet article est de réaliser une synthèse de ces travaux. Tout d'abord, nous aborderons les apports de la tablette dans le contexte scolaire. De même, nous évoquerons les qualités et les fonctionnalités nécessaires des applications éducatives. Ensuite, nous analyserons les travaux portant sur l'apport des applications éducatives aux différents domaines du développement

et des apprentissages des élèves avec TSA. Dans un dernier temps, nous évoquerons les implications pour les futures recherches ainsi que les implications pédagogiques

Procédure de recherche et inclusion des articles

Notre étude s'est déroulée en plusieurs étapes. En premier lieu, nous avons conduit une recherche systématique des articles concernant l'utilisation des applications éducatives sur tablettes tactiles par des élèves avec TSA. Pour ce faire, nous avons interrogé différentes bases de données : ScienceDirect, JSTOR, PsycINFO ou PsycARTICLES, Wiley, Taylor & Francis, ERIC, Elsevier, PubMed, Sage Journals, Springer. Nous avons utilisé plusieurs mots-clés pour effectuer notre recherche : « tablette tactile » ; « application éducative » ; « élève avec TSA » ; « autisme » ; « développement » et « apprentissages ». Nous avons ainsi obtenu 105 articles mais seuls 23 d'entre eux ont été inclus à notre étude car ils respectaient les critères suivants :

- l'article est issu d'une revue à comité de lecture et répertoriée dans les bases de données ;
- l'article est disponible en langue française ou anglaise ;
- l'article utilise une méthodologie qualitative et/ou quantitative ;
- l'article évalue les effets des applications éducatives sur le développement ou les apprentissages des enfants d'âge préscolaire et/ou scolaire.

L'ensemble des articles sélectionnés est présenté de manière synthétique dans le tableau 1. Les articles sont classés par ordre alphabétique du premier auteur. Afin d'avoir une vue d'ensemble, le tableau présente le pays dans lequel l'étude a été menée, l'âge des enfants, la taille de l'échantillon, la durée de l'expérimentation, les compétences évaluées ainsi que les tests et/ou les applications utilisées.

*Insérer ici Tableau 1 – Tableau synthétique des principales études

Comme nous pouvons le constater, les études retenues dans cette synthèse ont été publiées entre 2010 et 2021 (mode et médiane = 2016) et ont été menées aux États-Unis (5 études = 22 %), en Asie/Australie (6 études = 26 %) ou en Europe (12 études = 52 %). Elles incluent des participants âgés de 2 à 17 ans. La taille des échantillons varie de 1 à 62 (moyenne = 15,61 ; écart-type = 19,42).

Les applications éducatives sur tablettes tactiles

L'outil tablette pour enfant au développement typique et atypique

Les tablettes se distinguent des ordinateurs traditionnels sur plusieurs points. Tout d'abord, elles sont légères, portables et mobiles. Leur écran permet de réaliser une série d'actions tactiles directement avec le doigt telles que taper, glisser ou glisser-déposer. Contrairement aux ordinateurs commandés par souris qui nécessitent un plus grand contrôle de la motricité fine, les tablettes éliminent cet obstacle opérationnel facilitant les manipulations par l'enfant au cours des premières années (Merchant, 2015). Près de la moitié des enfants de 0 à 2 ans et les deux tiers des enfants de 3 à 5 ans sont capables d'allumer et d'éteindre des tablettes, de faire glisser, de taper, d'ouvrir et de quitter des applications (Marsh et al., 2015). Enfin, l'écran implique moins d'efforts cognitifs et moteurs et il peut être partagé par plusieurs personnes du fait de sa portabilité (Amar et al., 2012).

L'utilisation des tablettes numériques dans la population d'âge scolaire s'est accrue ces dernières années. Les caractéristiques spécifiques des tablettes (faible coût, portabilité, mobilité, accessibilité, taille, facilité d'enregistrement et accès internet sans fil) ont facilité la mise en œuvre généralisée de la technologie numérique en classe (Neely et al., 2013). Les caractéristiques multimodales des tablettes (sons, animations et textes) attirent l'attention des jeunes enfants de manière multi sensorielle en stimulant les sens visuels, auditifs, kinesthésiques et tactiles (Roskos et al., 2014).

Les chercheurs et praticiens ont souligné l'avantage des nouvelles technologies en tant qu'outils thérapeutiques et éducatifs pour les personnes porteuses d'un TSA (Koumpouros et Kafazis, 2019 ; O'Neill et al. 2019 ; Neely et al., 2013). Par exemple, Koumpouros & Kafazis (2019) insistent sur le fait que ces outils sont très intéressants lorsqu'ils présentent la propriété d'être personnalisables, que les applications concernent davantage le monde réel et non seulement les environnements contrôlés. Le recours à l'intelligence artificielle permet de soutenir le diagnostic (en termes de repérage des difficultés et des aptitudes) et les interventions thérapeutiques. Par exemple, Pierce et al. (2011) qui mesurent les préférences visuelles du regard d'enfants de 14 à 42 mois avec *l'eye tracking* montrent que lorsque l'on présente simultanément à l'écran dans la moitié gauche une vidéo avec un enfant en mouvement (faisant de la danse ou du yoga) et dans la partie droite une vidéo avec des images géométriques en mouvement, les enfants de 14 mois et plus qui passent plus de 69% sur les figures

géométriques sont tous (100%) des enfants présentant un diagnostic de TSA. Les études avec la technologie de suivi des yeux montrent que les élèves avec TSA dirigent moins efficacement leur regard pour prélever les informations pertinentes et pendant une durée plus courte comme c'est le cas dans l'étude de Guimard-Brunault et al. (2013) avec des enfants de 9 ans. Deschamps et al. (2014) ont montré avec 15 élèves avec TSA de 7 ans que plus leur retard de développement est important moins ils fixent les visages et plus ils fixent l'arrière-plan de l'image. Ces quelques exemples soulignent un problème important : l'exploration visuelle de l'élève avec TSA présente certaines défaillances qui nécessitent des aménagements (pointage ou focalisation sur certains stimuli) voire une rééducation qui lui permette de mieux diriger le regard sur les informations pertinentes. Nous retrouvons également dans la littérature d'autres avantages dans l'utilisation d'une tablette numérique avec des enfants porteurs d'autisme. En effet, elle présente des avantages indéniables par rapport aux supports plus traditionnels comme le papier ou l'ordinateur portable. L'attractivité est plus grande et les personnes porteuses d'autisme sont plus aisément attirées vers ce support qui capte de manière plus durable leur attention (Santarosa & Conforto, 2016). De plus, contrairement à l'environnement social habituel, ces outils peuvent fournir aux personnes avec TSA, des réponses immédiates, prévisibles et répétables (Murray, 2011 ; Moore et al., 2000). Aussi, Moore et al. (2000) tirent profit de cet avantage interactif pour proposer aux personnes avec TSA des dispositifs leur permettant de se sentir plus apaisées et de dépasser leurs difficultés (déficience sociale, déficience de communication, rigidité, inflexibilité de la pensée, déficit en théorie de l'esprit). L'écran d'une tablette est également adapté aux possibilités de traitement visuel des personnes porteuses d'autisme. Elle permet, pour contourner les difficultés expressives et/ou motrices, un usage et un accès facilité aux images, aux textes et aux sons dont le professionnel accompagnateur (ou son entourage) peut aussi se servir comme interface pour communiquer avec la personne porteuse d'autisme (Virole, 2014).

Les qualités des applications éducatives

D'un point de vue socioconstructiviste (Vygotsky, 1978), les tablettes peuvent permettre de transmettre aux enfants des connaissances sur leur monde par le biais de différentes expériences médiatiques interactives (Kucirkova et al., 2015 ; Marsh, 2016 ; Neumann, 2014). L'apprentissage peut se faire grâce à l'étayage des interactions des enfants avec les tablettes par un adulte ou grâce aux caractéristiques intégrées d'une application elle-même (Neumann & Neumann, 2016 ; Yelland & Masters, 2007). De même, en adaptant la difficulté à son niveau, les applications numériques sur

tablettes peuvent permettre à l'élève avec TSA de travailler avec son accompagnant ou l'enseignant, en lui garantissant l'acquisition de compétences dans l'interaction sociale.

Pour Hirsh-Pasek et al. (2015), les applications éducatives sur tablettes présentent une façon différente et intéressante de faire entrer les enfants dans les apprentissages, à condition que leur utilisation fasse l'objet d'une réflexion pédagogique. Elles permettent alors un accompagnement individualisé des élèves en fonction de leurs compétences. Hirsh-Pasek et al. (2015) définissent les conditions à réunir pour que des applications à destination d'enfants de 0 à 8 ans puissent avoir un potentiel éducatif. Ils identifient quatre piliers : l'apprentissage actif, l'engagement, la mise en sens et l'interaction sociale. La qualité des apprentissages est d'autant plus garantie que les piliers sont associés à une explicitation de la finalité de ces apprentissages.

L'apprentissage actif se réfère à l'implication cognitive (*mind-on*) de l'enfant dans la tâche qui lui est proposée. Ainsi, les réponses qu'il donne ne viennent pas de la simple réaction à un stimulus (*mind-less*). L'application doit offrir à l'enfant un niveau de contrôle approprié lui permettant d'aller à son rythme tout en maintenant son intérêt. L'engagement se réfère à la possibilité que donne la tablette de favoriser l'attention soutenue de l'enfant. Cet engagement est possible, par exemple : 1° en évitant les distractions à l'écran ; 2° en travaillant sur la « responsivité » (réponse immédiate de l'interface à l'action de l'utilisateur) et sur l'ajustement de *feedbacks* de l'appareil ; 3° ou encore en travaillant la cohérence des tâches proposées. La mise en sens se réfère à la possibilité que donne l'activité à l'enfant de faire des liens entre ce qu'il apprend et son expérience personnelle, mais aussi d'étendre ses connaissances afin d'élaborer de nouveaux concepts. L'interaction sociale se réfère aux échanges riches que peut potentiellement avoir l'enfant par l'intermédiaire de la tablette avec ses pairs ou d'autres individus (coopération/collaboration), mais aussi les interactions de ces derniers avec les potentiels personnages fictifs de l'application *via* l'interaction parasociale. Ces préconisations vont dans le sens des observations faites par d'autres auteurs : l'univers de l'application doit être épuré (Bertone et al. 2005), les consignes doivent être courtes et simples (Murphy, 2006), la présence de *feedbacks* est nécessaire. Le renforcement des réponses de l'enfant est la base de la plupart des apprentissages (Tarbox et al., 2006). Enfin, l'implication de plusieurs sens (vision, audition, toucher) serait également un avantage (Mintz et al., 2012).

L'importance du ralentissement

Pour Gepner (2014), le monde « va trop vite » pour de nombreuses personnes avec TSA. Le décalage temporel entre le rythme du monde extérieur et celui du monde intérieur induit du stress, des difficultés de compréhension et de communication, des désordres émotionnels et relationnels, une lenteur et une maladresse motrices. Ralentir les vidéos et le son permettrait de remédier à ces difficultés et d'améliorer les performances communicatives et sociales des élèves avec TSA (Gepner, 2001 ; Gepner et al., 2001). En effet, de nombreux logiciels rendent possible le ralentissement des sons et des vidéos (comme par exemple LOGIRAL, Tardif & Gepner, 2012, 2014).

Les effets positifs du ralentissement ont été démontrés dans plusieurs recherches. Les élèves avec TSA accordent davantage d'attention au visage d'autrui (Meiss et al., 2015), la reconnaissance des mimiques faciales progresse et l'imitation des gestes faciaux ou corporels est facilitée (Gepner et al., 2001 ; Tardif et al., 2007 ; Lainé et al., 2008). Quand la durée des fixations visuelles sur la région buccale augmente, les capacités verbales et linguistiques s'améliorent (Tardif et al., 2016 ; Gepner et al., 2020). Le ralentissement augmente aussi les performances en discrimination phonologique (Tardif et al., 2002), dans la cognition verbale (Tardif et al., 2017), la communication verbale et non verbale ainsi que sur l'attention et la réciprocité sociale (Latzko, 2012). Une étude récente (cachée pour expertise) portant sur 40 élèves tout venant et 22 élèves avec TSA (entre 4 et 6 ans) a également montré qu'un ralentissement de la parole de 30 % peut améliorer significativement la compréhension verbale, l'écoute et la mémorisation de phrases.

Les apports des applications éducatives au développement et aux apprentissages des élèves avec TSA

Réduction des comportements à problèmes

Hourcade et al. (2011) soulignent que la tablette numérique peut être utilisée avec plusieurs personnes, pour faciliter les échanges, l'intérêt et réduire les comportements à problèmes. Ces auteurs parlent de comportements agonistiques qui incluent d'une façon générale les comportements inadaptés tels que les cris, les pleurs, les agressions dirigées vers le pair et les comportements de conflit par rapport à la possession de la tablette.

Le travail de Briet et al. (2018) a porté sur le rôle de la médiation par les pairs. Deux élèves avec TSA de 4 ans et 10 ans ont été appariés à deux pairs typiques, deux garçons de 10 ans, scolarisés en classe de CM2. Ces deux garçons typiques, c'est-à-dire ne présentant aucun trouble neurodéveloppemental, ont bénéficié d'une formation de quatre séances afin de se familiariser aux troubles autistiques et d'apprendre des stratégies destinées à favoriser les interactions sociales avec leur camarade porteur de TSA (attirer l'attention, faire des phrases simples...). Les deux dyades d'enfants ont travaillé ensemble pendant environ six mois, à raison de deux fois par semaine, pendant 30 minutes, à partir d'une application numérique (*Preschool*). Les résultats de cette étude montrent une augmentation des comportements sociaux positifs (demandes et réponses aux demandes, commentaires et réponses aux commentaires, aides et réponses à une proposition d'aide, présence de marques de courtoisie et réponses aux marques de courtoisie) des élèves avec TSA ainsi qu'une réduction des comportements agonistiques. Les progrès se maintiennent en l'absence de l'étayage d'un adulte.

Développement des interactions sociales et amélioration de la communication

On estime que 30% des personnes diagnostiquées avec un TSA ne parviennent pas à développer des compétences verbales (Wodka et al., 2013). L'utilisation des applications éducatives sur tablettes tactiles favorise la communication sociale auprès des personnes porteuses d'autisme et améliore les interactions sociales (Agius & Vance, 2016 ; Eliçin et al., 2017). La revue de littérature réalisée par Grossard & Grynszpan (2015) montre des effets bénéfiques sur l'acquisition des compétences communicationnelles. En effet, les applications de communication alternative ou augmentée permettent aux enfants de s'exprimer grâce à la synthèse vocale. L'article dresse une liste d'avantages potentiels des outils numériques notamment pour entraîner des habiletés altérées dans l'autisme comme la reconnaissance des expressions faciales ainsi que les compétences concernant les interactions sociales en utilisant par exemple les interactions avec des robots, des univers virtuels, des jeux sérieux, ou encore des tables numériques interactives. Gal et al. (2016) ont par exemple montré que l'utilisation d'une table interactive, avec 14 enfants de 7 à 12 ans, sur une durée de trois semaines, a permis une augmentation des interactions sociales positives et du jeu collaboratif ainsi qu'une baisse des interactions sociales négatives. Trois semaines après l'arrêt de cette utilisation, les compétences sociales demeurent acquises.

La revue de littérature sur l'utilisation des outils numériques et notamment la tablette comme alternative de communication chez les personnes avec TSA de Lorah et al. (2015) montre que les participants ont acquis rapidement des répertoires verbaux. La revue a porté sur l'analyse de 17 articles auxquels ont participé 57 enfants et jeunes adultes âgés de 3 à 23 ans. L'acquisition était souvent plus rapide à l'aide de la tablette numérique et la grande majorité des participants ont montré une préférence pour l'utilisation de la tablette plutôt que pour le recours à la langue des signes ou l'échange d'images. Sur l'ensemble des participants, 53 enfants sur 57 ont acquis des compétences communicationnelles en utilisant un Ipad ou un Ipod.

Fage et al. (2018) montrent également dans leur revue de littérature que l'utilisation de la Communication Alternative Augmentée (CAA) n'interfère pas dans la production de langage des élèves avec TSA et peut même au contraire l'améliorer. L'étude de Chien et al., (2015) extraite de cette revue souligne les avantages de l'implémentation numérique du PECS (application *iCAN*) par rapport à sa version papier. Grâce à 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, les 11 élèves avec TSA ont été plus volontaires pour communiquer avec leurs camarades.

Mercier et al. (2017) ont également montré que l'utilisation d'une tablette numérique améliore la communication sociale. Leur étude d'une durée de 14 mois est basée sur 13 enfants âgés de 7 à 10 ans scolarisés en Institut Médico Educatif (IME) ou en Unités localisées pour l'Inclusion Scolaire, Troubles Envahissants du Développement (ULIS-TED). À raison d'une demi-journée par semaine, ces chercheurs ont mené des observations concernant les pratiques et les usages d'une application (*çATED*) destinée à gérer les activités et l'organisation temporelle avec plus de malléabilité que sous un format papier. Chaque enfant dispose de sa propre tablette numérique avec l'application personnalisée (agenda, pictogrammes...). Mercier et al. (2017) ont constaté que les élèves en ULIS TED ont également utilisé la tablette pour faire des jeux individuels puis des jeux collectifs. Ils ont ainsi observé de nouvelles coopérations et interactions entre pairs. Ils soulignent la fonction *médiatisante* de l'outil qui favorise l'entrée dans les activités d'apprentissage et de communication. Ces auteurs précisent également que les échanges sont favorisés quand les enfants sont trois autour d'une tablette. Pour les cinq enfants en IME, l'application a permis la mise en place de nouveaux comportements qui favorisent la communication (Mercier & Guffroy, 2015).

De leur côté, Xin & Léonard (2014) ont proposé à trois élèves avec TSA âgés de 10 ans d'utiliser une application de générateur de parole (*SonoFlex*) pendant six semaines à raison de deux séances par semaine. L'application *Sonoflex* transforme des symboles en discours. Le but de l'étude est de déterminer si l'utilisation de l'application sur tablette numérique permet de développer la communication expressive (initiation des demandes, réponses à des questions, augmentation des commentaires sociaux) et si la communication spontanée avec leur enseignant et leurs pairs augmente. Les auteurs soulignent que la tablette a encouragé les élèves à participer aux activités de la classe, à interagir avec les pairs et l'enseignant. Leurs résultats montrent une amélioration de la communication, notamment pendant la récréation.

Dans leur revue de littérature Kagohara et al. (2013) montrent également l'efficacité d'un autre générateur de parole, l'application *Proloquo2Go* (Senott & Bowker, 2009), pour augmenter les capacités de communication. Elle a notamment été utilisée avec six personnes pour demander des collations (Kagohara et al., 2010 ; van der Meer et al., 2011 ; Achmadi et al., 2012) ou avec douze enfants âgés de 4 à 13 ans pour faire des demandes d'objets en comparaison à un système de communication par images (Kagohara et al., 2010 ; van der Meer et al., 2012) et au système de communication Makaton (van der Meer et al., 2012). Les résultats montrent qu'une majorité d'enfants préfère l'utilisation de l'application comme système de communication alternatif. Il suffit de pointer sur des pictogrammes qui seront traduits sans que l'interlocuteur n'aie besoin d'une formation préalable. Enfin, Alzrayer et al/ (2019) ont également montré l'aide bénéfique de cette application avec trois garçons âgés de 7 à 10 ans porteurs de TSA, à raison d'une séance, trois à quatre fois par semaine, pendant six mois. À un rythme différent, ces trois garçons sont parvenus à faire des demandes, remercier et répondre à des questions.

Néanmoins, toutes les études ne sont pas probantes. En effet, celle de Fletcher-Watson et al (2016) s'est intéressée à l'application *FindMe* pour travailler des compétences sociales auprès de 54 élèves avec TSA âgés de moins de 6 ans. Le dispositif expérimental propose un groupe témoin formé de 27 élèves comparé à un groupe de 27 enfants qui utilisent l'application, à raison de cinq minutes par jour (ou dix minutes tous les deux jours), pendant deux mois. L'application vise à développer deux compétences clés dans la communication sociale ; être attentif et suivre les signes sociaux. Mais l'application n'entraîne pas l'enfant à analyser et discerner les éléments d'une situation sociale et à leur donner du sens. Ainsi, *FindMe* propose à l'élève avec TSA de toucher un objet pointé, regardé par un personnage dans un magasin. Malgré une attractivité plus forte pour l'outil numérique, aucune

différence significative entre les deux groupes n'a été montrée. La durée courte de l'expérimentation explique probablement ce résultat.

Les apports des applications éducatives au développement des compétences cognitives et socio-émotionnelles des élèves avec TSA

Développement de l'attention et de la motivation

Garnier (2017) montre que l'utilisation d'applications éducatives sur tablettes peut être un outil intéressant pour des élèves porteurs de troubles du spectre autistique au niveau de l'engagement et de l'autonomie. L'étude a porté sur 23 élèves avec TSA âgés de 7 à 13 ans qui apprennent le vocabulaire via l'application *Bitsboard* ainsi qu'avec des activités sur papier. L'étude a duré trois ans et les enfants utilisaient une tablette numérique trois fois par semaine pendant 20 minutes. Les résultats montrent que ces élèves arrivent à faire certaines activités liées au vocabulaire (par exemple, remettre les lettres d'un mot dans l'ordre) avec la tablette alors qu'ils n'y arrivaient pas ; les difficultés motrices sont en effet allégées. L'analyse des entretiens rapporte des aspects positifs de l'usage de la tablette par les élèves. Les enseignantes qui ont participé à cette étude relatent, après quatre mois d'expérimentation, que l'entrée dans la tâche est facilitée et la motivation est augmentée, notamment grâce aux *feedbacks* et au rôle important du son. De plus, l'autonomie et l'attention seraient accrues.

De leur côté, Neely et al. (2013) soulignent une plus grande attention à la tâche, un plus fort engagement et un nombre de comportements autistiques plus faibles (notamment le comportement de fuite) chez deux élèves avec TSA lorsqu'ils réalisaient une activité sur tablette numérique, en comparaison à une activité similaire sur un support traditionnel.

Développement des compétences émotionnelles

L'utilisation de l'application *Collège+* (Fage et al., 2018), dans le cadre d'une étude expérimentale avec un effectif de collégiens âgés de 12 à 17 ans, scolarisés en ULIS, pendant trois mois, a montré une amélioration des compétences socio-cognitives (reconnaissance des émotions, conscience émotionnelle de soi et d'autrui) ainsi que des comportements socio-adaptatifs scolaires (acquisition des routines scolaires, réactivité sociale, qualité de vie scolaire). Deux types de mesures ont été effectuées : la première concernait les comportements socio-adaptatifs en milieu scolaire et la seconde évaluait le fonctionnement socio-cognitif. Les enseignants spécialisés ont rempli des échelles

de comportement adaptatif en milieu scolaire (EQCA-VS, Morin & Maurice, 2001) et d'habiletés sociales (version française du SRS, Constantino et al., 2003), sur la base de leurs observations et de leurs connaissances de l'enfant. Tous les enfants ont passé des tests neuropsychologiques liés aux mécanismes socio-cognitifs : fluence verbale émotionnelle (Greenberg et al., 1995), conscience émotionnelle (LEAS-C, Veirman et al., 2011), mémoire immédiate des visages (subtest NEPSY, Korkman, 1988), et reconnaissance des émotions faciales (test d'Ekman, 1972). Les bénéfiques dans les compétences socio-cognitives et les comportements socio-adaptatifs scolaires ont été plus importants pour le groupe d'élèves avec TSA équipé de *Collège +* que pour le groupe des enfants non équipés.

Les apports des applications éducatives pour les apprentissages scolaires des élèves avec TSA

L'utilisation d'applications éducatives sur tablettes tactiles peut faciliter les apprentissages. Le résultat de plusieurs études a révélé des effets positifs pour les personnes avec TSA ou ayant une déficience intellectuelle (Kagohara et al., 2013). Les données de Stasollla et al. (2016) ont par exemple également confirmé l'efficacité d'un programme d'intervention informatisé pour améliorer les performances scolaires de trois élèves avec TSA âgés de 8 à 10 ans. L'étude a duré cinq mois et elle s'est divisée en plusieurs phases. Chacune comportait au total 30 séances de 10 minutes, trois fois par jour, pendant deux semaines. Les activités ont porté sur la littérature (phase 1), la littérature et les mathématiques (phase 2), la littérature, les mathématiques et l'histoire (phase 3), la littérature, les mathématiques, l'histoire géographie (phase 4) puis s'ajoutent les sciences naturelles à la dernière phase (phase 5). Après une pause volontaire de deux mois, chacun des trois enfants a bénéficié d'une nouvelle phase, identique à la phase 5, mais à leur domicile, en présence de leurs parents. Les cinq premières phases ont montré que les trois enfants avaient progressé dans les compétences scolaires. De plus, les stéréotypies ont diminué au profit d'une plus grande attention à la tâche.

Dans la revue de littérature de Eliçin et al. (2017), six études ont porté sur le développement de compétences académiques à l'aide d'une tablette avec 26 enfants âgés de 5 à 13 ans. Les résultats confirment des progrès dans les compétences en lecture, lecture fonctionnelle, lecture des termes scientifiques ainsi qu'en mathématiques, à l'aide d'une tablette numérique.

Enfin, dans une revue de littérature récente (Aspiranti et al., 2020), quatre études, portant sur 37 enfants âgés de 4 à 16 ans, ont été analysées. Les auteurs ont cherché à déterminer si l'utilisation

d'une tablette numérique pouvait avoir un effet positif sur les résultats scolaires d'enfants et d'adolescents porteurs d'autisme. La première, l'étude de Allen et al. (2015) a comparé l'apprentissage du vocabulaire en utilisant une tablette avec l'application *See.Learn.Touch* ou un livre d'images, avec 16 participants âgés de 4 à 16 ans, à raison de quatre séances pendant quatre semaines. Même si les résultats ne montrent pas de différence entre ces deux méthodes, les auteurs évoquent l'intérêt de l'utilisation de la tablette pour mieux s'adapter aux progrès des élèves avec TSA. Dans les études suivantes, O'Malley et al. (2013, 2014) ont utilisé des applications pour développer des compétences en mathématiques (*Math Racer, MatchingGame, My first Numbers*), à raison de 16 séances pendant quatre semaines (2013) et 17 séances pendant quatre semaines (2014), avec des enfants âgés de 10 à 15 ans. Ils ont constaté que les performances sont augmentées lors de la réalisation de problèmes sur tablette numérique. Ils ont également remarqué une amélioration de l'attention et de la participation des élèves. Enfin, Arthanat et al. (2013) ont testé plusieurs applications sur tablette et ordinateur avec quatre participants également âgés de 11 à 13 ans, pendant 40 séances sur 10 semaines (*Abby Train colors, ABC-Letters, Numbers, Shapes and Colors, Kids can Spell, Puzzlemath, Play words, Jungles Coins*). Les résultats montrent des progrès significatifs en mathématiques en utilisant la tablette numérique mais ils n'ont pas été comparés avec un groupe contrôle.

Discussion

Cette revue de littérature nous montre que l'utilisation d'applications éducatives sur tablettes numériques avec des élèves avec TSA peut être bénéfique. Elles améliorent la capacité à communiquer des enfants porteurs d'autisme à certaines conditions, notamment lorsque les images sont facilement disponibles, personnalisables et facilitent la compréhension. L'outil numérique permet davantage de répétitions avec des niveaux de difficultés variés et ajustés et un usage qui peut se faire conjointement à l'école et à la maison favorisant une transition des apprentissages entre ces deux environnements. De même, l'utilisation de la tablette permet d'augmenter les performances scolaires de ces enfants, grâce à l'utilisation répétée d'une application personnalisée, qui s'adapte aux niveaux et aux réponses des élèves ainsi que la possibilité de convoquer différents sens comme la vue ou l'ouïe. Nous avons également constaté qu'elle contribuait au développement des habiletés cognitives (attention, motivation) et socio-émotionnelles ainsi qu'au développement des interactions sociales.

Les implications pour la recherche

Les travaux concernant l'utilisation d'applications éducatives sur tablettes ont montré des effets positifs sur le développement des compétences sociales et cognitives ainsi que sur les apprentissages scolaires des élèves avec TSA. Toutefois, les travaux relatés dans cet article présentent un certain nombre de limites qui rendent les résultats difficilement généralisables (Koumpouros et al., 2019).

Premièrement, nous constatons que de nombreuses études concernent des approches basées sur la méthodologie du cas unique (e.g. Kagohara et al., 2010). De même, les tailles des échantillons sont faibles. En effet, plus de 50% des études ont un échantillon inférieur à quatre élèves. Deuxièmement, seules trois des études de cette revue de littérature s'inscrivent dans une démarche expérimentale en intégrant un groupe contrôle (e.g. Briet et al., 2018 ; caché pour expertise ; Tardif et al., 2016). Troisièmement, il manque des données précises sur la durée des expérimentations et sur le nombre des séances. Ces données sont indispensables car comme le soulignent Aspiranti et al. (2020) la durée de l'intervention semble avoir un impact globalement positif sur le rendement des élèves. Les études menées sur environ 10 semaines ont révélé des effets significatifs plus importants par rapport aux études menées sur quatre semaines. De la même manière, le nombre de séances influence également la performance des élèves. Ainsi, à partir de 16 séances, des effets semblent importants et significatifs. Des études de plus de 10 semaines avec de nombreuses séances semblent nécessaires.

Les futures recherches pourraient donc prendre en compte ces limites et proposer des études expérimentales avec des échantillons de plus grande taille. Il serait également intéressant de constituer des échantillons avec des élèves plus jeunes car nous savons qu'il est important de proposer des dispositifs précocement pour améliorer la trajectoire développementale des enfants (Nezereau, 2017).

Les implications pédagogiques

La France a fait le choix d'une politique inclusive en garantissant une scolarisation effective des enfants à besoins éducatifs particuliers. Entre 2006 et 2021, la scolarisation en milieu ordinaire a augmenté de 163% (Dauphin, 2021). Lors de la rentrée scolaire de 2021, 45 000 élèves sont scolarisés dont presque 30 000 élèves avec TSA dans le premier degré (DEEP, 2022). De plus en plus d'études et de personnes porteuses d'autisme affirment l'importance d'une scolarisation inclusive pour le développement de ces élèves.

Compte tenu des effets positifs de l'utilisation des applications éducatives sur tablette sur le développement et sur les apprentissages scolaires des élèves avec TSA, Aspiranti et al. (2020) conseillent aux enseignants de les introduire dans leurs pratiques. Ces outils, en plus de favoriser l'inclusion scolaire des élèves avec TSA, rendent possible la différenciation pédagogique (Philip et al., 2014). Certaines applications permettent de modifier ou d'adapter les activités en fonction des besoins des enfants. De plus, l'enseignant peut travailler avec un plus grand nombre d'élèves en même temps, il y a donc un gain important en matière de temps (Tincani & Boutot, 2005).

Dans leur méta-analyse, Archer et al. (2014) soulignent que l'efficacité d'un outil numérique peut être augmentée par l'apport d'une formation et d'une aide aux enseignants. De leur côté, Stockless et al. (2018) montrent que la maîtrise d'un outil numérique par les enseignants impacte son implémentation et son utilisation pédagogique en classe. De même, Yelland (2018) souligne le fait que les nouvelles technologies ne doivent pas être vues comme des remplacements ou comme des outils en compétition avec les autres outils pédagogiques de la classe. Au contraire, elles doivent être acceptées comme des outils complémentaires à la pratique et offrant des modalités variées d'apprentissage. De plus, la formation est un facteur important qui favorise l'acceptance des nouvelles technologies par les enseignants (Alexandre et al. 2018 ; Granić & Marangunić, 2019, Hoareau et al. 2021). Cette notion peut informer l'adoption ou non d'un outil dans le milieu éducatif à travers trois sous-dimensions. L'acceptabilité qui correspond aux perceptions par l'enseignant de l'outil comme convenable et en lien avec sa pratique professionnelle. L'utilité renvoie à la perception de l'outil comme capable de faire progresser les élèves dans leurs apprentissages, en correspondance avec les programmes scolaires. L'utilisabilité correspond au degré de facilité d'utilisation de l'outil.

Enfin, des études montrent également un gain de temps pour les enseignants qui utilisent les applications numériques. Par exemple, Chien et al. (2015) ont montré que l'utilisation d'une application d'AAC (*iCAN*) a permis une diminution de 70% du temps passé par les enseignants spécialisés et l'auxiliaire de vie scolaire pour préparer les supports nécessaires aux élèves. De même, l'étude de Hirano et al. (2010) montre que l'application *vSked* pour la création et la gestion de programmes d'activités dans une classe a permis une réduction de la charge de travail de l'équipe pédagogique, tout en permettant une amélioration de la communication et des interactions sociales des enfants.



Conclusion

Le potentiel des applications numériques est avéré, il reste à chaque enseignant, éducateur, parent, de choisir l'application qui répond au mieux aux besoins spécifiques de l'élève avec TSA pour enrichir ses compétences et son accompagnement. Du point de vue institutionnel, il serait judicieux qu'une information détaillée et étayée scientifiquement des ressources disponibles et des possibilités qu'elles offrent soit rendue facilement accessible aux usagers à la recherche d'un outil qui réponde au mieux à leurs besoins spécifiques. C'est la mission que s'est fixée très récemment le Groupe de Travail sur le numérique nommé par le Ministère de l'Education nationale, de la Jeunesse et des Sports (2021) qui rendra un rapport annuel sur les outils disponibles et les créations récentes, les dispositifs qui ont fait leurs preuves, les réactions des usagers mais aussi des suggestions spécifiques à chaque outil pour optimiser l'accompagnement.

Bibliographie

Une référence a été retirée pour anonymiser le manuscrit

Achmadi, D., Kagohara, D. M., van der Meer, L., O'Reilly, M. F., Lancioni, G. E., Sutherland, D., et al. (2012). Teaching advanced operation of an iPod-based speech-generating device to two students with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, n°6, p.1258–1264.

Agius, M.M & Vance, M. (2016). A Comparison of PECS and iPad to Teach Requesting to Preschoolers with Autistic Spectrum Disorders. *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 32, n°1, p.58-68.

Alexandre, B., Reynaud, E., Osiurak, F., & Navarro, J. (2018). Acceptance and acceptability criteria: a literature review. *Cognition, Technology & Work*, n°20, p.165-177.

Allen, M. L., Hartley, C. & Cain, K. (2016). iPads and the use of ‘apps’ by children with Autism Spectrum Disorder: Do they promote learning? *Frontiers in Psychology*, n°7, p.1-7.

Allen, M. L., Hartley, C., & Cain, K. (2015). Do iPads promote symbolic understanding and word learning in children with autism? *Frontiers in Psychology*, Vol.6, n°138, p.1–9.

Alzayer, N., Banda, D. R., & Koul, R. K. (2019). The Effects of Systematic Instruction in Teaching Muntistep Social-Communication Skills to Children with Autism Spectrum Disorder Using an iPad. *Developmental Neurorehabilitation*, n°22, p. 415-429.

Amar, D., Goléa, A., Wolff, M., Gattegno, M. P., Adrien, J.-L. (2012). Apports des tablettes tactiles pour jeunes adultes présentant une déficience mentale ou un trouble autistique: étude de cas. USA : ACM Press, p. 169-172.

American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Association.

Archer, K., Savage, R., Sanghera-Sidhu, S., Wood, E., Gottardo, A., & Chen, V. (2014). Examining the effectiveness of technology use in classrooms: A tertiary meta-analysis. *Computers & Education*, n°78, p. 140-149.

Arthanat, S., Curtin, C., & Knotak, D. (2013). Comparative observations of learning engagement by students with developmental disabilities using an iPad and computer: A pilot study. *Assistive Technology*, vol. 25, n°4, p. 204-213.

Aspiranti, K.B, Larwin, K. H, Schade, B. P. (2020). iPads/tablets and students with autism: A meta-analysis of academic effects. *Assist Technol. Assistive Technology*, vol. 32, n°1, p. 23-30.

Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, n°128, p. 2430-2441.

Briet, G., Le Sourn-Bissaoui, S., Le Maner-Idrissi, G., Peri, M., Blanco, C., Le Marec, O. & Seveno, T. (2018). La tablette tactile : une interface numérique pour favoriser les interactions sociales à l'école chez deux enfants présentant un trouble du spectre de l'autisme. *Education et Formation*, n°311, p.15-30.

Chien, M.-E., Jheng, C.-M., Lin, N.-M., Tang, H.-H., Taelle, P., Tseng, W.-S., et al. (2015). iCAN: a tablet-based pedagogical system for improving communication skills of children with autism. *J. Hum. Comput. Stud.*, n°73, p. 79–90.

Dauphin, L. (2021). Élèves en situation de handicap. Document de travail n°2021.S02 – Série Synthèse. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance

Deschamps, L., Leplain, S., & Vandromme, L. (2014). Fixation oculaire initiale et exploration d'un visage : le cas de l'enfant avec Trouble du spectre de l'autisme et retard développemental. *Enfance*, n°4, p.399–425.

Eliçin, O., & Kaya, A. (2017). Determining Studies Conducted upon Individuals with Autism Spectrum Disorder using High-Tech Devices. *Educational Sciences: Theory & Practice*: vol.17, n°1, p. 27–45.

Eckman, P. (1972). Universal and cultural references in facial expression of emotion. *Proceedings of the Nebraska Symposium on Motivation*, Vol. 19, p.207–284.

Fage, C., Consel, C.Y., Balland, E., Etchegoyhen, K., Amestoy, A., Bouvard, M., & Sauzéon, H. (2018). Tablet Apps to Support First School Inclusion of Children with Autism Spectrum Disorders (ASD) in Mainstream Classrooms: A Pilot Study. *Frontiers Spotlight*, Vol.9, p.1-16.

Fletcher-Watson, S., Petrou, A., Scott-Barett, J., Dicks, P., Graham, C. O'Hare, A., Pain, H. & McConachie, H. (2016). A trial of an iPad intervention targeting social communication skills in children with autism. *Autism*, vol. 20, n°7, p.771-782.

Gal, E., Lamash, L., Bauminger-Zviely, N., Zancanaro, M., & Weiss, P. L. (2016). Using Multitouch Collaboration Technology to Enhance Social Interaction of Children with High-Functioning Autism. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, n°36(1), p. 46–58.

Garnier, P. (2017). Témoignages d'enseignants concernant les usages pédagogiques de la tablette numérique chez des élèves avec TSA. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, vol. 78, n°99-117.

Gepner, B. (2014). Autismes: Ralentir le monde extérieur, calmer le monde intérieur. Paris : Odile Jacob.

Gepner B. (2001). Malvoyance » du mouvement dans l'autisme infantile ? Une nouvelle approche neuropsychopathologique développementale. *La Psychiatrie de l'Enfant*, vol.1, p. 77-126.

Gepner, B., Godde, A., Charrier, A., Carvalho, N. & Tardif, C. (2020). Reducing facial dynamics' speed during speech enhances attention to mouth in children with autism spectrum disorder: an eye-tracking study. *Development and Psychopathology*, p.1-10.

Gepner, G., Deruelle, C. & Grynfeldt, S. (2001). Motion and Emotion: A Novel Approach to the Study of Face Processing by Young Autistic Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 30, n°1, p.37-45.

Guimard-Brunault, M., Hernandez, N., Roché, L., Roux, S., Barthélémy, C., Martineau, J., & Bonnet-Brilhault, F. (2013). Back to basic: do children with autism spontaneously look at screen displaying a face or an object? *Autism Research and Treatment*, 9, 835247

Glaser, B.G & Strauss, A.L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. Chicago: Aldine.

Granić, A., & Marangunić, N. (2019). Technology acceptance model in educational context: A systematic literature review. *British Journal of Educational Technology*, vol. 50, n°5, p. 2572-2593.

Greenberg, M. T., Kusche, C. A., Cook, E. T., and Quamma, J. P. (1995). Promoting emotional competence in school-aged children: the effects of the PATHS curriculum. *Dev. Psychopathol*, vol. 7, p.117–136.

Grossard, C., & Grynszpan, O. (2015). Entrainement des compétences assistées par les technologies numériques dans l'autisme : une revue. *Enfance*, n°1, p. 67-85.

Hoareau, L., Thomas, A., Tazouti, Y., Dinet, J., Luxembourger, C. & Jarléga, A. (2021). Beliefs about Digital Technologies and Teacher's Acceptance of an Educational App for Preschoolers. *Computers & Education*, vol.172.

Hirsh-Pasek, K., Zosh, J., Golinkoff, R., Gray, J., Robb, M., & Kaufman, J. (2015). Putting Education in "Educational" Apps: Lessons from the Science of Learning. *Psychological Science in the Public Interest*, vol.16, n°1, p. 3-34.

Hourcade, J. P., Bullock-Rest, N. E., Hansen, T. E. (2011). Multitouch tablet applications and activities to enhance the social skills of children with autism spectrum disorders. *Personal and Ubiquitous Computing*, vol.16, n°2, p. 157-168.

Kagohara, D. M., van der Meer, L., Ramdoss, S., O'Reilly, M. F., Lancioni, G. E., Davis, T. N. (2013). Using iPods R and iPads in teaching programs for individuals with developmental disabilities: A systematic review. *Research in developmental disabilities*, vol.34, n°1, p 147–156.

Kagohara, D. M., van der Meer, L., Achmadi, D., Green, V. A., O'Reilly, M., Mulloy, A., et al. (2010). Behavioral intervention promotes successful use of an iPod-based communication device by an adolescent with autism. *Clinical Case Studies*, n°9, p. 328–338.

Korkman, M. (1988). NEPSY-An adaptation of Luria's investigation for young children. *Clin. Neuropsychol*, n°2, p. 375–392.

Koumpouros, Y., & Kafazis, T. (2019). Wearables and mobile technologies in Autism Spectrum Disorder interventions: A systematic literature review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol.66.

Kucirkova, N., Sheehy, K., & Messer, D. (2015). A Vygotskian perspective on parent-child talk during

iPad story sharing. *Journal of Research in Reading*, n°38, p.428–441.

Lainé, F., Tardif, C., & Gepner, B. (2008). Amélioration de la reconnaissance et de l'imitation d'expressions faciales chez des enfants autistes grâce à une présentation visuelle et sonore ralentie. *Annales Médico-psychologiques*, revue psychiatrique, vol.166, n°7, p. 533-538.

Latzko, L. (2012). Effets d'une présentation vidéo ralentie sur la communication et la compréhension de l'enfant autiste. Etude longitudinale portant sur deux enfants atteints d'autisme. Mémoire de Master 2 de Psychologie, Université Aix-Marseille, Juin 2012.

Lorah, E. Parnell, A. Schaefer Whitby, P. & Hantula, D. (2015). A Systematic Review of Tablet Computers and Portable Media Players as Speech Generating Devices for Individuals with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders* vol.45, n°12, p.3792-3804

Marsh, J. (2016). The digital literacy skills and competencies of children of pre-school age. *Media Education Studies and Research*, n°7, p. 197–214.

Marsh, J., Yamada-Rice, D., Bishop, J., Lahmar, J., Scott, F., Plowman, L., et al. (2015). Exploring Play and Creativity in Pre-Schoolers' Use of Apps: Technology and Play. *Economic and Social Research Council*. Retrieved from: <http://www.techandplay.org/tap-media-pack.pdf>.

Meiss, E., Tardif, C., Arciszewski, T., Dauvier, B., Gepner, B. (2015). Effets positifs d'une exposition à des séquences vidéos ralenties sur l'attention, la communication sociale et les troubles du comportement chez 4 enfants autistes sévères : une étude translationnelle pilote. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, Elsevier Masson, hal-01787262.

Merchant (2015). Keep taking the tablets: iPads, story apps and early literacy. *Australian Journal of Language and Literacy*, n°38, p.3–11.

Mercier, C., Bourdon, P., & Lefer-Sauvage, G. (2017). De l'outil à l'instrument : appropriation de l'application numérique çated. *Nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, n°78, p.83-99.

Mercier, C. & Guffroy, M. (2015). Gérer le temps à l'aide d'une application numérique sur tablette pour un public avec autisme. Communication présentée à la 7ème Conférence sur l'Environnement Informatique pour l'Apprentissage humain, Agadir.

Mintz, J., Branch, C., March, C., & Lerman, S. (2012). Key factors mediating the use of a mobile technology tool designed to develop social and life skills in children with autistic spectrum disorders. *Computers & Education*, vol.58, n°1, p. 53-56.

Moore, D., McGrath, P., & Thorpe, J. (2000). Computer-aided learning for people with autism—a framework for research and development. *Innovations in education and training international*, vol. 3, n°3, p.218–228.

Morin, D. & Maurice, P. (2001). Elaboration de la version scolaire de l'échelle québécoise de comportements adaptatifs (EQCVA-VS). *Revue francophone de la déficience intellectuelle*, vol.12, n°1, p.7-20.

Murphy, C. A. (2006). The comparative effects of simple and complex instructional language on the

acquisition and generalization of receptive language tasks by children with autism. Thèse de doctorat, université d'état de l'Ohio, USA.

Murray, D. K. (2011). Autism and information technology: therapy with computers. *Autism and learning*.

Neely, L., Rispoli, M., Camargo, S., Davis, H., & Boles, M. (2013). The effect of instructional use of an iPad® on challenging behavior and academic engagement for two students with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 7, n°4, p. 509–516.

Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2016). An analysis of mother-child interactions during an iPad activity. In K. Alvarez (Ed.). *Parent-child interactions and relationships: Perceptions, practices, and developmental outcomes*, Hauppauge, NY: Nova Science Publishers Inc., p.133–148.

Neumann, M. M. (2014). An examination of touch screen tablets and emergent literacy in Australian pre-school children. *Australian Journal of Education*, n°58, p. 109–122.

Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2014). Touch screen tablets and emergent literacy. *Early Childhood Education Journal.*, n°42, p. 231–239.

Nezereau, C. (2017). Etude des trajectoires développementales d'enfants et d'adultes avec trouble de l'autisme bénéficiant du programme IDDEES, incluant de nouvelles technologies d'apprentissage scolaire et de communication (LearnEnjoy). Thèse de psychologie. Université Sorbonne, Paris.

O'Neill, S. J., Smyth, S., Smeaton, A., & O'Connor, N. E. (2019). Assistive technology: Understanding the needs and experiences of individuals with autism spectrum disorder and/or intellectual disability in Ireland and the UK. *Assistive Technology*, p. 1-9.

O'Malley, P., Lewis, M.E.B., Donehower, C., & Stone, D. (2014). Effectiveness of using iPads to increase academic task completion by students with autism. *Universal Journal of Educational Research*, vol 2, n°1, p. 90–97.

O'Malley, P., Jenkins, S., Wesley, B., Donehower, C., Rabuck, D., & Lewis, M. E. B. (2013). Effectiveness of using iPads to build math fluency. Baltimore, MD: Kennedy Krieger Institute.

Pierce, K, Conant, D, Hazin R, Stoner R, Desmond J. (2011). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Arch Gen Psychiatry*, vol 68, n°1, p101-109.

Philip, C., Bintz, E. & Régnauld, G. (2014). Deux élèves avec autisme en maternelle : usages de tablettes et applications numériques. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, vol.4, p. 253-267.

Roskos, K., Burnstein, K., Shang, Y., & Gray, E. (2014). Young children's engagement with ebooks at school: Does device matter? *Sage Open* 1–9.

Santarosa, L. M. C., & Conforto, D. (2016). Educational and digital inclusion for subjects with autism spectrum disorders in 1:1 technological configuration. *Computers in Human Behavior*, n°60, p. 293-300.

Senott, S. & Bowker, A. (2009). Autism, AAC, and Proloquo2Go. Perspective and Augmentation and Alternative, p.137-145.

Stasolla, F., Perilli, V., Boccasini, A., O. Caffò, A., Damiani, R. & Albano, V. (2016). Enhancing academic performance of three boys with autism spectrum disorders and intellectual disabilities through a computer-based program. *Life Span and Disability*, vol.19, n°2, p.153-183.

Stephenson, J. & Limbrick, L. (2015). A review of the use of touch-screen mobile devices by people with developmental disabilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 45, n° 12, p. 3777–3791.

Stockless, A., Villeneuve, S. & Gingras, B. (2018). Maîtrise d’outils technologiques : son influence sur la compétence TIC des enseignants et les usages pédagogiques. *Canadian Journal of Learning and Technology*, vol.44, n°2.

Tarbox, R. S., Ghezzi, P.M., & Wilson, G. (2006). The effects of token reinforcement on attending in a young child with autism. *Behavioral Interventions*, vol.21, n°3, p.155-216.

Tardif, C., Latzko, L., Arciszewski, T., & Gepner, B. (2017). Reducing Information’s Speed Improves Verbal Cognition and Behavior in Autism: A 2-Cases Report. *Pediatrics*, vol.139, n°6.

Tardif, C., Charrier, A., & Gepner, B. (2016). Ralentir les mouvements du visage pour mieux l’explorer : une étude en oculométrie auprès d’enfants avec troubles du spectre de l’autisme. *A.N.A.E.*, n°142, p.1-10.

Tardif, C., Gepner, B. (2014). Logiral [Application IOS et Android]. Paris: Auticiel.

Tardif, C., & Gepner, B. (2012). Logiral [Logiciel PC]. Téléchargeable sur [http://centrepysycle-
amu.fr/logiral/](http://centrepysycle-amu.fr/logiral/)

Tardif, C., Lainé, F., Rodriguez, M., & Gepner, B. (2007). 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*, vol. 37, n°8, p. 1469-1484.

Tardif, C., Thomas, K., Rey, V., & Gepner, B. (2002). Contribution à l’évaluation du système phonologique explicite chez des enfants autistes. *Parole*, n°21, p.35-72.

Tincani, M., & Boutot, E. A. (2005). Technology and autism: Current practices and future directions. In D. Edyburn, K. Higgins, & R. Boone (Eds.), *Handbook of special education technology research and practice*.

van der Meer, L., Kagohara, D. M., Achmadi, D., O’Reilly, M. F., Lancioni, G. E., Sutherland, D., et al. (2012). Speech-generating devices versus manual signing for children with developmental disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, n°33, p.1658–1669.

van der Meer, L., Sutherland, D., O’Reilly, M. F., Lancioni, G. E., & Sigafoos, J. (2012). A further comparison of manual signing, picture exchange, and speech-generating devices as communication modes for children with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, n°6,

p.1247–1257.

van der Meer, L., Kagohara, D. M., Achmadi, D., Green, V. A., O'Reilly, M. F., Lancioni, G. E., et al. (2011). Teaching functional use of an iPod-based speech-generating device to individuals with developmental disabilities. *Journal of Special Education Technology*, n°26, p.1–11.

Veirman, E., Brouwers, S. A., and Fontaine, J. R. (2011). The assessment of emotional awareness in children: validation of the levels of emotional awareness scale for Children. *Eur. J. Psychol. Assess.* vol.27, n°265.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and society: The development of higher mental processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wodka, E. Mathy, P. & Kalb L. (2013). Predictors of Phrase and Fluent Speech in Children With Autism and Severe Language Delay. *Pediatrics*, vol.4, n°131, p.1128–1134.

Xin, JF. & Leonard, DA. (2014). Using Ipad to teach communication skills of students with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, n°45, p.4154-4164.

Yelland, N., & Masters, J. (2007). Rethinking scaffolding in the information age. *Computers and Education*, n°48, p. 362–382.

Tableau 1. Tableau synthétique des principales études

Etudes	Pays	Taille de l'échantillon	Age	Durée Expérimentation	Compétences Travaillées	Test(s) Utilisé(s)	Application (s) Numérique(s)
01. Achmadi et al. (2012)	Nouvelle Zélande	2 enfants	13 et 17 ans	1 à 3 séances/jour, 1 à 2 fois par semaine 47 séances	Communication sociale (générateur de parole)	Vineland II	Proloquo2Go
02. Agius et Vance (2016)	Malte	3 élèves avec TSA	Préscolaire	4 semaines 6 séances de 20min	Communication sociale	WPPSI-II, ADOS-2	PECS sur tablette
03. Allen et al. (2016)	Angleterre	16 élèves avec TSA peu verbaux	Non précisé	Non précisé	Compétences communicationnelles (vocabulaire)	Non précisé	Livres vs Ipad
04. Allen et al. (2015)	Angleterre	16 enfants	9,6 ans (âge moyen)	6 séances pendant 4 semaines	Vocabulaire	ADOS, ADI-R Echelle Leiter-R (Roid et Miller, 1997) British Picture Vocabulary Scale (Dunn et al., 1997).	SeeLearnTouch
05. Alzrayer et al. (2019)	Arabie Saoudite	3 enfants	7 à 10 ans	1 séance, 3 à 4 fois par semaine, pendant 6 mois	Communication sociale	CARS 2/GARS-3 DAYC/KABC-II/SB-VFCP-R/PLS-5:Vineland	Proloquo2Go
06. Arthanat et al. (2013)	Etats Unis	4 enfants	11 à 13 ans	10 semaines 4 séances/semaine	Compétences académiques	Non précisé	Abby Train colors, ABC-Letters, Numbers, Shapes and Colors, Kids can Spell, Puzzle math, Play words, Jungle Coins
07. Briet et al. (2018)	France	2 élèves avec TSA et 2 enfants typiques	4 ans 10 ans	6 mois (2 fois par semaine pendant 30 min, 22 séances)	Compétences sociales	PEP 3 SON R Grille d'observation des comportements sociaux	Preschool
08. Eiçin et al. (2017)	Turquie	26 enfants	5 à 13 ans	Non précisé	Compétences académiques : lecture, écriture, mathématiques	Non précisé	Keynote Gotalk Now Pixwriter
09. Fage (2018)	France	48 élèves ULIS (29 avec TSA et 19 avec DI)	12 à 17 ans	3 mois, 15min/jour	Communication verbale et non verbale, comportements	ADI-R	Collège +

					sociaux adaptatifs, gestion des émotions	et WISC IV Immediate faces memory (Subtest NEPSY, Korkman, 1988) Facial emotion identification (Ekman test, Eckman, 1972)	
10. Fletcher-Watson (2016)	Ecosse	27 élèves avec TSA 27 enfants typiques	Moins de 6 ans	2 mois (5min/jour)	Compétences communication sociale	ADOS ADOS 2 BOSCC MCDI CSBS-DP	FindME
11. Garnier (2017)	France	23 élèves avec TSA	7 à 13 ans	3 ans (3 fois par semaine, 20min)	Compétences scolaires (vocabulaire)	Entretiens semi-directifs puis analyse thématique par théorisation ancrée (Glasser et Strauss, 1967)	Bitsboard
12. Kagohara et al. (2010)	Nouvelle Zélande	1 enfant	17 ans	2 séances par semaine 54 séances dont 4 séances de suivi 10 semaines après	Communication sociale (générateur de parole)	Vineland II	Proloquo2Go
13. Kagohara, Sigafoos et al. (2012)	Nouvelle Zélande	2 enfants	12 et 10 ans	16 séances 10 semaines	Utilisation de la fonction orthographique	Vineland II	Modélisation vidéo
14. Mercier et al. (2017)	France	13 élèves avec TSA	7 à 10 ans	14 mois (½ journée par semaine)	Compétences organisationnelles Compétences sociales (communication)	Test Tau UçATED (Vannest, Parker & Grone, 2011) Entretiens d'auto-confrontations (Faïta & Viéra, 2003)	
15. Neely et al. (2013)	Etats Unis	2 enfants	7 et 3 ans	2 fois par semaine pendant 8 semaines	Mathématiques (soustraction) Attention (associer des cartes de couleur) et motivation	Questions About Behavioral Function (QABF)	Non précisé
16. O'Malley et al. (2013)	Etats Unis	10 élèves	12 à 15 ans	4 semaines, 16 séances	Mathématiques	CIBS-II	Math Racer, Matching Game, My first Numbers

17. O'Malley et al. (2014)	Etats Unis	7 élèves	10 à 13 ans	4 semaines, 17 séances	Mathématiques	Learning and Achievement Profile-3 (LAPE 3)	Matching Game - My First Number
18. cachée pour expertise	France	40 élèves avec TSA 22 élèves NT	4 à 6 ans	1 séance/élève	Cognition verbale	Boehm 4 Nepsy 2	
19. Stasolla et al. (2016)	Italie	3 élèves avec TSA	8, 9 et 10 ans	150 séances de 10min pendant 10 semaines Reprise 2 mois plus tard avec 30 séances pendant 2 semaines	Compétences scolaires Compétences sociales (réduire les stéréotypes)	WISC IV CARS VABSII	Non précisé
20. Tardif et al. (2016)	France	23 élèves avec TSA et 29 enfants typiques	Age moyen = 5,6 ans	1 an (1 séance/semaine)	Compétences sociales Communication sociale	CARS, VABS, KABC-II, EVIP, PEP 3	LOGIRAL
21. Tardif et al. (2017)	France	2 élèves avec TSA	5,5 ans 16 ans	4 mois (15 séances de 30min)	Cognition verbale	CARS, ADOS, K-ABC	LOGIRAL
22. van der Meer et al. (2011)	Nouvelle Zélande	3 enfants	13ans, 14ans et 23 ans	2 à 4 séances, 2 jours par semaine 40 séances	Communication sociale (générateur de parole)	Vineland-II	Proloquo2Go
23. Xin et Leonard (2014)	Etats Unis	3 enfants	10 ans	6 semaines (19 à 23 séances de 20 min)	Compétences sociales (communication)	Vineland Adaptive Behavior Scales (2nd Edition, 2005) et Wechsler Intelligence Scale for Children (4th Edition, 2003).	SonoFlex

Les qualités pédagogiques des applications éducatives

Les applications numériques à destination des personnes avec TSA se multiplient mais il est nécessaire de mener un travail au préalable d'identification des différentes qualités éducatives avant de les recommander (Renaud & Cherruault-Anouge, 2018). Hirsh-Pasek et ses collaborateurs (2015) soulignent que l'introduction des tablettes dans les salles de classe de maternelle est possible, tant que leur utilisation est réfléchie. Pour accompagner les enseignants dans cette tâche, les auteurs insistent sur quatre piliers qui sont l'apprentissage actif, l'engagement en évitant les distractions, avec une réponse immédiate et la présence de *feedbacks*, la mise en sens et l'interaction sociale. Or la plupart des applications sont uniquement ludiques ou n'offrent pas un engagement riche qui améliore les apprentissages (Kurcikova, 2016).

Kurcikova (2016) souligne également l'importance de la co-conception des applications numériques. Elle évoque, par exemple, la richesse de la collaboration entre chercheurs, praticiens et concepteurs et le rôle central et actif de l'enfant. Nous détaillerons dans le chapitre 5 ce processus de co-conception. Dans la littérature scientifique des exemples montrent qu'il est tout à fait envisageable et recommandable d'impliquer les utilisateurs dans le processus de conception. Fletcher-Watson et ses collaborateurs (2016) ont ainsi développé une application pour et avec des élèves avec TSA et Déficience Intellectuelle (DI). Après avoir recueilli des informations auprès d'experts, ils ont soumis un questionnaire à 20 élèves avec TSA et DI, âgés de 5 à 10 ans, ainsi qu'à 13 enfants au développement typique, âgés de 2 à 10 ans. Après le développement de l'application, la phase de test a de nouveau réuni ces élèves. Les auteurs ont constaté un intérêt important pour l'application qui se maintenait dans le temps. Mercier et ses collaborateurs (2018) ont également utilisé la co-conception pour la mise à jour de l'application *çATED* et la fonctionnalité de l'emploi du temps, en réunissant des élèves avec TSA, une équipe pédagogique et un ingénieur.

Conclusion

La littérature montre bien les potentialités des tablettes numériques dans le développement des compétences sociales, communicationnelles ou dans les apprentissages scolaires des personnes avec TSA. Néanmoins, Kompouros & Kafazis (2019) soulignent certaines limites aux études réalisées. Les effectifs sont souvent faibles (effectif moyen de neuf), la durée d'expérimentation est courte (essentiellement quelques semaines), les résultats ne peuvent être généralisables quand il n'y a pas de comparaison entre l'outil numérique et l'outil traditionnel (Grossard & Grynspan, 2015). De plus, les auteurs évoquent également le manque de groupe contrôle et de solutions technologiques personnalisables, une faible précision des mesures, des difficultés liées à la technologie (cout, durée de la batterie), enfin, un besoin de formation des utilisateurs.

Le besoin de formation est un point important que nous avons déjà souligné concernant les enseignants qui accueillent des élèves avec TSA. Cette formation est également nécessaire, aussi bien pour les élèves utilisateurs que les enseignants. Nous avons vu que l'utilisation des tablettes est très intuitive avec une interface facile à utiliser (Yee, 2012 ; Amar et al., 2012) et que les élèves avec TSA sont attirés vers cet outil (Santarosa & Conforto, 2016). Néanmoins, il est nécessaire de veiller à la bonne utilisation de l'outil afin de ne pas produire d'effets à contre-emploi (Garnier 2017, 2018). Il reviendra alors à l'enseignant de montrer à l'enfant comment se servir de la tablette numérique ; lui-même devant maîtriser cet outil. De plus, certaines précautions et recommandations sont à prendre en compte. Par exemple, il est nécessaire d'en faire un usage raisonné et de limiter le temps d'utilisation. Au début de l'activité, la durée peut être indiquée (affichée avec un *timer* si besoin) et respectée, afin d'éviter d'éventuelles crises.

Enfin, nous retiendrons que c'est l'association entre la tablette numérique et ses qualités ergonomiques et techniques comme la réduction des stimulations sensorielles (Murray, 1997), la présence de renforçateurs instantanés (Gillepsie-Lynch, 2016), les réponses immédiates, répétées prévisibles (Murray, 1997) et présentées de manière séquentielles (Knight & al., 2013) et les applications éducatives bien conçues (Hirsh-Pasek & al., 2015 ; Kursikova, 2016) qui peut être gagnante.

Par exemple, l'étude de Trémaud et ses collaborateurs (2021) a porté sur l'utilisation d'une tablette numérique avec des applications adaptées aux personnes avec TSA comparées à un autre groupe qui ne bénéficie pas de l'outil numérique. Pendant 12 mois, 11 enfants (moyenne d'âge = 9,8), avec TSA et déficience intellectuelle ont utilisé les applications de la tablette *AMIKEO*, à raison de deux séances de 15 minutes par semaine. Un groupe contrôle de 11 enfants (moyenne d'âge = 9,2),



n'a pas utilisé ces applications. L'échelle de comportement adaptatif de Vineland (VABS) a été utilisée avant et après l'expérimentation. Les résultats montrent que les performances dans les domaines de l'autonomie, de la communication et de la socialisation des élèves avec TSA travaillant avec l'outil numérique sont meilleures que celles des enfants utilisant un outil traditionnel.

Nous aborderons dans le quatrième chapitre un outil efficace pour remédier aux difficultés que peuvent rencontrer les personnes avec TSA. En effet, l'application *LOGIRAL*, qui fait partie des applications de la tablette *AMIKEO*, ralentit le son et les images des vidéos et peut notamment être utilisée par les enseignants. Des études ont montré que son utilisation permettrait d'augmenter les performances dans la cognition verbale (Tardif et al., 2017), qu'il améliorerait la reconnaissance des expressions faciales (Gepner et al., 2020) ou la compréhension verbale (Saleur et al., 2021).

Chapitre 4 - Le ralentissement : une stratégie efficace auprès des élèves avec TSA

Nous avons vu que les troubles du spectre de l'autisme se manifestent par des altérations de la communication sociale ainsi que par des intérêts et comportements restreints et/ou répétitifs (DSM-5, 2015). Depuis 2013, date du dernier DSM, la présence d'une hyper- ou hypo sensorialité est également prise en compte. Kanner (1943) avait déjà soulevé des particularités sensorielles chez les élèves avec TSA : évitement du regard, attention particulière aux détails, aversion pour le mouvement, réactivité élevée ou inexistante aux sons (voir chapitre 1). Il cite par exemple le cas de Donald qui se réjouissait du bruit d'objets qu'il ne cessait de jeter par terre, de Richard qui prenait plaisir à allumer et éteindre les lumières ou d'Herbert qui refusait de boire dans une tasse en métal (Kanner, 1943). Ces particularités sensorielles seraient présentes chez 82 à 97% des personnes avec TSA (Dellapienza et al., 2018). Stanciu & Delevenne (2016) les ont répertoriées dans le tableau ci-dessous (voir tableau 7). Ils indiquent que l'hyposensibilité et la recherche de sensations seraient les plus fréquentes.

Tableau 7.

Exemples de comportements liés aux atypies sensorielles (d'après Stanciu & Delevenne, 2016)

Modalité sensorielle	Type d'anomalie sensorielle	Comportements observés
Tactile	Hypersensibilité	Intolérance à certaines textures (vêtements ou parties de vêtements, aliments), intolérance au toucher
	Hyposensibilité	Insensibilité à la douleur ou à la température, automutilation
	Recherche sensorielle	Besoin de pression forte, attirance pour les surfaces de diverses textures et besoin de les toucher longuement
Auditive	Hypersensibilité	Hypersensibilité aux bruits forts ou à certaines fréquences (pleurs d'un bébé, le bruit du réfrigérateur)
	Hyposensibilité	Pas de réponse à la voix, faible conscience de l'intonation ou de la prosodie
	Recherche sensorielle	Recherche d'activités sonores, intérêt prononcé pour certaines musiques, jeux de pression sur les oreilles
Visuelle	Hypersensibilité	Perception extrême des détails, évitement ou difficultés d'habituation aux lumières fortes
	Hyposensibilité	Défaut de perception des obstacles, problèmes de reconnaissance faciale
	Recherche sensorielle	Regard proximal (regardent les objets de très près) et périphérique (regardent en tournant la tête de côté), attirance vers les lumières et jeux de lumières
Vestibulaire	Hypersensibilité	Mal des transports, intolérance aux changements de position (tête en bas, mouvements brusques, marche arrière)
	Hyposensibilité	Tolérance augmentée à la position tête en bas
	Recherche sensorielle	Tours sur eux-mêmes, recherche de mouvements forts, de la sensation de chute
Olfactive/Gustative	Hypersensibilité	Sélectivité alimentaire, sensation nauséuse à l'approche des aliments
	Hyposensibilité	Tolérance augmentée aux goûts (piquant) et odeurs forts
	Recherche sensorielle	Pica, reniflent et lèchent des objets non comestibles

La méta-analyse de Ben Sasson et ses collaborateurs (2009) réalisée à partir de 14 études, montre que les anomalies sensorielles semblent plus observables chez des enfants âgés de 6 à 9 ans et seraient plus importantes en fonction du degré de sévérité de l'autisme. Dans ce chapitre, nous nous attacherons particulièrement aux particularités perceptives et sensorielles, au niveau visuel et auditif. Gepner (2014) explique que ces troubles entraveraient la communication et les interactions sociales ; le ralentissement du son et des images apporterait des améliorations notables.

4.1. De la malvoyance du mouvement et de l'é-motion aux Désordres du Traitement Temporo-Spatial (DTTS)

Gepner (2001, 2005) parle de « malvoyance du mouvement » en constatant que des troubles visuels sont présents chez certaines personnes porteuses avec TSA et ce d'autant plus que les mouvements sont rapides. Ainsi, l'étude de Gepner et ses collaborateurs (1995) montre que cinq élèves avec TSA, âgés de 4 à 7 ans, réagissent moins, en bougeant moins leur corps face à des mouvements concentriques, comparés à 9 enfants neurotypiques qui vont adapter leur posture à leur vision. Ces derniers peuvent osciller leur posture d'avant en arrière selon la fréquence du stimulus visuel. Gepner & Mestre (2002a ; 2002b) montreront également que ce « défaut d'intégration visuo-spatial » se manifeste quand les vitesses sont rapides. Gepner & Mestre (2002a) comparent trois élèves avec TSA âgés de 7, 9 et 11 ans à trois enfants atteints du syndrome d'Asperger du même âge et montrent que l'insensibilité posturale pour des vitesses rapides semble spécifique aux enfants présentant un autisme infantile précoce. Ils évoquent également un lien entre le degré de sévérité de l'autisme et l'importance du trouble de la perception des mouvements, également constaté dans d'autres études (Lainé et al., 2008a ; Lainé et al., 2009 ; Tardif et al., 2007). Ces auteurs (Gepner & Mestre, 2002b) émettent l'hypothèse d'un trouble de l'intégration visuomotrice de tous les mouvements, aussi bien du monde physique que ceux des êtres vivants.

Le concept de « malvoyance du mouvement » a ensuite été élargi à celui de « malvoyance de l'é-motion » (Gepner et al., 2005 ; Gepner & Tardif, 2006) pour montrer que ces troubles visuels ne portent pas seulement sur des mouvements physiques mais que la vitesse des mouvements biologiques (comme les mimiques faciales émotionnelles) et des sons de la parole étaient aussi une source de difficultés. Gepner & Tardif (2006) mettent ainsi en avant des déficits de traitement temporel de l'information sensorielle entraînant des difficultés à la traiter en temps réel. Ces travaux sont corroborés avec la méta-analyse de Frazier et ses collaborateurs (2017) portant sur 122 études montrant des anomalies du regard chez des personnes avec TSA avec une plus grande attention à la



bouche qu'aux yeux (Klin et al., 2002), aux fixations plus importantes en dehors des zones de visage sur des photographies (Yi et al., 2016) ou des temps significativement moins importants sur les éléments du visage à partir d'une vidéo d'une femme récitant l'alphabet (Wan et al., 2018). D'autres études ont également montré les difficultés que rencontrent les personnes avec TSA pour reconnaître les émotions faciales comparées à des personnes au développement typique (Tardif et al., 2007). En revanche, lorsque les mimiques faciales dynamiques, à contenu émotionnel ou non, sont présentées de façon ralentie, des mouvements faciaux sont désormais perceptibles et pourraient être imités (Gepner et al., 2001). Ces différentes études rendent compte des difficultés à percevoir à la fois les émotions (é-motion pour émotion) et les altérations du mouvement (motion) d'où le concept de « malvoyance de l'é-motion » montrant donc l'importance de la vitesse du mouvement et du ralentissement de l'environnement visuel afin d'améliorer ces désordres perceptifs (Gepner, 2014 ; Tardif et al., 2017).

Ces données ont conduit à la formulation de la théorie des Désordres du Traitement Temporo-Spatial (DTTS) en ciblant les anomalies de la perception et du traitement de la dynamique temporelle rapide de stimuli sensoriels variés (Gepner, 2006 ; Gepner & Tardif, 2009 ; Gepner & Féron, 2009). Au niveau auditif, par exemple, l'étude de Tardif et ses collaborateurs (2002) a montré que des élèves avec TSA éprouvaient des difficultés à traiter des phonèmes ambigus, dues à leur brièveté, catégorisant majoritairement le phonème MNA en NA en vitesse ordinaire alors que les enfants au développement typique le catégorisent pour moitié en MA ou en NA. Ces difficultés, pouvant entraîner des problèmes dans le domaine du langage, disparaissent lorsque la vitesse est divisée par deux. Les DDTS se caractérisent également par une faible réactivité posturale au mouvement visuel environnemental comme nous l'avons mentionné (Gepner et al., 1995) entraînant des perturbations sensori-motrices et motrices, par une faible réactivité oculomotrice en réponse à un mouvement, et ce d'autant plus que la vitesse du mouvement est rapide (Gepner & Mestre, 2002b). Lorsque les mouvements du visage et du corps sont trop rapides, des difficultés de compréhension ou d'imitation apparaissent. Ces troubles peuvent donc entraîner des difficultés d'interactions sociales (Gepner, 2014), des troubles moteurs, des troubles du langage, des difficultés à comprendre et à imiter, mais concernant les détails visuels statiques un développement accru des capacités graphiques et de la mémoire spatiale comme le montre la figure 9 suivante.

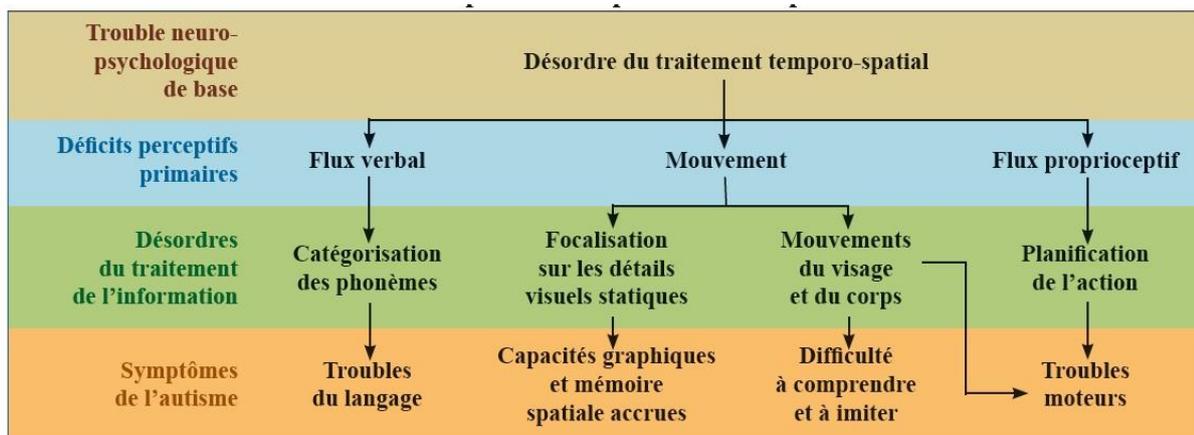


Figure 9.

Schéma synthétique des Désordres du Traitement-Temporo Spatial des stimuli visuels, auditifs et proprioceptifs (d'après Gepner & Tardif, 2009).

Pour que les personnes avec TSA disposent de plus de temps dans le traitement des informations et leur compréhension, *LOGIRAL*, un LOGiciel de RA Lentissement permet de ralentir le son et les images des vidéos préalablement enregistrés en choisissant une vitesse de présentation. *LOGIRAL* (Tardif & Gepner, 2012 ; 2014) est gratuit, ergonomique ; il est aisé de ralentir les signaux visuels et auditifs d'une manière synchrone par paliers de 5% (tablette) ou 10% (ordinateur) et il est utilisable dans divers contextes éducatifs.

4.2. Les bénéfices du ralentissement

4.2.1 Le ralentissement permet d'accroître la fixation visuelle des élèves avec TSA sur le visage

La méta-analyse de Frazier et ses collaborateurs (2017) totalisant 5033 personnes avec TSA âgées entre 4 mois et 40 mois souligne une atypie du regard et une attention visuelle moindre pour les régions du visage et du visage en entier lors des interactions sociales. Les personnes avec TSA auraient des difficultés à sélectionner les informations socialement pertinentes suite à un déficit du traitement temporel des stimuli sensoriels rapides (DDTS, Gepner, 2014) évoqués précédemment. Des études ont ainsi cherché à mesurer l'impact du ralentissement des informations dynamiques (auditives et visuelles) sur les comportements d'exploration visuelle d'élèves avec TSA regardant un visage. Ainsi, Charrier et al. (2014 ; 2017) ont comparé 23 élèves avec TSA âgés de 3 à 8 ans

(moyenne d'âge = 5,8) à 29 enfants au développement typique du même âge. Le groupe des élèves avec TSA est divisé en trois, en fonction du degré de sévérité révélé par le score de la CARS. Les résultats montrent tout d'abord que les élèves avec TSA font significativement plus de fixations sur la région en dehors du visage que les enfants au développement typique et fixent significativement moins longtemps la bouche et le visage (voir figure 10). Chawarska et ses collaborateurs (2013), avaient également constaté que ces enfants passent plus de temps à regarder des zones de faible importance sociale plutôt que les yeux ou la bouche. Néanmoins, dans les études de Charrier et ses collaborateurs (2014 ; 2017), il n'y a pas de différence significative concernant la fixation sur les yeux.

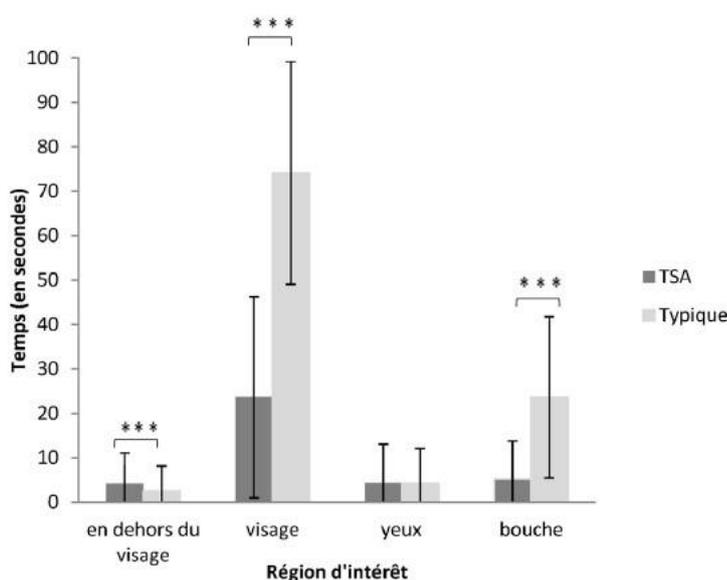


Figure 10.

Temps total de fixation sur les quatre régions d'intérêt chez les élèves avec TSA comparés aux enfants au développement typique (d'après Charrier et al., 2017)

En revanche, lorsque la vitesse est ralentie à 50%, les fixations sur la bouche sont d'une durée moyenne plus longue comparée à une vitesse en temps réel ou ralentie de 30% et ce d'autant plus pour les enfants ayant un faible degré de sévérité.

Tardif et ses collaborateurs (2016) ont également montré que des enfants ayant bénéficié des séances d'orthophonie pendant une année avec *LOGIRAL* regardent davantage le visage, les yeux et la bouche à la fin de l'expérimentation, quelle que soit la vitesse de présentation, ce qui est peu ou pas le cas des enfants n'ayant pas bénéficié du ralentissement. Après une année d'utilisation de *LOGIRAL*, les enfants seraient donc plus intéressés et moins gênés par le visage. Ils pourraient ainsi mieux cerner les émotions, mieux décoder le langage pour se l'approprier.

Ces résultats sont encourageants et montrent que le ralentissement pourrait permettre à des élèves avec TSA de saisir davantage d'informations véhiculées par la bouche, de corriger le regard afin de mieux percevoir les indices sociaux essentiels pour entrer en communication avec autrui.

4.2.2 Le ralentissement améliore la reconnaissance des expressions faciales

Lainé et ses collaborateurs (2008b) émettent l'hypothèse qu'une présentation ralentie d'expressions faciales et de leur son correspondant, à des élèves avec TSA, améliore leur reconnaissance et induit davantage leur imitation, comme l'ont suggéré Gepner et ses collaborateurs (2001). Ces derniers affirment que les multiples mouvements du visage (mouvements des lèvres pendant la parole, mimiques faciales ou émotionnelles, mouvements oculaires) sont trop rapides et complexes pour être supportés, perçus et intégrés. Le ralentissement de ces mouvements faciaux permettrait aux personnes avec TSA de mieux les percevoir et de reconnaître les expressions faciles émotionnelles ou non émotionnelles. Lainé et al. (2008b) ont ainsi comparé 12 élèves avec TSA (moyenne d'âge = 10,8 ; âge verbal = 5,2 ; âge non verbal = 6,1) à 12 enfants au développement typique appariés à leur âge verbal et 12 enfants au développement ordinaire appariés à leur âge non verbal. Il s'agissait de reconnaître quatre expressions émotionnelles (joie, tristesse, dégoût, tristesse) et quatre expressions non émotionnelles (prononciation de voyelles A, O, I, protrusion de la langue) proposées en vitesse statique, lente, très lente et normale. La présentation pouvait être accompagnée ou non d'un son. Les résultats montrent que les élèves avec TSA reconnaissent moins d'expressions faciales que les deux groupes d'enfants témoins. Cette difficulté ne peut pas être seulement expliquée par un retard de développement. Pour percevoir les expressions faciales, il est nécessaire de voir le visage dans son ensemble or ces enfants ont souvent un manque de cohérence centrale (Frith, 1989). En revanche, pour les élèves avec TSA, le ralentissement révèle de meilleurs scores de reconnaissances des mimiques faciales, notamment quand elles sont accompagnées de sons dans la position statique et pour les enfants présentant un autisme modéré ou fort. Ce résultat va dans le sens d'une corrélation entre degré de sévérité et troubles perceptifs de la vision des mouvements également constatés dans d'autres études (Lainé et al., 2008, Lainé et al., 2009 ; Tardif et al. 2007 ; Gepner & Mestre, 2002a). Enfin, la vitesse lente et très lente induirait également l'imitation des expressions faciales sonorisées. Le son aurait donc un rôle à jouer dans l'imitation.

4.2.3 Le ralentissement permet l'imitation

L'étude de Lainé et ses collaborateurs (2008b) montre que l'imitation de vocalises se produit lorsque des expressions faciales sont projetées en vitesse ralentie. Lainé et ses collaborateurs (2009) ainsi que Tardif et ses collaborateurs (2007) ont également montré que les élèves avec TSA imitent spontanément des expressions présentées sur ordinateur et ce d'autant plus qu'elles sont présentées de manière ralentie. Ainsi Lainé et ses collaborateurs (2008a) ont cherché à savoir si un groupe de 14 élèves avec TSA (moyenne d'âge = 10,1) arrivait plus facilement à imiter sur demande des mouvements biologiques (faciaux, corporels, manuels) qu'un groupe de 14 enfants au développement typique associé en fonction de l'âge de compréhension verbale des élèves avec TSA. Ils ont proposé d'imiter 20 gestes (par ex., fermer les yeux, sauter deux fois, serrer les poings) en vitesse normale, lente et très lente. Les résultats montrent que les élèves avec TSA imitent moins sur demande que le groupe contrôle en vitesse normale mais que des progrès apparaissent en vitesse lente (voir figure 11). Au contraire, la vitesse trop lente pourrait entraîner une baisse d'attention.

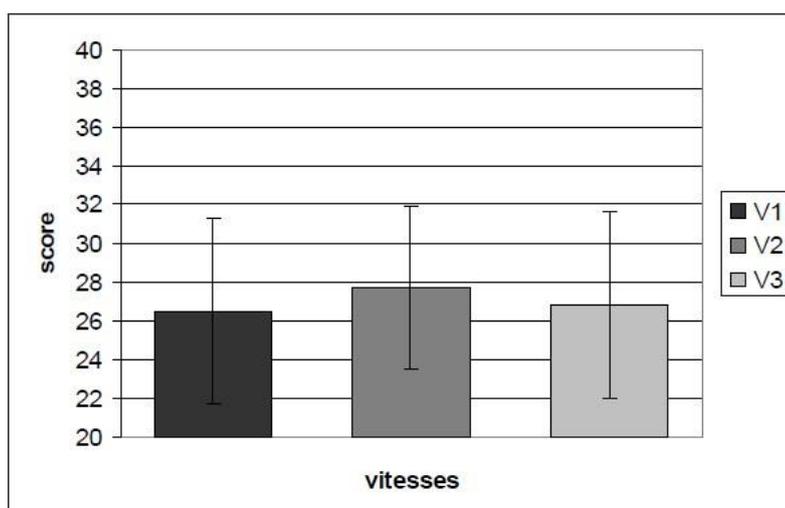


Figure 11.

Score moyen d'imitations en fonction de la vitesse pour le groupe avec autisme (d'après Lainé et al., 2008a) V1 ; vitesse normale ; V2 diminuée par 2 et V3 par 2,5

Les auteurs ont souhaité connaître le gain apporté par le ralentissement. Les élèves avec TSA devaient obtenir au moins 10% de plus à leur score. Ils ont été divisés en deux groupes : 8 enfants présentant un autisme léger-moderé et 6 un autisme modéré-sévère. Seul ce dernier groupe a progressé significativement, ce qui montre à nouveau un lien entre degré de sévérité de l'autisme et l'importance du trouble de la perception des mouvements (Gepner & Mestre, 2002a). Cette étude

conclut également qu'il s'agirait davantage d'une anomalie qu'un retard à imiter ; ce que corrobore l'étude de Lainé et ses collaborateurs (2009).

En effet, ces auteurs ont comparé 19 adolescents avec TSA (moyenne d'âge = 11,8) à 19 enfants au développement typique (moyenne d'âge = 4,7) appariés sur l'âge verbal des élèves avec TSA, 18 autres enfants au développement typique (moyenne d'âge = 6,10) appariés à l'âge mental non verbal des élèves avec TSA ainsi que 17 enfants porteurs de trisomie 21 (moyenne d'âge = 14,5). Cinq épreuves sont proposées : une reconnaissance d'expressions faciales dynamiques émotionnelles, une reconnaissance de mots proches, une reproduction de mouvements corporels et faciaux ainsi qu'une reproduction d'actions simples et complexes. Trois vitesses sont proposées : normale, lente réduite par deux et très lente réduite par deux et demi. Les résultats révèlent que les élèves avec TSA sont moins performants dans l'imitation des gestes. En dehors de cette épreuve, les auteurs constatent que ce sont les enfants avec un autisme sévère qui bénéficient des présentations ralenties pour les quatre autres épreuves. Les bénéfices de la présentation ralentie seraient spécifiques à l'autisme et liés à la sévérité du trouble. En revanche, le lien avéré entre l'intensité du degré de sévérité et l'intensité des troubles perceptifs ne semble pas s'étendre à l'âge mental. Une présentation ralentie des signaux visuels et auditifs permettrait donc à certains élèves avec TSA de mieux les traiter, mieux les intégrer et mieux les comprendre.

Lainé et ses collaborateurs (2011) ont présenté à ces mêmes enfants et adolescents une épreuve d'imitation de vingt gestes afin de mesurer l'imitation faciale selon différentes vitesses. Ces auteurs constatent que les élèves avec TSA les plus sévères reproduisent mieux les mouvements lorsqu'ils sont ralentis et que ce n'est pas le cas des autres groupes. En ciblant mieux l'attention, en particulier sur les bonnes régions, l'imitation serait plus aisée. Enfin, Lainé et ses collaborateurs (2019) ont constaté une relation entre le niveau de développement du langage (en l'occurrence la compréhension du vocabulaire) et des performances en imitation sans expliquer de raisons apparentes. Chawarska et ses collaborateurs (2012) remarquent une corrélation positive entre le taux de fixation sur la bouche et le développement verbal des élèves avec TSA. Le ralentissement, en augmentant les fixations visuelles sur la zone de la bouche, pourrait-il permettre de développer le langage oral et d'augmenter ainsi les performances en imitation ?

4.2.4 Le ralentissement réduit les comportements inadaptés

Meiss et ses collaborateurs (2015) ont suivi quatre enfants avec un TSA sévère (moyenne d'âge = 6,11), pendant leur séance hebdomadaire d'orthophonie, sur une durée de 3 mois (10 séances

environ). En fonction des enfants, une vitesse de ralentissement de 20 à 35% était proposée. Ils ont constaté une baisse des comportements inadaptés tels que les stéréotypies, les autostimulations, les violences ou les cris. Les auteurs émettent l'hypothèse que cette baisse pourrait être liée à l'augmentation de l'attention des enfants, de leur communication non-verbale et de la réciprocité des échanges (voir figure 12) qui aurait pu améliorer les relations sociales. Néanmoins, les auteurs n'ont pas constaté d'améliorations dans la communication verbale.

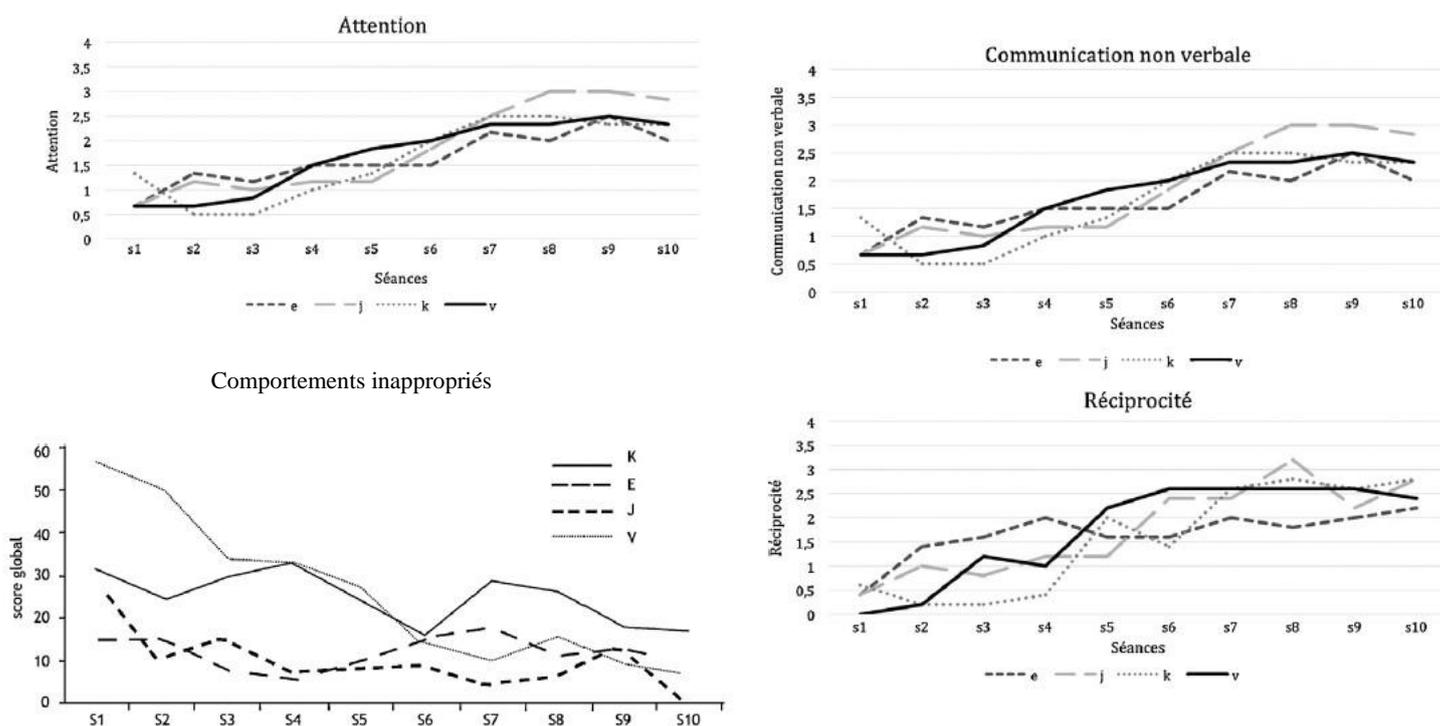


Figure 12.

Évolution de l'attention, de la communication non-verbale, des comportements inadaptés et de la réciprocité de quatre enfants (e, j, k et v) pendant 10 séances d'orthophonie utilisant *LOGIRAL*

Charrier (2014) a également constaté une diminution des comportements inadaptés des élèves avec TSA bénéficiant de l'utilisation de *LOGIRAL* lors des séances en orthophonie pendant une année. Ces résultats orientent vers l'importance d'un suivi spécialisé des élèves avec TSA, ce de préférence, dès leur plus jeune âge car les résultats montrent que la trajectoire développementale peut être améliorée.

4.2.5 Les bénéfices de l'utilisation du ralentissement par les orthophonistes

Enfin, dans une étude récente, Gepner et ses collaborateurs (2021) retrouvent les différents bénéfices du ralentissement. Vingt-trois élèves avec TSA, âgés de 3 à 8 ans, (moyenne d'âge = 5,8) ont été suivis dans des séances d'orthophonie, à raison d'une séance de 45 minutes par semaine, pendant 12 mois. Le groupe expérimental (n=12) a bénéficié d'un ralentissement à différentes vitesses (de 30% à 50%) grâce au logiciel *LOGIRAL* alors que le groupe contrôle (n=11) n'a pas bénéficié de ce logiciel de ralentissement. Les résultats montrent que tous les enfants ont progressé dans le domaine de la communication. Les compétences dans le domaine de la reconnaissance des expressions faciales se sont également améliorées. Les auteurs expliquent que l'entraînement hebdomadaire de reconnaissance des émotions sur le visage de l'orthophoniste ou sur l'ordinateur a sans doute permis ces progrès. Ils ont en effet constaté une augmentation du nombre et du temps de fixation sur le visage pour ces 23 enfants. Ces résultats montrent l'intérêt d'un suivi orthophonique avec des personnes formées aux TSA. En revanche, les capacités d'imitation se sont significativement améliorées uniquement pour les enfants du groupe expérimental (voir figure 13), confirmant les résultats de précédentes études que nous venons de détailler (Charrier et al., 2014 ; 2016 ; Meiss et al. 2015).

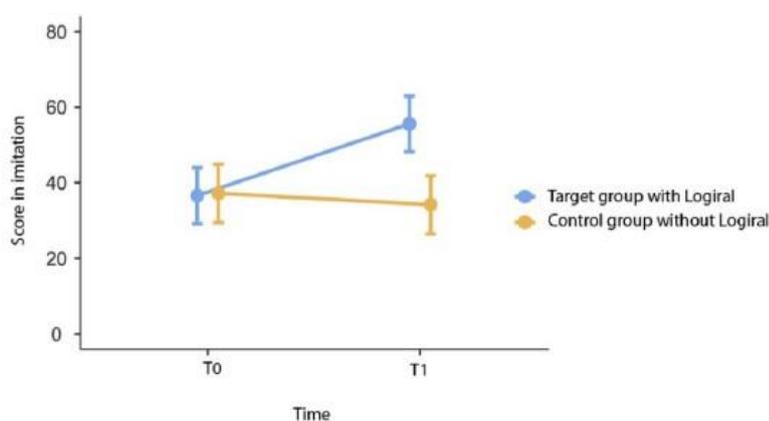


Figure 13.

Évolution des scores en imitation entre T0 et T1 (d'après Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant LOGIRAL et en jaune les enfants n'utilisant pas LOGIRAL

De plus, Gepner et al. (*ibid.*) soulignent une baisse des comportements inappropriés (voir figure 14) pour les enfants du groupe expérimental. La réduction de la vitesse entraînerait une augmentation de l'attention et une baisse de l'hyperactivité motrice chez certains enfants. Charrier et ses collaborateurs (2014) ont également constaté une baisse des comportements inadaptés. Meiss et ses

collaborateurs (2015) émettent l’hypothèse que cette baisse pourrait être liée à l’augmentation de l’attention des enfants, de leur communication non-verbale et de la réciprocité des échanges qui aurait pu améliorer les relations sociales comme nous l’avons mentionné précédemment.

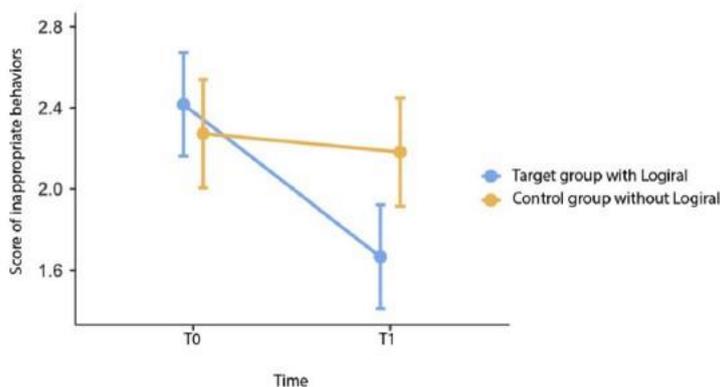


Figure 14.

Évolution des scores des comportements inadaptés entre T0 et T1 (d’après Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant LOGIRAL et en jaune les enfants n’utilisant pas LOGIRAL

Gepner et al. (*ibid.*) ont également constaté une augmentation du nombre et du temps de fixation sur la bouche (voir figure 15) pour les enfants bénéficiant du ralentissement. Ces résultats corroborent l’étude de Gepner et ses collaborateurs (2020) montrant que la durée moyenne de fixation sur la bouche augmente lorsque l’histoire présentée aux enfants est ralentie, qu’il s’agisse des 23 élèves avec TSA ou des 29 enfants au développement typique. Ces auteurs notent que les élèves avec TSA accordent en général moins d’importance au visage et à la bouche que les enfants au développement typique. Ces résultats sont donc encourageants car l’augmentation du nombre de fixations sur la bouche entraînerait une meilleure lecture labiale et favoriserait ainsi la communication.

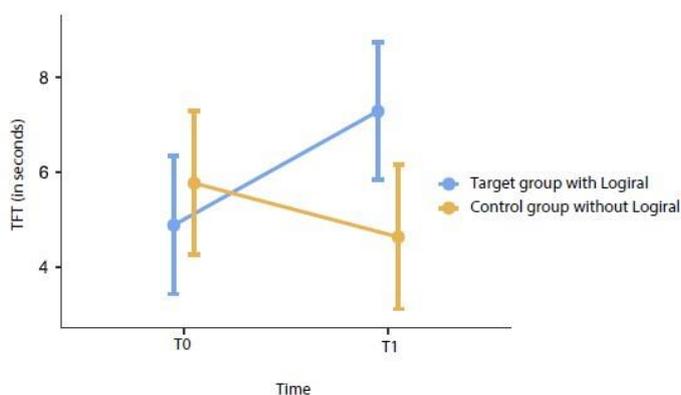


Figure 15.

Évolution du temps de fixation sur la bouche entre T0 et T1 (d’après Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant LOGIRAL et en jaune les enfants n’utilisant pas LOGIRAL

Enfin, Gepner et al. (*ibid.*) ont montré un accroissement de la durée de fixation sur les yeux (voir figure 16), même en vitesse réelle, ce qui soulève une originalité dans les recherches. En effet, les précédentes études rapportent plutôt des évitements du regard quasi pathognomoniques dans les TSA (Tardif et al., 1995 : Gepner, 2001).

L'usage répété du ralentissement permettrait donc de faire des progrès sur la durée des fixations des yeux et de la bouche, éléments essentiels à la communication, jusqu'à une vitesse réelle.

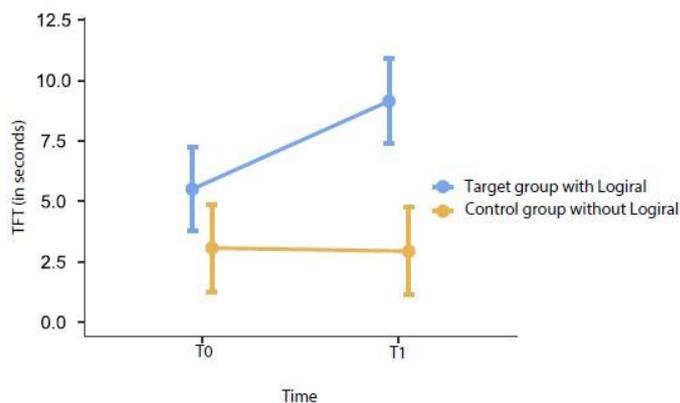


Figure 16.

Évolution du temps de fixation sur les yeux entre T0 et T1 (d'après Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant LOGIRAL et en jaune les enfants n'utilisant pas LOGIRAL

4.3. Article 2 - Ralentir la parole pour favoriser la compréhension verbale des enfants porteurs d'autisme

C. Saleur, Y. Tazouti, & C. Luxembourgger

Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la Dynamique des Comportements
(2LPN, EA 7489) – 34 Cours Léopold, 54000 Nancy

Article publié dans la revue Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence

Résumé

But de l'étude. Cette recherche se fixe comme objectif de vérifier, d'une part, si le ralentissement du débit de la parole facilite la compréhension verbale, d'autre part, d'évaluer l'efficacité du ralentissement en fonction de la complexité des stimuli chez des enfants porteurs d'autisme.

Méthode. Un protocole expérimental a consisté à comparer un groupe de 22 enfants porteurs d'autisme, scolarisés en inclusion dans des écoles maternelles, à 40 enfants tout-venant. Les enfants ont passé deux épreuves. La première porte sur la compréhension de 16 concepts verbaux issus du test BOEHM 3, la seconde réside dans la répétition de phrases issues du test NEPSY 2. Nous comparons les résultats des élèves lorsque la parole est ralentie de 30% ou non (avec le logiciel LOGIRAL).

Résultats. Nos résultats montrent que le ralentissement est bénéfique pour tous les enfants, avec ou sans autisme. Dans notre première tâche, une amélioration significative de la compréhension de concepts verbaux est d'autant plus forte que le mot-concept évalué est complexe (la paire, la plus courte, le dernier etc.). Dans la tâche de répétition de phrases, qui expose l'enfant à des niveaux de complexité plus élevés, le ralentissement est d'autant plus efficace que le niveau de complexité n'est pas trop éloigné de ce que l'élève est capable de répéter sans ralentissement.

Conclusion. Le ralentissement de la parole rend plus accessible les apprentissages verbaux principalement lorsqu'ils portent sur des notions situées dans une zone de proche développement. Les résultats de cette recherche apportent aux enseignants et aux éducateurs des pistes pour un meilleur accompagnement des apprentissages des enfants porteurs d'autisme ainsi que des enfants tout-venant.

Mots clés : ralentissement de la parole ; autisme ; compréhension verbale ; LOGIRAL ; Boëhm ; Nepsy

Abstract

Background. The aim of this study is to verify if slowing down the flow of speech facilitates verbal comprehension, in particular the comprehension of verbal concepts used by 4 and 6- years old kids, and if it is even more effective when the stimuli are complex. Our second objective is to check whether slowing down can improve the child's ability to memorize a sentence faithfully in order to repeat it without error.

Test groups. The experimental sample is composed of 62 pupils aged 4 to 6 years split in two test groups in an elementary school in Meurthe-et-Moselle. One group is made of 22 children with ASD. They have an ASD according to the CIM-10 [1] and DSM-5 [2] criteria. The control group is made up of 40 typically-developing children.

Test Methods. The first test focuses on the understanding of 16 verbal concepts from the BOEHM 3 test; the second is a sentence repetition from the NEPSY 2 test. We compared the children's results when the teacher's speech is slowed down and when it is not. We slowed down the speech's speed by 30% without distorting the voice using the LOGIRAL app. This free time stretching software, developed by Tardif and Gepner from the University of Aix-Marseille, with the Auticiel company, is very easy to use in schools. The slowing down of audio-visual signals promotes attention and concentration.

Results. Our results show that the slowing down of speech is beneficial for all children, with or without autism. In our first task we observe a significant improvement in the comprehension of verbal concepts, even more so as the word-concept evaluated is complex (the pair, the shortest, the last one...). In the task of repeating sentences, which exposes the child to higher levels of complexity, the slowing down is all the more effective as the level of complexity is not too far removed from what the pupil is able to repeat without the teacher 's slowed down speech

Perspective. According to our study, slowing down speech's speed by 30% improved comprehension and memorization for all children and is especially important for children with ASD. It makes verbal learning more accessible, mainly when it relates to concepts located in the zone of proximal development [3]. Considering such results can improve the inclusion of young pupils with autism disorders in mainstream classes, effectively making verbal learning more achievable.

Keywords: slowed speech; autism; verbal comprehension ; LOGIRAL ; Boëhm ; Nepsy

1.Introduction

Notre compréhension des aptitudes cognitives des personnes avec autisme a beaucoup évolué depuis Kanner [4] notamment suite aux recherches sur leurs capacités à traiter les informations. On parle de déficits du traitement perceptif et intégratif des informations notamment lorsque le flux de celles-ci est rapide [5], par exemple, concernant le mouvement visuel [6, 7], les sons de la langue [8], les informations proprioceptives [9] et les expressions faciales [10]. Meiss et al. [5] ont montré que le ralentissement de vidéos présentées avec *LOGIRAL* (logiciel permettant de ralentir la parole et la vitesse de défilement des images) avait permis d'améliorer significativement la communication non-verbale, la réciprocité des échanges avec l'expérimentateur et l'attention pour les supports vidéo proposés. Cependant, en trois mois d'expérimentation seulement (consistant en 10 séances de 30 mn), la communication verbale n'avait pas évolué chez ces quatre enfants entre 6 ans 8 mois et 7 ans 5 mois présentant tous un autisme sévère. Concernant les évènements faciaux et vocaux, Gepner et al. [9] ont montré que le ralentissement améliorait les capacités d'imitation verbales, faciales et corporelles notamment chez les enfants atteints d'autisme de bas niveau (avec des limites intellectuelles). Pour de nombreuses personnes avec autisme, il peut devenir trop complexe de traiter cette quantité d'informations de manière simultanée, globale et intelligible. Les difficultés de compréhension qui en découlent sont en partie responsables ou aggravent les conditions d'une bonne adaptation sociale et cognitive. Le ralentissement est donc apparu comme un moyen de réduire le débit des informations pour disposer davantage de temps pour leur traitement et en tirer une meilleure compréhension. Concernant les enregistrements sonores, les progrès technologiques ont permis de raccourcir ou d'allonger la durée et le tempo d'un enregistrement sans modifier la hauteur du son. Tallal et al. [11] et Temple et al. [12] montrent qu'avec des enfants dyslexiques âgés de 8 à 12 ans, le ralentissement améliore les capacités de traitement phonologique et les compétences en lecture. Ces auteurs formulent l'hypothèse que les troubles du langage des enfants sont liés à un déficit du traitement temporel. Le ralentissement aurait des effets sur la compréhension chez certains enfants dysphasiques mais pas d'autres, selon l'étude réalisée par Cordier [13] sur 21 enfants de 7 à 11 ans scolarisés en établissements spécialisés. Concernant les enfants avec un Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA), Tardif et al. [8] montrent qu'il améliore la discrimination phonologique chez un groupe de 16 enfants porteurs d'autisme âgés de 4,9 ans à 16,1 ans et d'âge moyen de 8,6 ans. Une amélioration de la cognition verbale est obtenue également auprès de 2 enfants avec autisme de 5 et 16 ans [14] à qui les expérimentateurs font écouter des mots, des phrases et présentent des images animées en mode ralenti ou non. Les données de ces recherches concernent de petits effectifs et quasi



exclusivement des enfants âgés de plus de 6 ans. Ces travaux n'étudient pas les réactions des enfants en fonction du degré de difficultés des stimuli, or l'efficacité du ralentissement peut dépendre de cette difficulté jusqu'à devenir inefficace lorsque la difficulté devient trop importante. Dans notre étude, nous ciblons les enfants de 4 à 6 ans et utilisons l'application *LOGIRAL* [15, 16] qui présente l'avantage d'être gratuite, fiable et adaptée à une utilisation aisée en classe.

La présente recherche se propose d'examiner trois hypothèses.

La première hypothèse suppose que le ralentissement du débit de la parole améliore la compréhension de concepts verbaux chez des enfants porteurs d'autisme mais également chez des enfants tout-venant (H1). Pour de nombreuses personnes porteuses d'autisme, « le monde va trop vite ». Gepner [17] explique que le décalage temporel entre le rythme du monde extérieur et celui du monde intérieur induit chez ces personnes du stress, des difficultés de compréhension et de communication, des désordres émotionnels et relationnels. Ralentir l'environnement visuel mais aussi auditif améliorerait ces désordres perceptifs (Gepner [17] ; Tardif et al. [8, 14]). Les travaux de Lainé et al [18] ont montré que la vitesse des mouvements biologiques et des sons de la parole est une source de difficulté pour les enfants et adolescents porteurs d'autisme d'atteinte plus sévère et que le ralentissement permet de mieux les comprendre. Ils disposent ainsi de plus de temps pour les assimiler.

Notre deuxième hypothèse suggère que l'amélioration de la compréhension portera davantage sur les items complexes car ce sont ces items qui posent des problèmes de compréhension verbale. Nous supposons donc que le ralentissement atténuera ces difficultés. Enfin, notre troisième hypothèse suppose que le ralentissement améliore l'écoute et la capacité à mémoriser une phrase fidèlement. En effet, le ralentissement offre plus de temps pour la mémorisation des informations. A notre connaissance les deux dernières hypothèses n'ont jamais été testées auprès d'un public avec TSA ou avec des enfants tout-venant.

Ces trois hypothèses seront testées selon un dispositif expérimental comparant les enfants porteurs d'autisme à des enfants tout-venant. De plus, l'une des originalités de cette recherche a été d'utiliser deux tests étalonnés, le Boëhm-3 et la Nepsy 2, qui n'ont pas encore été utilisés avec des enfants porteurs d'autisme.

2.Méthode

2.1 Participants

L'étude porte sur deux groupes d'enfants.

- Le premier est constitué de 22 enfants porteurs d'autisme : 16 élèves de grande section (14 garçons et 2 filles) et 6 élèves scolarisés en moyenne section (5 garçons et 1 fille). Ils sont âgés de 4 à 6 ans (moyenne d'âge de l'échantillon = 5,7 ans) et sont scolarisés en inclusion dans des écoles maternelles de la Meurthe-et-Moselle. Les enfants TSA relèvent du niveau 3 de sévérité des TSA selon les critères du DSM-5 (APA, 2013) [2] et du CIM-10 [1], c'est-à-dire ceux nécessitant le soutien le moins important. Ils sont tous verbaux et présentent une adaptation sociale et scolaire suffisante pour se confronter aux activités et rythmes de vie et d'apprentissage d'une classe moyennant quelques aménagements et une aide humaine. Nous pouvons les situer dans le niveau 3 du manuel du DSM-5 (2015) qui se caractérise chez la personne avec TSA certes par des difficultés à initier des interactions sociales ainsi que des problèmes d'organisation et de planification mais peu de comportements restreints ou répétitifs et sans troubles associés connus. Tous les élèves de l'échantillon sont scolarisés en milieu ordinaire dans le cadre de l'inclusion scolaire. Ils ont un dossier notifié par la Maison Départementale des Personnes Handicapées et ont été reconnus porteurs de TSA par des équipes pluridisciplinaires. Ils sont accompagnés à temps plein par un AESH (Accompagnant des Élèves en Situation de handicap) et sont scolarisés 4 jours par semaine dans des classes de moyennes et grandes sections.

- Un second groupe est constitué de 40 enfants tout-venant : 23 élèves de grande section (14 garçons et 9 filles) et 17 élèves scolarisés en moyenne section (9 garçons et 8 filles). Ils sont également âgés de 4 à 6 ans (moyenne d'âge = 4,8 ans), sans signes de difficultés ou de retard de développement et ne faisant l'objet d'aucune prise en charge médicale, sociale ou psychologique.

Pour les deux groupes, les parents ont donné leur consentement écrit pour que leur enfant participe à l'étude.

2.2. Matériel

Le protocole expérimental est composé de deux épreuves verbales.

2.2.1. *Les concepts de base de Boëhm-3*

Cette épreuve évalue la compréhension de concepts verbaux de base. Ces concepts (qualité, temps, espace et quantité) sont couramment employés entre 3 et 5 ans [19]. Leur appropriation est importante pour la mise en place des compétences verbales à l'école maternelle et pour comprendre les consignes. Nous avons sélectionné les concepts suivants et nous les avons présentés sous la forme de planches en images : *sur, dedans, la plus grande, tout en haut, le plus grand, toutes, il manque, sous, différent, vers le bas, autour, le dernier, peu, la plus courte et la paire*. Dans ces planches, l'enfant doit montrer un objet, un animal ou une personne afin d'évaluer s'il maîtrise la notion. Par exemple, item 2, « montre-moi le chien qui est SUR la boîte », item 4 « regarde les sucettes : montre-moi LA PLUS GRANDE », item 7 « montre-moi TOUTES les chaussures. ». En nous référant à l'étalonnage du test [19] effectué sur 360 enfants tout-venant entre 3 ans et 5 ans 11 mois, nous avons choisi des notions de difficultés croissantes, de l'item 1 à l'item 16. Nous avons sélectionné des notions pour lesquelles les deux planches (protocole ralenti versus non-ralenti) ont obtenu des scores de réussite analogue au test.

2.2.2. *L'épreuve de répétition de phrases de la NEPSY 2*

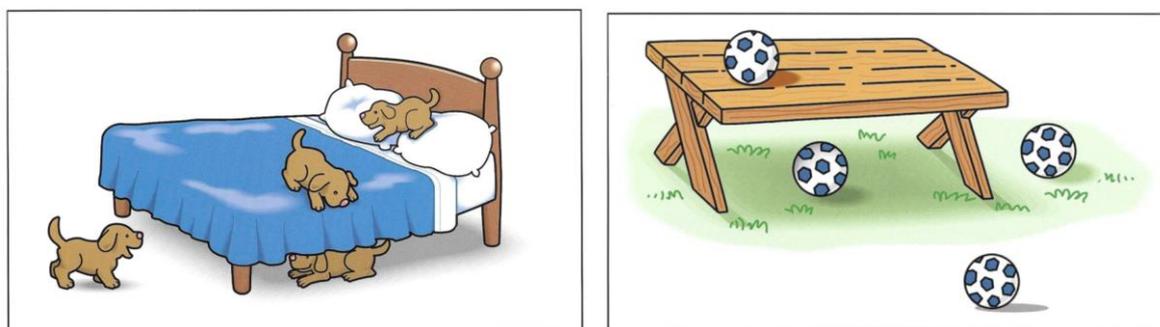
Cette épreuve évalue la compréhension verbale, l'écoute et la capacité à mémoriser une phrase fidèlement. Elle est composée de 17 phrases de complexité et de longueur croissantes. Il s'agit d'une épreuve extraite de l'échelle d'évaluation neuropsychologique NEPSY 2 [20]. Par exemple, la phrase 3 est : « Le chien dort à la maison » et la phrase 7 est « Certains enfants ont une bibliothèque dans leur école ». Les phrases sont présentées en mode Vitesse Ralentie (VR) et Vitesse Normale (VN). Conformément au manuel de cotation, l'enfant n'entend qu'une seule fois la phrase et il doit la répéter mot à mot, sans faire d'erreur. Toute omission, ajout, modification, déplacement d'un mot est compté comme une erreur. Deux erreurs par phrase est coté « zéro ». L'épreuve s'arrête lorsque l'enfant obtient trois « zéro » consécutifs.

2.3. Procédure

Toutes les consignes des épreuves ont été préalablement enregistrées sous la forme d'un fichier numérique au format mp3, puis pour chacun d'eux nous avons créé un fichier ralenti à 70% de sa vitesse avec LOGIRAL. Ce logiciel permet de ralentir de manière plus ou moins importante la voix (ou les sons) sans déformer la tonalité de la voix (ou des sons). À la suite de Tardif et al [14], nous avons fait le choix d'un ralentissement à 70% qui améliorerait efficacement la cognition verbale chez les jeunes enfants porteurs d'autisme.

Toutes les évaluations se sont déroulées à l'école dans une salle annexe à la classe en présence de l'expérimentateur et de l'AESH en charge de l'enfant. L'expérimentateur présente les items des deux épreuves sur l'écran d'un ordinateur avec l'enfant assis à sa gauche. En appuyant sur une touche, l'expérimentateur passe d'une planche à l'autre et en appuyant sur une autre touche il déclenche le stimulus sonore en mode vitesse ralentie (VR) ou en mode vitesse normale (VN). Les épreuves sont présentées dans des conditions strictement analogues.

Pour éviter que les enfants réalisent deux fois les mêmes séries du test Boëhm, le test prévoit deux planches différentes pour un même concept (figure 1). Ces concepts sont entendus en mode VR ou en mode VN. On ne répète pas la consigne.



« Montre-moi le chien qui est SOUS le lit. » « Montre-moi la balle qui est SOUS la table. »

Figure 1. Les deux planches utilisées pour le concept SOUS

Le protocole expérimental se déroule en quatre étapes successives entrecoupées d'une activité distractive pour soulager la mémoire de travail de l'enfant :

1° concepts de base en VR, activité distractive (un puzzle 2, 4 ou 6 pièces selon la réussite de l'enfant);

2° concepts de base en VN, activité distractive (idem puzzle);

3° répétition de phrases en VN, activité distractive (idem) ;

4° répétition de phrases en VR. L'ordre des étapes est contrebalancé d'un élève à l'autre et la modalité ralentie ou non.

Dans notre plan expérimental, les modalités VR et VN sont contrebalancées d'un élève à l'autre. Conformément aux manuels de cotation des épreuves, pour chaque item à Boëhm, nous cotons 1 si la réponse est bonne et 0 si elle est erronée et à Nepsy nous cotons 2 si la réponse est bonne, 1 s'il y a une erreur et zéro à partir de deux erreurs.

3.Résultats

Nous avons constitué 4 regroupements d'items différents et procédé à des comparaisons des scores en VR et en VN :

- Comparaison 1 : l'ensemble des 16 items aux concepts de base
- Comparaison 2 : les 8 items des concepts de base les plus faciles (montrer, sur, dedans, la plus grande, tout en haut, le plus grand, toutes, il manque)
- Comparaison 3 : les 8 items des concepts de base les plus difficiles (sous, différent, vers le bas, autour, le dernier, peu, les plus courtes, la paire)
- Comparaison 4 : tous les items à l'épreuve de répétition de phrases.

Des analyses de la variance multivariée (Manova) suivi de tests post-hoc (Bonferroni) ont été réalisées. Le groupe (TSA vs tout-venant) est la variable indépendante et les scores en vitesse ralentie (VR) et en vitesse normale (VN) sont les variables dépendantes. Quatre Manova ont été réalisées pour les différents regroupements d'items présentés précédemment. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel statistique SPSS version 24.

Tableau 1. Analyse de la variance multivariée (Manova) entre le groupe et les scores en vitesse ralentie (VR) et en vitesse normale (VN) pour les quatre groupes d'items

		TSA (n=22)	Tout-venant (n=40)	Comparaisons post-hoc		
		M(ET)	M(ET)	F	η^2	
Comparaison 1 (16 items)	VN	8,91 (4,22)	13,23 (2,56)	25,23***	0,30	4,32*
	VR	10,05 (4,06)	14,03 (2,35)			3,98*
Comparaison 2 (8 items plus faciles)	VN	6,36 (2,30)	7,80 (0,56)	14,23***	0,19	1,44*
	VR	6,68 (1,89)	7,83 (0,55)			1,15*
Comparaison 3 (8 items plus difficiles)	VN	2,55 (2,26)	5,43 (2,14)	24,76***	0,29	2,88*
	VR	3,36 (2,50)	6,20 (1,90)			2,84*
Comparaison 4 (répétition de phrases)	VN	6,86 (3,76)	12,88 (4,09)	32,43***	0,35	6,02*
	VR	8,82 (3,65)	14,65 (4,59)			5,83*

NB : *** $p < 0,001$; * $p < 0,05$.

Pour l'ensemble des 16 items aux concepts de base, le tableau 1 montre un effet principal du groupe ($F(1,60) = 25,23$, $p < 0,001$) expliquant 30 % de la variance ($\eta^2 = 0,30$). Nous retrouvons cet effet principal pour les 8 items les plus faciles ($F(1,60) = 14,23$, $p < 0,001$), les 8 items les plus difficiles ($F(1,60) = 24,76$, $p < 0,001$) ainsi que pour la répétition de phrases ($F(1,60) = 32,43$, $p < 0,001$). Concernant les comparaisons post-hoc, les enfants du groupe tout-venant obtiennent des résultats significativement meilleurs que les élèves avec TSA que ce soit en VN ou en VR.

Par ailleurs, nous avons effectué des analyses supplémentaires afin de comparer les scores à l'intérieur de chaque groupe d'enfants. Nous trouvons que la modalité ralentie (VR) est toujours mieux réussie. Les différences sont très significatives pour toutes les comparaisons sauf pour les 8 items les plus faciles (Pour les élèves avec TSA : $t(19) = -1,58$, $p = 0,13$ et pour les tout-venant : $t(39) = -1$, $p = 0,32$).

3.1. Comparaisons des scores en modalité non-ralentie (VN) et ralentie (VR) pour chaque item du test Boëhm-3

Pour une analyse plus fine des résultats en tenant compte de la complexité croissante des items pour chaque groupe, nous avons calculé les scores moyens en VN et VR et calculé l'amélioration (en % de réussite) pour chaque item ou groupes d'items. Pour mieux observer graphiquement sur un histogramme (figure 2 et 3) l'effet du ralentissement en fonction de la complexité croissante des items, nous avons effectué des regroupements de 4 items successifs de complexités proches.

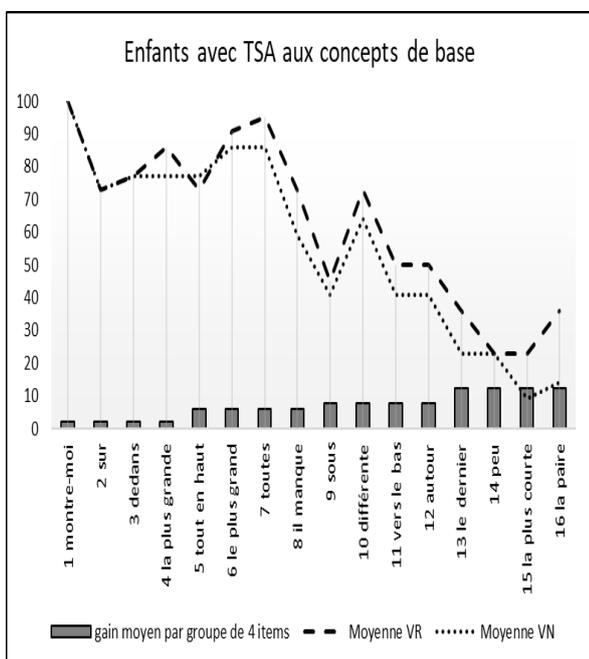


Figure 2. Comparaison des scores moyens en VN et VR et amélioration en mode VR en % de réussite pour élèves avec TSA.

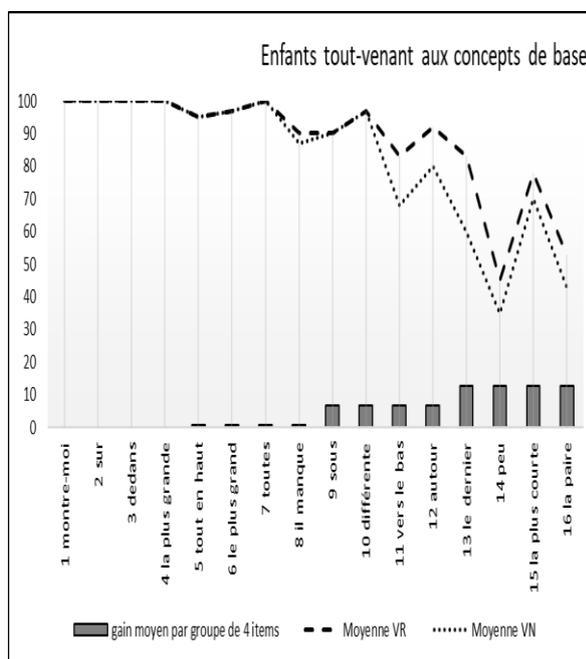


Figure 3. Comparaison des scores moyens en VN et VR et amélioration en mode VR en % de réussite pour enfants tout-venant

Les résultats (figure 2) montrent que les enfants porteurs d'autisme n'obtiennent 100 % de réussite qu'au premier item (voir liste des items en annexe). Pour les trois premiers items, la moyenne est identique en VR et VN. Ensuite, pour tous les autres items, la moyenne est toujours supérieure en VR, sauf pour l'item 5 (« tout en haut »), très légèrement inférieure de 4% en VR et l'item 14 (« peu »), où les moyennes en VR et VN sont égales. Les gains en mode VR les plus importants sont obtenus sur les deux derniers items avec 14 % d'amélioration pour « la plus courte » et 22 % pour

« la paire ». En moyenne, sur les quatre premiers items le mode VR améliore les réussites de 2,3% et respectivement pour les trois groupes suivants de 6%, 7,8% et enfin 12,3%.

Concernant les enfants tout-venant, leur réussite est de 100 % aux quatre premiers items (figure 3). Jusqu'à l'item 10, leur réussite est identique en VR et VN avec uniquement à l'item 8 («il manque»), un très léger avantage en VR (90% de réussite au lieu de 87% en VN). Puis de l'item 11 à 16, les moyennes sont toujours supérieures en VR. Les gains en mode VR les plus importants apparaissent sur les six derniers items. En moyenne, sur les quatre premiers items le mode VR améliore les réussites de 0%, et respectivement pour les 3 groupes suivants de 0,8%, 6,8% et enfin 12,8%.

3.2. Comparaisons des performances pour l'épreuve de répétition de phrases de la Nepsy 2

Nous avons procédé comme précédemment. Cependant, comme la difficulté augmente plus rapidement dans cette épreuve conçue pour des enfants de 3 ans jusqu'à 12 ans et 11 mois, nous avons effectué des regroupements de 2 items consécutifs.

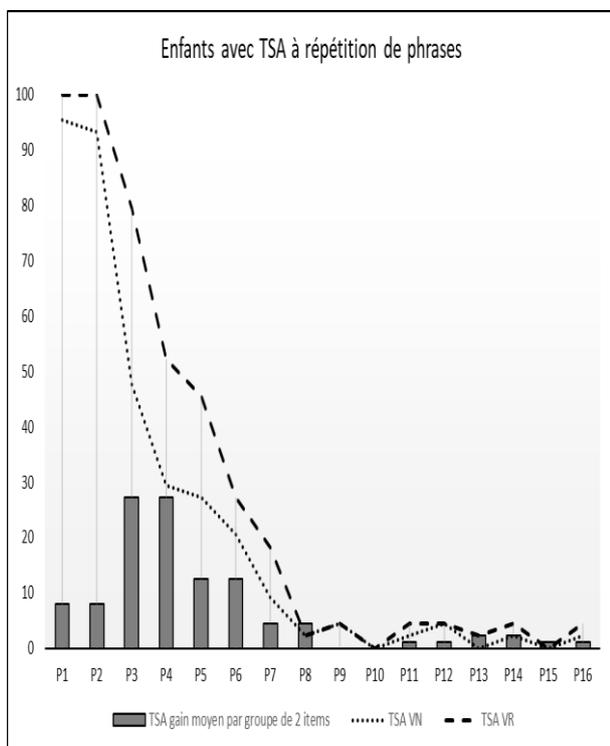


Figure 4. Comparaison des scores moyens en VN et VR et amélioration en mode VR en % de réussite pour élèves avec TSA.

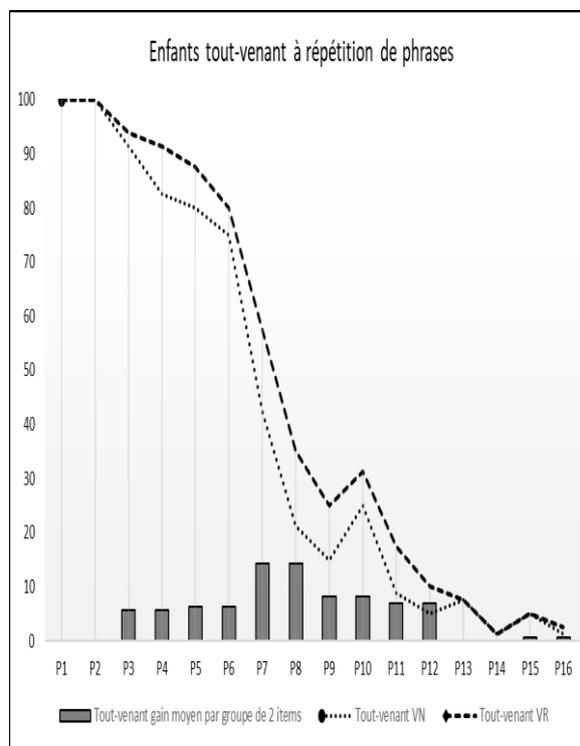


Figure 5. Comparaison des scores moyens en VN et VR et amélioration en mode VR en % de réussite pour enfants tout-venant.

Les résultats en VN (figure 4) des élèves avec TSA chutent très rapidement entre la phrase 2 (P2) et la phrase 3 (P3) avec respectivement 95,5% de réussite et 47,7%. De la P4 à la P8, les performances continuent à décroître en VN avec respectivement 29,5%, 27,3%, 20,5%, 9,1% et 2,3%. Entre P9 et P16, les scores sont très faibles et demeurent entre 0 et 5%. En mode VR, ce sont les phrases P3, P4, P5 qui bénéficient le plus du ralentissement avec respectivement 31,8%, 22,8% et 18,2% de réussite supplémentaire par rapport au mode VN. C'est la P3 (« Le chien court à la maison ») qui est la phrase qui bénéficie le plus du ralentissement. À partir de P8 jusqu'à P16, le bénéfice du mode VR reste très faible car il est compris entre 2,3 et 0%. En moyenne, sur les deux premiers items le mode VR améliore les réussites de 7,9%, et respectivement les regroupements suivants de 27,3%, 12,5%, 4,6%, 0%, 1,1%, 2,3 et 1,1%.

Concernant les enfants tout-venant, les résultats en VN (figure 5) enregistrent 100% de réussite en P1 et P2 puis décroissent lentement de P3 à P6 avec respectivement 91,3% et 75% de réussite. Les cinq derniers items de P12 à P16 ne dépassent pas les 7,5% de réussite. En mode VR ce sont les phrases P7, P8, P9, qui bénéficient le plus du ralentissement avec respectivement 15%, 13,7% et 10% de réussite supplémentaire par rapport au mode VN. C'est la P8 (« Lorsque le soleil s'est couché, nous avons monté nos tentes ») qui est la phrase qui bénéficie le plus du ralentissement. À partir de P10 jusqu'à P16, le bénéfice du mode VR est compris entre 8,7% et 0%. Lorsque nous procédons au regroupement de deux items successifs, sur les deux premiers items le mode VR améliore les réussites de 0% et respectivement pour les regroupements suivants de 5,7%, 6,3%, 14,4%, 8,2%, 6,9%, 0% et 0,6%.

Comme pour les élèves avec TSA, l'amélioration observée sur l'histogramme dessine une forme en cloche. Pour les élèves avec TSA globalement moins performants à cette épreuve, le sommet de la cloche se situe plus tôt sur P3 et P4 contre P7 et P8 pour les enfants tout-venant.

4. Discussion

Notre recherche a permis de corroborer les résultats des recherches antérieures concernant l'efficacité du ralentissement. En effet, les élèves avec TSA traitent mieux les informations auditives quand elles sont ralenties [18] et le ralentissement améliore la cognition verbale [14]. Elle a permis également d'apporter des résultats nouveaux qui s'appuient sur des stimuli différents en ayant notamment recours au test du Boëhm-3 [19] ainsi qu'à l'épreuve de répétition de phrases de la Nepsy-2 [20]. Notre recherche montre que les enfants porteurs d'autisme scolarisés en inclusion dans les

classes maternelles peuvent développer des compétences scolaires grâce au ralentissement en accédant à des concepts verbaux de base fondamentaux (comme par exemple les mots concepts difficiles à comprendre « la plus courte » ou « la paire ») nécessaires aux apprentissages.

Nos résultats dans les deux épreuves ont confirmé notre première hypothèse (H1) pour tous les enfants avec et sans TSA : le ralentissement améliore la compréhension verbale chez les jeunes enfants de 4 à 6 ans. Le ralentissement de la parole permet une meilleure compréhension des concepts de qualité, d'espace, de temps et de quantité à l'école maternelle et il améliore aussi l'écoute et la capacité à mémoriser une phrase fidèlement (H 3). Même si le groupe d'élèves avec TSA obtient des résultats plus faibles aux épreuves, nous observons des réactions similaires face à la difficulté croissante des items. Il est logique que lorsque le taux de réussite en mode non ralenti est élevé, le ralentissement améliore peu les performances et ne vient en aide qu'aux élèves qui commencent à rencontrer des difficultés. L'aide fournie par le ralentissement est la plus importante lorsque les concepts présentés deviennent plus complexes c'est-à-dire avec un faible taux de réussite en mode non-ralenti comme pour les derniers items de l'épreuve de compréhension des concepts. Nous confirmons ainsi l'hypothèse 2 (H2) au regard des résultats à cette épreuve. Cependant, l'épreuve de répétition de phrases nous permet d'affiner notre analyse car elle confronte l'enfant à des difficultés plus importantes que prévues puisque l'épreuve est destinée à des enfants jusqu'à 12 ans et 11 mois. Dans cette épreuve plus complexe, les deux groupes semblent à nouveau se comporter de manière analogue : cette fois lorsque la difficulté devient trop complexe (réussite en mode non ralentie inférieure à 10%), l'aide obtenue par le ralentissement chute jusqu'à devenir nulle. C'est vraisemblablement ce que nous aurions observé à l'épreuve des concepts de base si nous avions ajouté des concepts plus complexes destinés à des enfants plus âgés. Autrement dit, le ralentissement procure une aide efficace lorsque le degré de difficulté n'est pas trop éloigné du niveau de réussite auquel l'enfant accède sans ralentissement : ainsi l'apprentissage reste à la portée de l'enfant avec une aide, dans une zone de proche développement (ou zone proximale du développement), dans le sens défini par Vygostki [3]. Dans le cadre scolaire, lorsque la difficulté a pu être évaluée en fonction du niveau de l'enfant, c'est dans cette zone que l'enseignant a l'habitude de proposer les apprentissages collectifs ou individualisés. Il peut donc être rassurant d'observer que ce principe est respecté et que l'efficacité du ralentissement est optimale précisément dans la zone d'apprentissage ciblée par l'enseignant.

Notre travail comporte néanmoins quelques limites. Tout d'abord, nous n'avions pas accès aux informations cliniques et psychométriques (ADOS, Wppsi-IV) des enfants porteurs d'autisme. Ensuite, il n'a pas été possible d'apparier les enfants du groupe TSA avec ceux du groupe tout-venant ; les troubles du spectre de l'autisme sont 3,7 fois plus prévalents chez les garçons que les filles de 7 ans [21] et les élèves avec TSA en inclusion à temps plein accusent souvent une année scolaire de retard à la fin de l'école maternelle. Enfin, même si la taille de notre groupe TSA est importante, elle demeure insuffisante pour effectuer d'autres analyses statistiques.

5. Conclusion

Pour les enfants entre 4 et 6 ans, avec ou sans TSA, le gain obtenu par le ralentissement de la parole apparaît comme très conséquent pour améliorer la compréhension verbale des concepts verbaux de quantité, d'espace, de qualité et de temps fréquemment utilisés dans les activités lors des interactions et apprentissages à l'école maternelle. Le ralentissement améliore également de manière conséquente l'écoute et la mémorisation des phrases lorsque leur niveau de complexité commence à mettre l'enfant en difficulté. C'est précisément lorsque le message verbal se situe à niveau de complexité peu éloigné du niveau déjà atteint, comme c'est le cas dans la plupart des apprentissages proposés à l'école, que le ralentissement produit l'effet le plus remarquable. Lorsque la tâche est très simple (notion déjà acquise) ou trop complexe le ralentissement améliore très peu la compréhension. Ces résultats devraient intéresser les professionnels de l'éducation tels que les enseignants et accompagnants des élèves en situation de handicap (AESH) dans la mise en œuvre de séquences visant des notions nouvelles, mais aussi lors des interactions verbales ordinaires notamment lorsque les phrases atteignent ou dépassent 6 mots pour les élèves avec TSA de 4 à 6 ans. Il est probable également que le confort et le bien-être ressentis par l'enfant lors du traitement plus aisé des informations favorisent la confiance en soi, l'attention et la concentration ainsi que l'investissement dans l'activité [5]. Nous avons constaté au moment des passations que la plupart des élèves avec TSA (65%) ont exprimé verbalement leur préférence pour la parole ralentie contre seulement 26% chez les enfants tout-venant. Si notre étude montre les effets positifs importants du ralentissement, nous sommes conscients que nos résultats ne sont pas généralisables à l'ensemble des élèves avec TSA car ils portent uniquement sur un groupe de 22 élèves âgés de 4 à 6 ans, scolarisés en inclusion. Sur la base de ces résultats encourageants, la poursuite des bénéfices du ralentissement pourrait être recherchée auprès d'élèves avec TSA en plus grande difficulté d'adaptation scolaire et sociale ou par exemple des enfants allophones ou encore des enfants avec des troubles déficitaires de l'attention.

Déclaration de liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Remerciements : nous remercions tous les enfants qui ont participé aux enquêtes. Nous sommes également reconnaissants aux enseignants, parents et responsables administratifs qui ont facilité leur exécution.

REFERENCES

- [1] World Health Organization. (1994). CIM-10/ICD-10 : Classification internationale des maladies. Dixième révision. Chapitre V(F), Troubles mentaux et troubles du comportement : descriptions cliniques et directives pour le diagnostic / coordination générale de la traduction française : C. B. Pull. Genève : Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43316>
- [2] American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Association.
- [3] Vygotski, L. (1985). Pensée et Langage. Paris : Éditions Sociales.
- [4] Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217-250.
- [5] Meiss, E., Tardif, C., Arciszewski, T., Dauvier, B., Gepner, B. (2015). Effets positifs d'une exposition à des séquences vidéo ralenties sur l'attention, la communication sociale et les troubles du comportement chez 4 enfants autistes sévères : une étude translationnelle pilote. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 63(5), 302-309.
- [6] Gepner B. (2001). "Malvoyance" du mouvement dans l'autisme infantile ? Une nouvelle approche neuropsychopathologique développementale. *La Psychiatrie de l'Enfant*, XLIV, 1, 77-126.
- [7] Gepner, B., Mestre, D. (2002). Rapid visual-motion integration deficit in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 455.
- [8] Tardif, C., Thomas, K., Gepner, B., Rey, V. (2002). Contribution à l'évaluation phonologique explicite chez des enfants autistes. *Parole*, 21, 35-72
- [9] Gepner, B., Féron, F. (2009). Autism: a world changing too fast for a mis-wired brain? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, 1227-1242.
- [10] Lainé, F., Tardif, C., Gepner, B. (2008). Amélioration de la reconnaissance et de l'imitation d'expressions faciales chez des enfants autistes grâce à une présentation visuelle et sonore ralentie. *Annales Médico-Psychologiques*, 166, 533-538.
- [11] Tallal, P., L.Miller, S., Bedi, G., Byrna, G., Wang, X., S.Nagarajan, S., Schreiner, C., M.Jenkins, W., M.Merzenich, M. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science, New Series*, 271, 5245, 81-84
- [12] Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., Gabrieli, J. D. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioural remediation:

evidence from functional MRI. Proc Natl Acad Sci USA, 100 (5), 2860-2865.

[13] Cordier, C. (2016). Etude de l'impact du ralentissement de la parole sur la compréhension d'enfants dysphasiques. Mémoire. Nancy : Université de Lorraine.

[14] Tardif C, Latzko L, Arciszewski T, Gepner B (2017). Reducing information's speed improves verbal cognition and behaviour in autism: a 2-cases report. Pediatrics. 139(6):e20154207

[15] Tardif, C., Gepner, B. (2012). Logiral [Logiciel PC]. <http://centrepsyche-amu.fr/logiral/>

[16] Tardif, C., Gepner, B. (2014). Logiral [Application IOS et Android]. Paris: Auticiel.

[17] Gepner, B. (2014). Autismes: Ralentir le monde extérieur, calmer le monde intérieur. Paris : Odile Jacob

[18] Lainé, F., Rauzy, S., Gepner, B. & Tardif, C. (2009). Prise en compte des difficultés de traitement des informations visuelles et auditives dans le cadre de l'évaluation diagnostique de l'autisme. Enfance,1, 133-41

[19] Boëhm, A.E (2009). Boëhm-3- Test des concepts de base. Evaluer 26 concepts fondamentaux de la PSM à la GSM. Paris : Pearson.

[20] Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). Nepsy-2, adaptation française, Bilan neuropsychologique de l'enfant, 2^{de} édition, Pearson Clinical & talent assessment.

[21] Santé publique France (2020). Autisme. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/sante-mentale/autisme>, consulté le 15/02/2021

ANNEXES

Exemple des 16 items sélectionnés au test des concepts de vase Boëhm 3. Les items sont ordonnés par difficulté croissante.

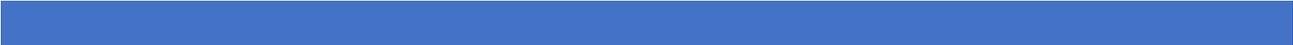
ITEMS	CONCEPTS
1	« MONTRE-MOI la tasse, MONTRE-MOI la chaussure, MONTRE-MOI le lapin »
2	Montre-moi le chien qui est SUR la boîte
3	Montre-moi le seau avec une grenouille DEDANS
4	Regarde les sucettes. Montre-moi LA PLUS GRANDE.
5	Montre-moi le chat qui est TOUT EN HAUT de la voiture.
6	Montre-moi l'arbre LE PLUS GRAND
7	Montre-moi TOUTES les chaussures.
8	Montre-moi le clown à qui IL MANQUE un chapeau.
9	Montre-moi la balle qui est SOUS la table.
10	Montre-moi la chaussure qui est DIFFERENTE.
11	Montre-moi l'enfant qui a son doigt VERS LE BAS.
12	Montre-moi la boîte avec des crayons AUTOUR.
13	Montre-moi l'enfant qui est LE DERNIER de la file.
14	Montre-moi la boîte avec PEU de frites.
15	Montre-moi la fille qui a les couettes LES PLUS COURTES.
16	Montre-moi LA PAIRE d'ours

Conclusion

Des études soulignent les difficultés dans l'imitation des enfants avec TSA (Rogers & Pennington, 1991). Le CHAT (*Checklist for Autism in Toddlers*, en anglais, Baron-Cohen et al., 2000) considère également le trouble imitatif comme l'un des six domaines spécifiquement déficitaires dans les TSA. Les personnes avec TSA auraient des difficultés à produire des expressions faciales et à les imiter, ainsi que des difficultés à comprendre ce que ressent autrui (réciprocité sociale), à se représenter les états mentaux d'autrui et à développer une théorie de l'esprit (Baron-Cohen et al., 1985). Or, nous avons vu que le ralentissement permettait une meilleure reconnaissance des mimiques faciales et induirait leur imitation (Gepner et al., 2001 ; Lainé et al., 2008a ; Lainé et al., 2008b ; Lainé et al., 2011 ; Tardif et al., 2007 ; Gepner et al., 2021) notamment en accroissant la durée de fixation visuelle sur le visage (Tardif et al., 2016 ; Charrier et al., 2014 ; Charrier et al., 2017 ; Gepner et al., 2020 ; Gepner et al., 2021). Ce type d'intervention précoce peut donc améliorer le fonctionnement social des élèves avec TSA. Ils ne présentent donc pas un déficit total d'imitation (Nadel, 2016), mais un mouvement difficilement perçu sera mal voire non imité. Nadel (2016) montre, par exemple, que des élèves avec TSA ont imité spontanément leur binôme sans particularité développementale lors de séances de jeux utilisant le même matériel. Elle montre également la place incontournable de l'imitation dans le processus d'entrée dans le langage, dans la communication et l'interaction.

Scarpa et ses collaborateurs (2012), dans une étude pilote, ont suivi pendant une année huit enfants âgés de 30 mois à 7 ans, non verbaux et pris en charge en hôpital de jour (n=5) ou au CMP (n=3). Les vingt-cinq séances, individualisées en fonction du niveau d'imitation de départ, avaient comme objectif central commun d'exercer le tour de rôle entre imiter et être imité (afin de favoriser la communication non verbale) tout en cherchant à améliorer les compétences imitatives. Les résultats montrent une augmentation des scores d'imitation, ainsi qu'une augmentation des comportements positifs (pour sept enfants). Cette étude est intéressante car elle prouve que des élèves avec TSA disposent de capacités à imiter et que si elles sont entraînées, elles peuvent amener à une communication sociale. Il s'agit d'une autre alternative possible pour développer l'imitation, à associer par exemple au ralentissement via *LOGIRAL*.

Le ralentissement de la vitesse semble donc améliorer les habiletés communicatives et imitatives des personnes avec TSA et il pourrait avoir des répercussions directes sur les interactions sociales. Il semble donc intéressant d'utiliser le ralentissement aussi bien dans milieu médico-social,



que scolaire et familial (Gepner et al., 2021). C'est la raison pour laquelle nous avons souhaité l'intégrer dans une application éducative visant à développer les compétences en littératie et en numératie émergentes d'élèves avec TSA. Enfin, dans le cadre de l'inclusion scolaire d'élèves avec TSA il est important que les personnels éducatifs de l'école mais aussi les proches surveillent leur débit de parole et leurs mouvements, car dans le rapport naturel et spontané à l'enfant c'est la personne en interaction qui doit ralentir elle-même les stimuli.

Le cinquième chapitre présentera ainsi une application éducative, *AppLINOU+*, destinée à développer des compétences scolaires chez des élèves avec TSA, âgés de 4 à 6 ans, inclus dans les écoles maternelles. L'application a été testée selon une méthode expérimentale auprès de 36 élèves ; une partie de ces élèves a utilisé *AppLINOU+* dans sa version ralentie, c'est-à-dire en bénéficiant d'un ralentissement de 30% des éléments langagiers. C'est la première fois qu'une telle approche est adoptée au niveau préscolaire en France. Les résultats de l'expérimentation, très encourageants, seront présentés au sein d'un article qui a été soumis à un comité de lecture.

Chapitre 5 - *AppLINOU+* : une application pour développer des compétences en littératie et numératie émergentes

Dès leur plus jeune âge, les enfants développent des compétences en littératie émergente (LE) et numératie émergente (NE) (par ex., Krajewski & Schneider, 2009 ; Whitehurst & Lonigan, 1998). Une compétence est dite émergente si elle est présente dès la période préscolaire et si elle est corrélée et prédictive des compétences ultérieures (Lonigan & Shanahan, 2009). De nombreuses recherches montrent que les compétences en LE et en NE permettent de prédire les compétences scolaires ultérieures (Duncan et al., 2007 ; Jordan et al., 2009 ; National Early Literacy Panel [NELP], 2008). Les enfants qui éprouvent des difficultés à maîtriser les compétences en LE et en NE progressent généralement moins rapidement que leurs pairs aux compétences plus solides (Aunola et al., 2004 ; Hooper et al., 2010). Des interventions spécifiques peuvent aider les enfants d'âge préscolaire à acquérir et à maîtriser les compétences en LE et en NE (Borre et al., 2019 ; Nelson & McMaster, 2019). Ces dernières années ont vu le lancement de plusieurs interventions avec des applications éducatives sur des tablettes à écran tactile (par ex., Griffith et al., 2020 ; Neumann, 2018 ; Outhwaite et al., 2017, 2019).

Après avoir défini les compétences en LE et NE, et particulièrement leur développement auprès des élèves avec TSA, ce cinquième chapitre présentera les objectifs du projet LINUMEN (Littératie et NUMératie Émergentes par le Numérique). Ce projet, mené au sein de l'Université de Lorraine, est à l'origine du développement des applications *AppLINOU* (Apprendre avec *Linou*) et *AppLINOU+* (Apprendre avec *Linou* pour les élèves à besoins éducatifs particuliers), qui visent le développement de compétences en littératie et en numératie émergentes auprès des enfants âgés de 4 à 6 ans. *AppLINOU+* est une version adaptée aux élèves avec TSA, scolarisés en inclusion dans les écoles maternelles. *AppLINOU* fait partie des rares applications françaises développées par une équipe universitaire pour des enfants d'âge préscolaire (Horaeau et al., 2020).

Ce chapitre présentera également l'expérimentation pour évaluer l'efficacité d'*AppLINOU+*. Comme l'ont souligné plusieurs auteurs, les études évaluant les liens possibles entre l'utilisation d'applications éducatives et l'apprentissage des enfants doivent suivre une méthodologie expérimentale ou quasi-expérimentale (Hassler et al., 2015). Par conséquent, nous avons adopté une approche quasi-expérimentale pour évaluer si les séances en classe utilisant *AppLINOU+* aident les élèves avec TSA à améliorer leurs compétences en LE et en NE.

5.1 Le développement des compétences en littératie et numératie émergentes

La LE et la NE regroupent les premières compétences destinées à favoriser l'apprentissage du langage oral et des mathématiques. Ces compétences émergentes se développent avant l'entrée en CP et sont prédictives des compétences ultérieures et de la réussite scolaire. Nous définirons plus précisément la LE et la NE en expliquant les composantes de chacune de ces deux activités. Enfin, nous verrons comment se développent les compétences en LE et NE auprès des élèves avec TSA.

5.1.1 La littératie émergente

C'est à Clay (1966) qu'il convient d'attribuer le premier usage de l'expression *emergent literacy*, en anglais, alors qu'elle cherchait à prévenir les difficultés rencontrées par de jeunes enfants dans l'apprentissage de la lecture et de l'écriture (Clay, 1979). Godman (1967) cherchera également à identifier les stratégies d'entrée dans l'écrit de jeunes enfants et elle conclut que la prise de conscience des fonctions de l'écrit précède l'apprentissage de la lecture (Godman & Godman, 1979). Ainsi, les enfants reconnaîtront d'abord globalement l'écrit et ses fonctions avant d'apprendre à décoder ses différentes composantes linguistiques.

Teale & Sulby (1986) ont défini la LE comme les compétences, les connaissances et les attitudes qui apparaissent avant le développement des activités formelles de lecture et d'écriture. Ces auteurs soulignent l'importance des interactions et des pratiques parentales et montrent que les compétences en LE seraient prédictives de la réussite ultérieure en lecture. Duncan et ses collaborateurs (2007) partagent également cette dernière conclusion et montrent que le langage émergent et les compétences émergentes en lecture seraient des prédicteurs des futurs apprentissages. Ainsi, les dimensions du langage oral, de la connaissance des lettres et de la conscience phonologique sont particulièrement prédictives des compétences de littératie ultérieures et ont été étudiées le plus fréquemment (Catts et al., 2015 ; Lonigan et al., 1998 ; Piquard-Kipffer & Sprenger-Charolles, 2013 ; Porta & Ramirez, 2019).

a) *Le langage oral : vocabulaire et compréhension orale*

Les compétences de langage oral font référence à des capacités liées au vocabulaire et à la compréhension orale. Le vocabulaire comprend les mots utilisés et compris dont dispose une personne et se différencie du lexique qui s'étend à tous les mots. Il inclut à la fois ce que l'apprenant comprend (vocabulaire passif ou en réception) et celui qu'il est capable de produire (vocabulaire actif

ou en production). Huttenlocher et ses collaborateurs (2010) ont montré que l'environnement de l'enfant influence ses capacités de langage : les enfants issus d'un milieu socio-économique défavorisé ont un langage plus restreint et de moins bonne qualité. Au sein des familles ou à l'école, les lectures partagées seraient un bon vecteur pour développer le vocabulaire (Grover et al., 2020) ; la répétition d'un même livre favorise aussi cette acquisition (Robbins & Ehri, 1994). Le vocabulaire est lié à la réussite dans l'apprentissage de la lecture (Snow et al., 1998). Il serait également prédictif du niveau de conscience phonologique car les enfants ont plus de facilité à manipuler oralement les mots connus. Concernant la compréhension orale, il s'agit de la capacité à interpréter l'information qui est lue. Cette capacité est étroitement liée aux connaissances antérieures du lecteur, notamment aux compétences en langage oral qui sont des conditions préalables à la lecture et à la compréhension (Massonnié et al., 2019). Ainsi, les compétences en langage oral des enfants prédisent positivement leurs performances en orthographe ainsi qu'en expression écrite en CP (Cabell et al., 2021). De plus, leurs compétences en compréhension orale ont un impact sur la lecture avec compréhension (Bianco et al., 2010 ; Kendeou et al., 2007).

b) La connaissance des lettres et la conscience phonologique

La connaissance des lettres, puissant prédicteur de la réussite en lecture (Foulin, 2007 ; Puranik et al., 2011) comprend la reconnaissance visuelle des lettres en majuscules et minuscules, la dénomination du nom et des sons de celles-ci ainsi que la capacité à les écrire. La capacité à nommer les lettres prédit à la fois la reconnaissance des mots (Negro & Genelot, 2009) et la future compréhension en lecture (Schatschneider et al., 2004). La connaissance du son des lettres, base du développement de la conscience phonologique (Huang et al., 2014) est également prédictive des compétences futures en lecture (Rabiner et al., 2016). La conscience phonologique peut être définie comme la capacité intentionnelle à manipuler des unités sonores du langage telles que la syllabe, la rime ou le phonème (Bose & Zagar, 2016) ainsi que toutes les opérations visant à permuter, retirer, ajouter des syllabes. Cette compétence se développe progressivement en partant d'unités larges vers des unités plus petites et abstraites comme le phonème. Les connaissances de l'écrit sont corrélées à la conscience phonologique (Disckinson et al., 2003), l'écriture du prénom ou de lettres isolées (Puranik et al., 2011). De plus, de nombreuses études montrent que la connaissance des lettres et la conscience phonologique entretiennent un lien d'action réciproque (Burgess & Lonigan, 1998). En effet, les enfants en difficulté en lecture connaissent moins de lettres de l'alphabet que des enfants lecteurs (De Jong & Olson, 2004). Enfin, les compétences des jeunes enfants en matière de conscience

phonologique semblent les meilleurs indicateurs des performances futures en matière de lecture (Lonigan et al., 1998) ou d'orthographe (Kim et al., 2014)

5.1.2 La numératie émergente

Les compétences mathématiques précoces regroupent plusieurs domaines comme le calcul, la géométrie, la modélisation et la résolution de problèmes (Jordan et al., 2007 ; NMAP, 2008 ; NRC, 2009). Ces compétences précoces, même si elles sont distinctes, se développent en interaction pour construire les compétences mathématiques plus avancées (Aunola et al., 2004 ; Purpura et al. 2013). Plusieurs auteurs s'accordent à dire que le passage des connaissances mathématiques informelles acquises essentiellement dans la vie quotidienne aux connaissances mathématiques enseignées à l'école est un moment particulièrement important dans le développement mathématique (Ginsburg, 1975 ; Greenes, et al., 2004). Cette transition commence à la maternelle lorsque les enfants commencent à apprendre le système de numération écrit.

a) *Les connaissances mathématiques informelles*

Les connaissances mathématiques informelles sont composées des compétences généralement acquises avant ou en dehors de l'école, souvent dans des situations de la vie quotidienne. Elles se caractérisent par l'utilisation de techniques non conventionnelles, et de stratégies auto-inventées plutôt que des symboles ou algorithmes conventionnels (Ginsburg, 1977). Bien que les aspects des connaissances mathématiques informelles souvent ne nécessitent pas d'instruction spécifique à l'école, ces compétences peuvent être améliorées par un enseignement ciblé (par ex., Baroody et al., 2009).

Purpura et ses collaborateurs (2013) en référence aux travaux de Krajewski & Schneider (2009) ont distingué trois niveaux de développement des compétences mathématiques informelles. Le premier niveau concerne les compétences de base. Il s'agit de distinguer et de comparer des quantités et d'apprendre à réciter la chaîne verbale numérique. Le deuxième niveau consiste à appliquer la séquence de comptage à des ensembles fixes via le comptage un à un et de relier des mots de nombres et des quantités spécifiques via la connaissance du principe cardinal et la subitisation verbale (*verbal subitizing* en anglais). Il s'agit de la capacité de comprendre que chaque mot numérique représente une quantité distincte par exemple, « trois » représente ●●●. Le troisième et dernier niveau concerne les opérations sur les nombres verbaux. Il s'agit de comprendre que les actions (ajout ou suppression) sur les nombres présentés verbalement peuvent les affecter.

Le dénombrement consiste à être capable de dire le nombre d'éléments d'un groupe. Avant de pouvoir le faire, les enfants doivent assimiler plusieurs principes. Ainsi, ils doivent comprendre que chaque élément d'un groupe n'est compté qu'une seule fois, que les mots-nombres sont toujours utilisés dans le même ordre (un, deux, trois, quatre, etc.) et que le dernier nombre compté indique le nombre total d'objets du groupe, ce qui renvoie à la propriété cardinale des nombres (Gelman & Gallistel 1978). L'énumération nécessite également l'acquisition de la chaîne de comptage orale au « niveau cassable » dans la séquence des quatre niveaux d'organisation de Fuson et ses collaborateurs (1982). Au niveau cassable, les enfants peuvent réciter la chaîne de comptage verbale ou une partie de celle-ci à partir de n'importe quel mot-nombre de la séquence. Enfin, être capable de compter le nombre total d'éléments est également nécessaire pour comparer des groupes lorsque l'estimation est insuffisante (Halberda & Feigenson 2008).

b) Les connaissances du nombre

L'acquisition de la connaissance des nombres commence par l'apprentissage des noms des nombres, c'est-à-dire la capacité d'identifier ou de nommer les chiffres arabes. Cette connaissance permet aux enfants de voir la correspondance entre les nombres écrits et les groupes d'objets. La capacité des enfants à identifier des nombres écrits et à les associer à des mots et à des quantités numériques est un indicateur puissant des futures compétences en mathématiques formelles (Clarke & Shinn 2004 ; Chard et al., 2005 ; Lembke & Foegen 2009). Cependant, comme l'ont noté Baroody & Wilkins (1999), même si l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des chiffres est l'une des premières étapes du développement des compétences formelles en numératie, la connaissance des chiffres ne peut être considérée comme une connaissance formelle ou informelle car elle ne correspond strictement à aucune définition de la numératie formelle ou informelle.

La connaissance des chiffres commence à se développer très tôt après que les enfants ont commencé à acquérir certaines compétences informelles en matière de numératie, telles que le comptage verbal et la capacité à faire correspondre des quantités à des mots numériques (Krajewski & Schneider, 2009 ; Sarama & Clements 2009). Une fois que les enfants comprennent et reconnaissent que les chiffres sont distincts des autres symboles (par ex., ils peuvent faire la différence entre les chiffres et les lettres), ils peuvent commencer à associer les noms des chiffres aux symboles écrits. Environ un quart des enfants de 4 ans peuvent identifier les chiffres de 1 à 9 (Ginsburg & Baroody 2003), et certains enfants commencent à reconnaître les premiers chiffres (par ex., 1 et 2) alors qu'ils n'ont que 18 mois (Fuson, 1988 ; Mix, 2009 ; Sarama & Clements 2009).

c) Les connaissances mathématiques formelles

Les connaissances mathématiques formelles comprennent les compétences enseignées à l'école : l'utilisation de la notation numérique écrite conventionnelle (par ex., les chiffres arabes et les signes des opérations) ainsi que des algorithmes écrits (Ginsburg, 1977). Cet aspect ne sera pas abordé dans cet article étant donné que ce sont des apprentissages qui se réalisent essentiellement à partir du CP dans le système éducatif français.

5.1.3 Le développement des compétences en LE chez les élèves avec TSA.

Nous venons de voir que la connaissance des lettres de l'alphabet et la capacité à identifier et produire leur son est un puissant prédicteur de la qualité de l'apprentissage ultérieur en lecture (National Early Literacy Panel, 2008). Plusieurs études soulignent que les élèves avec TSA ne seraient pas en difficulté dans la reconnaissance des lettres de l'alphabet (Dydia et al., 2014 ; Dydia et al., 2016 ; Lanter et al. 2012 ; Westerveld et al. 2017) mais davantage dans les connaissances liées à l'écrit.

a) L'étude de Dydia et ses collaborateurs (2014)

Dydia et ses collaborateurs (2014) ont comparé des enfants d'âge préscolaire dans des épreuves de littératie émergente. Ces 35 enfants, âgés de 53 mois, avec TSA, sont comparés à des enfants au développement typique, âgés de 54 mois. Ils ont un niveau de langage moyen mais inférieur aux enfants du groupe contrôle. Ils sont soumis à quatre épreuves : reconnaissance des lettres (un examinateur montre une lettre en majuscules ou minuscules et l'enfant doit la nommer), connaissances de l'écrit (on raconte une histoire à l'enfant et on lui demande, par exemple, de montrer où il faut commencer à lire), vocabulaire (les enfants étiquettent des images d'objets et répondent ensuite à une question portant sur la fonction ou la définition de l'objet) conscience phonologique (les enfants doivent retirer, combiner des syllabes). Les résultats montrent que les élèves avec TSA d'âge préscolaire ont des capacités d'identification des lettres significativement plus élevées que des enfants au développement typique et des compétences dans le domaine des connaissances de l'écrit plus faibles (voir tableau 8) Néanmoins, les écarts types importants révèlent de grandes disparités entre les enfants ; ce qui montre bien le profil hétérogène des élèves avec TSA et la diversité du spectre autistique. Les résultats aux épreuves de vocabulaire et de conscience phonologique sont aussi inférieurs par rapport aux enfants du groupe contrôle.

Tableau 8.

Résultats des élèves avec TSA (ASD) comparés à des enfants au développement typique (Peer sample) aux épreuves de LE (d'après Dynia et al., 2014).

Mesure	ASD sample (n = 35)			Peer sample (n = 35)			Cohen's d
	M	SD	Range	M	SD	Range	
Alphabet knowledge	27.3	21.2	0-52	23.7	19.0	0-52	-0.18
Print-concept knowledge	3.1	2.6	0-12	7.7	3.9	1-16	1.14
Definitional vocabulary	20.5	16.2	0-57	53.4	7.5	38-65	1.73
Phonological awareness	4.4	4.9	0-19	15.6	5.5	2-26	1.89

b) *Les études Westerveld et ses collaborateurs (2017 ; 2020)*

Westerveld et ses collaborateurs (2017) ont mené la première enquête sur les performances de LE de jeunes élèves avec TSA avant leur entrée à l'école. Durant 10 mois, ils ont soumis 57 enfants âgés de 4 à 5 ans à des épreuves issues du *Phonological Awareness Literacy Screening for Preschoolers* (PALS-PreK, en anglais ; Invernizzi et al., 2015). Dans l'épreuve de connaissance des lettres de l'alphabet, l'enfant doit les nommer (lettres en capitales). Il doit ensuite prononcer leur son. En conscience phonologique, il s'agit de répéter un mot en insistant sur la première syllabe puis de la répéter. Dans le domaine des connaissances de l'écrit, l'enfant doit identifier des mots sur une page et lire de gauche à droite. D'autres épreuves consistent à écrire son prénom, à se dessiner, à nommer des objets et des couleurs (vocabulaire productif) ou à montrer des images parmi un ensemble de quatre (vocabulaire réceptif). Les enfants écoutent ensuite une première fois une histoire qu'ils peuvent suivre avec des images et ils doivent répondre à des questions de compréhension. Une nouvelle écoute les encourage à raconter l'histoire sans utiliser les images. Les auteurs ont également souhaité savoir si le milieu familial et les lectures partagées avaient une influence sur les compétences en LE. Aussi, ils ont soumis un questionnaire aux parents pour connaître la fréquence de lectures partagées. La variabilité des résultats est importante. Tout d'abord, les auteurs ont constaté des difficultés dans les tâches liées au sens (compréhension et production orale), or ces compétences sont fortement liées à la compréhension en lecture (Bishop & Adams, 1990). À l'inverse, les élèves avec TSA présentent des forces dans les activités liées au code, essentiellement dans la connaissance des lettres de l'alphabet comme l'ont également montré Dynia et ses collaborateurs (2014). Les auteurs mettent en lien ce résultat avec la symptomatologie des TSA et supposent que les intérêts et comportements restreints répétitifs ont pu amener certains enfants à exceller dans cette activité. Cette hypothèse rejoint la théorie de faiblesse de cohérence centrale du traitement cognitif (Happé & Frith,

2006) qui amène à une attention fine portée aux détails. À la différence des résultats de Dynia et ses collaborateurs (2014), les auteurs constatent que les élèves avec TSA ne rencontrent pas de difficulté particulière dans l'épreuve de conscience phonologique, sans doute en raison du contenu de l'épreuve. En effet, Dynia et ses collaborateurs (2014) ont mesuré la capacité à retirer une syllabe et à mélanger les syllabes, alors que dans cette présente étude, il s'agissait de repérer la syllabe d'attaque d'un mot qui est maîtrisée beaucoup plus tôt par les enfants au développement typique (Lonigan et al., 1998). Enfin, concernant les résultats dans les connaissances de l'écrit, ils sont faibles et conformes à d'autres études (Dynia et al., 2014 ; Lanter et al., 2012). Concernant le lien avec les pratiques parentales, la grande variabilité des réponses peut biaiser les résultats. En effet, 70% des parents ont déclaré faire la lecture à leurs enfants souvent ou très souvent et 26% parfois. Ainsi, il n'y aurait pas de corrélation positive entre la fréquence des histoires partagées et le vocabulaire, ni avec la connaissance des lettres. Une faible corrélation positive est présente pour la narration orale. En séparant le groupe en fonction de leur niveau de cognition non verbale (seuil fixé à 70 selon Yang et al., 2016), ils ont constaté que le groupe ayant un plus faible niveau cognitif non-verbal réussit aussi bien l'activité de dénomination des lettres (LNK) et de conscience phonologique (PA), compétences liées au code, alors que ces enfants sont en difficulté dans les épreuves nécessitant les compétences liées au sens, comme l'épreuve de compréhension orale (ONC) par exemple (voir tableau 9). Ce résultat confirme que les élèves avec TSA lecteurs peuvent arriver à lire mais en éprouvant des difficultés de compréhension.

Tableau 9

Comparaison des scores en LE entre les élèves avec TSA en fonction du niveau cognitif non verbal (d'après Westerveld et al., 2017).

	Nonverbal cognition < 70	Nonverbal cognition ≥ 70	Effect size in η^2
<i>n</i>	21	36	
Age in months	58.38 (5.98)	57.19 (6.24)	.009
SCQ	15.19 (5.38)	16.14 (6.01)	.006
Code-related			
Name writing	2.48 (1.83)	4.50 (2.41)	.167*
LNK	13.71 (10.80)	17.50 (10.22)	.031
LSK	5.33 (8.10)	11.03 (9.10)	.093*
PA	5.52 (3.86)	7.50 (3.93)	.058
PWA	3.19 (2.64)	6.22 (2.96)	.215*
Meaning related			
PPVT- raw scores	49.95 (16.58)	73.03 (20.78)	.255*
ONC	0.29 (0.56)	2.06 (1.90)	.239*
ONQ	3.86 (5.88)	8.44 (8.17)	.084*

Note. LNK = letter name knowledge; LSK = letter sound knowledge; PA = phonological awareness; PWA = print and word awareness; PPVT-4 = Peabody Picture Vocabulary Test, 4th edition; ONC = oral narrative comprehension; ONQ = oral narrative quality.

* $p < .05$

Enfin, les traits autistiques mesurés au moyen du Social Communication Questionnaire (Rutter, et al., 2003), bien que modérément corrélés avec la connaissance des lettres ne prédisent pas de manière significative les compétences de littératie émergente liées au code des enfants. L'étude récente de Westerveld et ses collaborateurs (2020) corrobore ces résultats. Ils ont comparé 36 élèves avec TSA âgés de 4 ans à 36 enfants au développement typique du même âge, tous non scolarisés, et n'ont constaté aucune différence significative dans la connaissance des noms et des sons des lettres. Ils constatent également un goût identique pour les lectures partagées à la maison. L'hyperlexie, c'est-à-dire des capacités de lecture acquises très tôt en l'absence d'un enseignement explicite, ne caractériserait donc pas ce groupe d'élèves avec TSA. Par ailleurs, Macdonald et al. (2021) ont montré que les élèves avec TSA et hyperlexiques avaient des difficultés en conscience phonologique.

c) L'étude de Solari et ses collaborateurs (2021)

Solari et ses collaborateurs (2021) suggèrent des recherches supplémentaires sur l'émergence des compétences phonologiques des élèves avec TSA qui, avec leurs profils variés très spécifiques, peuvent manifester de bonnes compétences en lecture mais avec des compétences différentes en matière de codage/décodage et de conscience phonologique. Ils ont ainsi mené une étude avec 616 élèves avec TSA d'un âge moyen de 5,71 ans, testés à l'automne et au printemps, comparés à 735 élèves au développement typique. Le PALS-PreK (Invernizzi et al., 2015) a été utilisé pour évaluer les compétences de littératie précoce des enfants en mesurant la conscience phonologique, la connaissance alphabétique et orthographique. Les résultats à l'automne montrent que les élèves avec TSA ont eu des résultats nettement inférieurs au niveau de la conscience phonologique (identification de mots qui commencent ou se terminent par le même son), et très légèrement supérieurs par rapport au groupe des enfants au développement typique pour la connaissance de l'alphabet des minuscules ou la reconnaissance des lettres et des mots. Au printemps, les élèves avec TSA ont eu des résultats significativement inférieurs à toutes les épreuves (voir tableau 10). Néanmoins, Solari et al. (2021) insistent sur la grande hétérogénéité des performances de ce groupe et dans leurs compétences variées en LE.

Tableau 10.

Comparaison des résultats des élèves avec TSA (ASD) et au développement typique (TD) au printemps et à l'automne (Solari et al., 2021)

Variable	ASD (N=616)				TD (N=735)			
	Fall		Spring		Fall		Spring	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Rhyme	5.67***	3.32	7.71***	3.09	8.01	2.80	9.58	1.33
Alliteration	6.05***	3.34	8.32***	2.75	7.93	2.62	9.70	1.02
LC alpha	21.15	7.62	24.46**	4.53	20.64	6.81	25.58	1.41
Ltr-snd	15.84	8.76	22.09**	6.38	15.04	7.52	24.55	2.56
Spelling	7.43**	7.41	14.63***	6.52	8.21	6.18	17.88	3.26
Word rec	4.33**	3.29	7.68***	3.31	3.97	3.04	8.83	2.16

Ces résultats suggèrent que des élèves avec TSA peuvent connaître les lettres de l'alphabet mais qu'un soutien particulier est nécessaire pour l'apprentissage de la phonologie. Ils montrent également les grandes variabilités d'apprentissage et la nécessité de proposer une évaluation diagnostique afin que les enseignants puissent mieux prendre en charge ces élèves à besoins éducatifs particuliers. Ces différentes études soulèvent également des points forts et des faiblesses dans les compétences en LE des élèves avec TSA qu'il est nécessaire d'identifier afin de proposer des interventions précoces efficaces.

5.1.4 Le développement des compétences en NE chez les élèves avec TSA.

Il existe peu de recherches sur l'acquisition des compétences en NE des enfants avec TSA (Praet et al. 2013 ; Titeca et al., 2014). Certaines études montrent par exemple que ces enfants éprouveraient des difficultés dans la résolution de problèmes (Dutillieux, 2008) alors que d'autres auteurs évoquent des capacités en résolution de problèmes numériques supérieures aux enfants au développement typique (Iuculano et al., 2014).

a) Des résultats divergents

Certaines études soutiennent que les capacités mathématiques des enfants avec TSA sont moyennes ou similaires à celles de leurs pairs au développement typique (Titeca et al., 2014). En effet, Titeca et ses collaborateurs (2014) ont comparé les résultats de 33 enfants avec TSA à 54 enfants au développement typique à cinq valeurs prédictives en mathématiques lorsque ces enfants étaient en grande section. Tous les participants ont un QI supérieur à 80. La figure 18 ci-dessous (voir figure 18) montre les résultats dans les activités de subitizing (*verbal subitizing*, en anglais), de

dénombrement/comptage (*counting*, en anglais), de comparaison (*magnitude comparison*, en anglais) et d'estimation des quantités (*estimation*, en anglais) ainsi qu'aux opérations arithmétiques (*arithmic operations*, en anglais). Les résultats ne révèlent aucune différence significative au sein des deux groupes. Par ailleurs, ces auteurs affirment que le subitizing et le comptage seraient des prédicateurs de bonne réussite en mathématiques.

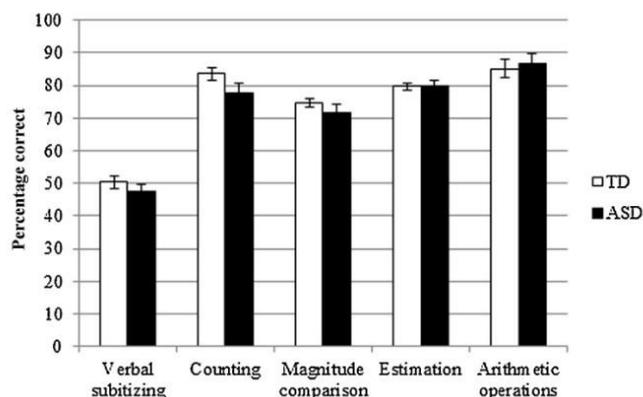


Figure 18

Comparaison des résultats aux cinq épreuves de mathématiques entre des élèves avec TSA (ASD) et des élèves au développement typique (TD)

De même, Mayes & Calhoun (2003) n'ont constaté aucune différence significative dans le QI ou les résultats en mathématiques lors d'un test de rendement normalisé chez des enfants de 3 à 7 ans avec TSA et leurs pairs au développement typique. Enfin, Chiang & Lin (2007), à partir d'une revue de la littérature n'incluant que des personnes avec syndrome d'Asperger ou des personnes à haut potentiel intellectuel, montrent également que la majorité des élèves avec TSA ont des capacités mathématiques qui se situent dans la moyenne par rapport aux élèves au développement typique. Dutilieux (2008) évoque un profil particulier marqué par des pics et des creux selon les compétences ciblées. En étudiant le cas de quatre enfants scolarisés en inclusion à l'école élémentaire (de la GS au CE2), Dutilieux (2008) a constaté des forces dans les activités mathématiques (mémoriser et reproduire des algorithmes, connaissances de la ligne numérique) et des faiblesses, notamment dans la résolution de problèmes. Les difficultés de compréhension, de modélisation ou de planification seraient la source des difficultés. Les résultats des études peuvent donc être très variables. À l'inverse, dans une étude concernant des élèves plus âgés Iucalano et ses collaborateurs (2014) montrent que 18 enfants porteurs avec de TSA âgés de 7 à 12 ans auraient des capacités en résolution de problèmes numériques supérieures à 18 enfants au développement typique. Les groupes ont été appariés selon l'âge, le sexe et le QI.

b) Des évaluations rares

Malgré le fait que les mathématiques soient l'un des domaines les plus étudiés pour l'enseignement des compétences académiques aux étudiants porteurs de handicaps (Spooner et al., 2017) il existe peu de programmes d'enseignement structurés et complets de la numératie pour les enfants présentant des déficiences intellectuelles (Grindle et al., 2020). Tzanakaki et ses collaborateurs (2014) ont mené une étude pilote, d'une durée de 12 semaines, avec 24 élèves atteints de déficience intellectuelle grave et/ou d'autisme. Ils ont été répartis de manière aléatoire en deux groupes. Un des groupes a accédé à l'intervention TEN-DD (*Teaching Early Numeracy to children with Developmental Disabilities*, en anglais, Grindle et al., 2020) et l'autre groupe a reçu un enseignement traditionnel des mathématiques. L'intervention TEN-DD est issue du programme Maths Recovery (MR), une intervention de numératie initialement créée pour les élèves de l'école primaire à faible niveau de développement typique (Wright et al., 2012). Il s'agit d'une intervention intensive à court terme (généralement utilisée pendant 12 semaines au maximum à raison de quelques séances individualisées par semaine) créée pour réduire l'écart de résultats entre les élèves ayant des difficultés en numératie et leurs pairs (Wright et al., 2012). Les résultats ont indiqué que le TEN-DD était plus efficace pour enseigner le calcul aux élèves que le programme de calcul standard de l'école.

5.2 Présentation du projet LINUMEN

L'application *AppLINO* (Apprendre avec *LINO*) a été développée à l'Université de Lorraine dans le cadre du projet LINUMEN (Littératie et NUMératie Émergentes par le Numérique). Le projet LINUMEN a été lauréat de l'appel à projet e-FRAN (Espaces de Formation, de Recherche et d'Animation Numérique) et s'inscrit dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir 2.

De nombreuses études se sont intéressées à l'utilisation des outils numériques pour les enfants de plus de six ans ; rares sont celles qui ont étudié ce potentiel avec des enfants d'âge préscolaire, c'est-à-dire scolarisés à l'école maternelle. L'objectif principal du projet LINUMEN vise à co-concevoir et à tester une application numérique afin de développer des compétences en LE et en NE chez des enfants âgés de 4 à 6 ans. Ce projet se décompose en deux phases principales : une première de co-conception (mars 2017- octobre 2018) et une seconde d'expérimentation en classe (octobre 2018 – juin 2021).

5.2.1 La phase de co-conception

a) *Le déroulement*

L'élaboration de l'application *AppLINO* a engagé de nombreux acteurs (chercheurs en psychologie, sciences de l'éducation, informatique, acteurs éducatifs tels qu'enseignants, formateurs, conseillers pédagogiques, inspecteurs), ainsi que la startup LearnEnjoy (développeur d'applications éducatives). Comme nous l'avons évoqué au chapitre 3 afin de dépasser la simple conception initiale des premières applications, l'équipe s'est appuyée sur les travaux de Kurcikova (2016) qui propose un modèle de co-conception appelé *Research Practice and Design Framework en* (en anglais, iRPD). Ce modèle allie tout d'abord une triple collaboration entre les chercheurs, les praticiens et les concepteurs avec des temps d'échanges réguliers. Un même socle de connaissances doit être partagé entre les trois types d'acteurs engagés, les facteurs socio-culturels qui peuvent limiter ou soutenir la collaboration sont pris en compte, un temps spécifique est prévu pour examiner les affordances de l'outil, enfin, la pédagogie est centrée sur l'enfant, considéré comme co-chercheur. Ce cinquième principe fait ainsi référence au rôle central et actif de l'enfant dans le développement, la pratique, la recherche et la conception d'application sur tablette.

En prenant appui sur ce cadre théorique, les différents membres du groupe de co-conception ont examiné des applications éducatives à destination des enfants d'âge préscolaire. L'examen a révélé qu'elles ne sont pas toutes dotées de qualités pédagogiques. Par exemple, il a été constaté un manque d'explicitation dans les consignes et une présence importante d'éléments distrayeurs pour l'enfant.

Après cet examen, cinq qualités ont été retenues pour le développement d'*AppLINO*.

1° Les activités proposées sont tout d'abord adaptées au programme de l'école maternelle (MEN, 2021).

2° Les activités sont progressives sur cinq périodes allant de la moyenne section à la grande section de maternelle.

3° Des qualités pédagogiques sont également respectées comme l'annonce de l'objectif, la présence de *feedbacks* et l'étayage. Les recherches montrent que l'enseignement explicite, structuré et précoce des compétences en LE et en NE dès la maternelle est un moyen efficace pour prévenir les difficultés d'apprentissage de la lecture, de l'écriture et du calcul (Dehaene, 2011 ; Fayol, 2018). L'annonce de l'objectif au début de chaque activité permet de rendre le contexte éducatif et l'intention d'apprentissage explicite pour l'enfant. Différents *feedbacks* permettent également un retour direct sur la réponse de l'enfant. Celui-ci peut être évaluatif, correctif, actif ou motivant. Ainsi, si l'enfant réussit, un *feedback* évaluatif positif est donné. S'il échoue, un *feedback* évaluatif négatif encourage

l'enfant à recommencer avant un étayage afin de l'amener à trouver la bonne réponse. En cas d'un second échec, un *feedback* correctif avec une correction détaillée est proposé.

4° L'application propose un aspect ludique avec un graphisme attrayant, des activités variées et contextualisées.

5° Enfin, l'ergonomie est adaptée à l'enfant de maternelle en favorisant son autonomie et une auto-évaluation est présente à la fin de l'activité.

b) L'application AppLINOU

AppLINOU fait partie des rares applications françaises développées par une équipe universitaire pour des enfants d'âge préscolaire (Hoareau et al., 2020). Elle comporte vingt activités travaillant différentes compétences de littératie et de numératie émergentes (voir Annexe 3 et Annexe 4). Les activités proposées recouvrent cinq périodes en proposant des exercices à la difficulté progressive et adaptée à l'âge des enfants (voir figure 19). Le passage d'une période à la suivante s'accompagne d'une augmentation du niveau de difficulté. Pour chaque période, chaque activité comprend en moyenne une quinzaine d'items de difficulté variable. Ces activités ont été conçues en se référant aux conditions à réunir pour que des applications aient un potentiel éducatif identifiées dans le modèle de Hirsh-Pasek et al. (2015). Elles sont proposées par une mascotte prénommée *LINO*. Cette mascotte est un petit animal animé (de type lémurien) qui apparaît à l'écran lors des présentations d'activité, des consignes et des feedbacks. Son rôle est d'expliquer à l'enfant ce qu'il va apprendre dans l'activité avant qu'elle ne commence (et donc de contribuer à la mise en sens), mais aussi de donner les feedbacks lors des exercices (contribuant notamment au maintien de l'engagement dans l'activité). Les activités de l'application proposent des manipulations simples et adaptées à l'enfant : drag-and-drop (glisser-déposer) et sélection d'images. D'autres fonctionnalités ont été introduites pour rendre le travail de l'enfant pédagogiquement intéressant. Un bouton de validation de la réponse choisie conduit l'enfant à faire une action supplémentaire qui lui laisse le temps de réfléchir par rapport au choix de sa réponse contrairement à une validation automatique.

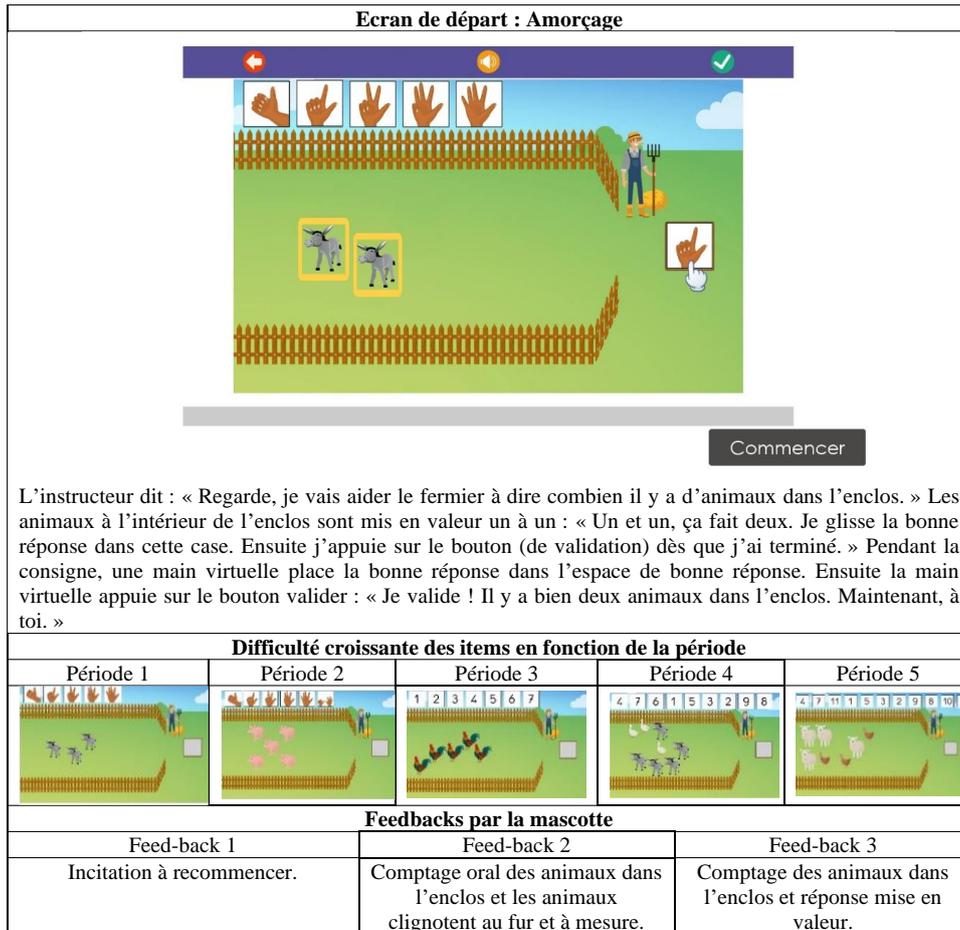


Figure 19.

Présentation de l'activité « L'enclos des animaux » et exemple des activités progressives d'AppLINOU (d'après Hoareau et al., 2020)

De même, un autre bouton permet à l'enfant de réécouter la consigne à tout moment. Par ailleurs, une barre de progression permet à l'enfant de se situer par rapport aux items et lui indique s'il a bientôt terminé l'activité ou non comme le montre la figure 20 ci-dessous.

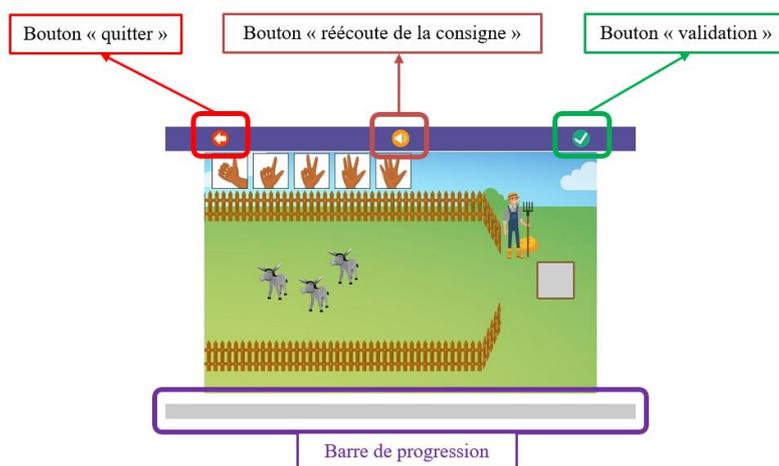


Figure 20.

Les Fonctionnalités d'AppLINOU (D'après Hoareau et al., 2020)

5.2.2 La phase expérimentale

L'application *AppLINOU* a été testée selon une méthodologie quasi-expérimentale. L'expérimentation a débuté en février 2019 avec des élèves de moyenne section de maternelle (âge moyen de 4,5 ans). Les élèves du groupe expérimental (GE) ont utilisé l'application en classe pendant dix semaines, en réalisant deux activités de littératie et deux activités de numératie chaque semaine lors de 20 séances de 20 minutes. Les séances ont suivi un ordre prédéfini, permettant aux élèves de développer des compétences de plus en plus complexes. Ces élèves ont de nouveau utilisé *AppLINOU* pendant quinze semaines au cours de leur année de grande section de maternelle (voir figure 21). Les élèves du groupe contrôle (GC) suivaient normalement les programmes sans modification ou autres indications pour les enseignants.

Les enseignants du GE étaient libres d'intégrer les sessions d'*AppLINOU* dans leur classe comme ils l'entendaient (par ex., en organisant les groupes d'élèves, en décidant du moment de la semaine où utiliser l'application). Cependant, ils devaient suivre le programme hebdomadaire prédéfini et mener les sessions en groupes de quatre à six élèves. Il a été demandé aux enseignants de laisser les élèves travailler en autonomie sur l'application mais de rester disponibles pour répondre à leurs questions. Afin de ne pas favoriser le GE par rapport au GC, les enseignants ont intégré le travail sur *AppLINOU* dans le temps scolaire alloué à la littératie et à la numératie émergentes. Afin d'évaluer la fidélité de l'implémentation, plusieurs informations laissées par les élèves lors de l'utilisation des applications ont été collectées (par ex., activités réalisées, temps passé sur chaque activité...). Les

analyses ont permis de montrer que 98 % des activités prévues au cours des 25 semaines d'expérimentation ont été réalisées.

En début de MS (T1) et en fin de MS (T2), les compétences en LE des élèves des deux groupes ont été évaluées avec l'EPLÉ (Echelle Préscolaire de Littératie Emergente ; Thomas et al., 2021a). Pour l'évaluation de la NE, les échelles développées par Thomas et ses collaborateurs (2021b) ont également été utilisées. En début de CP (T3), les scores des élèves aux évaluations nationales du début de CP en français et en mathématiques ont été utilisés.

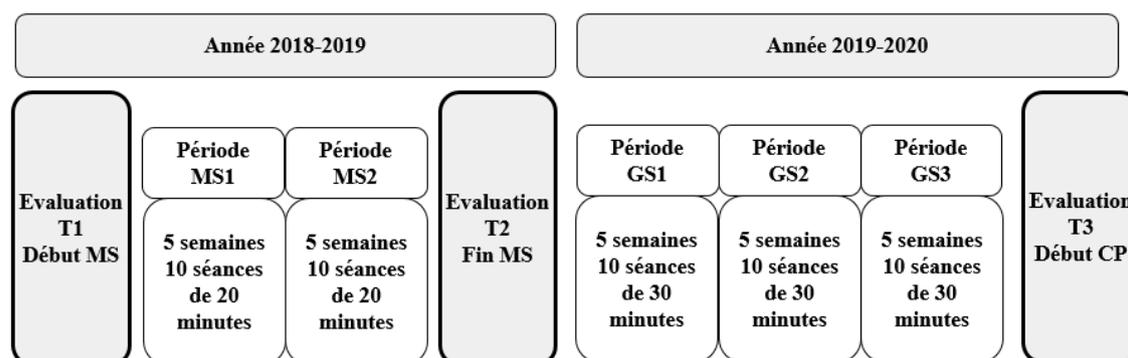


Figure 21.

Protocole expérimental du projet LINUMEN (d'après Tazouti et al., 2022)

En T2, les participants étaient 725 élèves de maternelle (356 filles et 369 garçons), âgés de 3,92 à 5,28 ans au début de l'expérience (moyenne = 4,42 ans, écart type = 0,29). Les élèves étaient répartis dans 32 écoles maternelles de Meurthe-et-Moselle : 19 dans le GE et 13 dans le GC. Afin d'obtenir une variabilité socioéconomique de l'échantillon, 22 % des élèves étaient scolarisés en REP (Réseau d'Education Prioritaire) et REP +. Le taux d'attrition s'est avéré faible puisque 750 élèves ont complété le pré-test (T1), 725 le premier post-test (T2) et 537 le second post-test (T3). Ainsi, l'attrition globale était de 28%.

Pour calculer l'effet de l'intervention, les auteurs ont utilisé le g de Hedges. Cette statistique est calculée de manière similaire au d de Cohen, mais le g de Hedges ajoute un facteur de correction pour les tailles d'échantillon plus petites (Hedges & Olkin, 1985). Pour le g de Hedges, *l'Institute of Education Sciences : What Works Clearinghouse*, en anglais, fixe le critère d'efficacité des interventions éducatives à une valeur de g supérieure ou égale à .20. Les résultats (voir tableau 11) ont montré que l'effet de l'intervention est modéré pour la LE et pour la NE (respectivement, $g = 0,37$ et $g = 0,23$) (Tazouti et al., en révision a et b).

Par ailleurs, les résultats des analyses du modèle de croissance multiniveau montrent que les élèves du groupe expérimental ont obtenu de meilleurs résultats que les élèves du groupe contrôle aussi bien en LE qu'en NE. L'intervention a donc permis d'améliorer les performances des élèves, qu'ils fréquentent une école REP ou une école non REP (Tazouti et al., en révision a et b).

Tableau 11.

Effets de l'intervention en LE et NE (Adapté de Tazouti et al. a et b, en révision)

		Groupe expérimental			Groupe contrôle			G de Hedges (T1 to T3)
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Total	numératie émergente	40(.16)	.59(.21)	.78(.14)	.40(.20)	.57(.20°)	.75(.16)	.23
Total littératie émergente		.32(.16)	.46(.18)	.79(.15)	.34(.16)	.45(.16)	.76(.16)	.37
Connaissance des lettres		.28(.25)	.46(.27)	.81(.17)	.30 (.26)	.46(.25)	.75(.21)	.33
Conscience phonologique		.13(.14)	.17(.22)	.73(.20)	.15(.14)	.22(.19)	.69(.20)	.30
Langage oral		.44(.19)	.56(.19)	.82(.15)	.47(.19)	.57(.17)	.82(.15)	.21

5.3 Adaptation d'*AppLINO* pour les enfants à besoins éducatifs particuliers

Lors de la conception de l'application *AppLINO*, nous nous sommes interrogés à la possibilité d'étendre ce dispositif en l'adaptant aux enfants à besoins éducatifs particuliers et en ciblant les élèves avec TSA. En effet, comme nous l'avons souligné dans le chapitre 3, de nombreuses études montrent l'appétence de ces enfants pour les tablettes numériques (Stephenson & Limbrick, 2015). De plus, elles permettraient le développement de compétences communicationnelles et émotionnelles (Allen et al., 2016 ; Fage et al., 2018), de compétences scolaires (Stasolla et al., 2016) ou encore de développer les interactions sociales (Briet et al., 2018). Philip et ses collaborateurs (2014) soulignent l'utilité de ce type d'outil pour favoriser l'inclusion scolaire des élèves avec TSA dans une optique de pédagogie différenciée. À terme, il est envisagé d'étendre cette application à tous les enfants à besoins éducatifs particuliers.

5.3.1 Le contexte

Le projet *AppLINOU+* est un projet qui intègre une composante forte de recherche fondamentale sur les apprentissages premiers des élèves avec TSA alliant les expertises de chercheurs de psychologie du développement et de sciences de l'éducation. L'implication des acteurs éducatifs est également importante, puisqu'ils se sont engagés dans le projet dès son lancement, en participant à la définition d'un outil adapté à leurs attentes. La composante de recherche est également importante, en partenariat avec une startup du domaine, Learn Enjoy, pour concevoir et produire un prototype robuste et performant, destiné à être utilisé dans les classes. Learn Enjoy est une équipe d'informaticiens, d'enseignants et de psychologues soutenue par le Ministère de l'Éducation Nationale qui a voulu répondre aux problématiques de l'inclusion en France. Enfin, un volet de formation des enseignants dans le cadre de l'INSPÉ (formation initiale) et avec les services académiques (formation continue) est envisagé. Les résultats du projet peuvent être également réinvestis dans les cursus de formation en psychologie, en science de l'éducation et auprès de la formation des psychologues de l'Éducation Nationale du centre de Nancy.

La constitution d'une équipe pluri-partenaires, multi-profils et interdisciplinaire, intégrant à la fois des chercheurs, des praticiens (enseignants et cadres de l'Éducation Nationale) et des ingénieurs, permet de garantir la conception d'approches innovantes répondant aux besoins réels des enseignants comme des élèves avec une perspective de diffusion à l'issue du projet *AppLINOU+*.

5.3.2 Les activités d'*AppLINOU+*

Par rapport à *AppLINOU*, le nombre d'activités en LE et en NE a été réduit à huit. Certaines étaient trop difficiles ou abstraites pour des élèves avec TSA. Leurs items ont été réduits à sept ou huit afin qu'une même activité ne dure pas trop longtemps. Le tableau ci-dessous (voir tableau 12) les récapitule en proposant les objectifs poursuivis ainsi que les modifications apportées par rapport à *AppLINOU*. Ces modifications concernent essentiellement la réduction du domaine numérique et la simplification de l'univers graphique.

Tableau 12.

Les activités proposées dans AppLINOU+

<p>NUMERATIE Nom</p> 	<p>Objectifs</p>	<p>Adaptation(s) AppLINOU+</p>
<p>NA1 : L'enclos des animaux</p> 	<p>- Quantifier des collections jusqu'à 10 - Lire les nombres écrits en chiffres jusqu'à 10</p>	<p>Réduction du domaine numérique (jusque 3 au niveau 1, jusque 5 au niveau 3, jusque 7 au niveau 4 puis 10)</p>
<p>NA2 : Le château</p> 	<p>- Dénombrer une collection - Donner le cardinal d'une collection</p>	<p>Le domaine numérique a été réduit (cf NA1) Le domaine graphique a été simplifié : suppression du comptage des portes et des fenêtres</p>
<p>NA3 : Retour vers l'enclos</p> 	<p>- Constituer une collection d'une taille donnée</p>	<p>Le domaine numérique a été réduit (cf NA1) L'activité de composition/décomposition a été supprimée ; les animaux arrivent un par un dans l'activité (et non par groupe)</p>
<p>NA4 : La balade en voiture</p> 	<p>- Comparer des quantités</p>	<p>Le domaine numérique a été réduit (cf NA1)</p>

<p>LITTERATIE Nom</p> 	<p>Objectifs</p>	<p>Adaptation(s) AppLINOU+</p>
<p>LA1 Le tambour des syllabes</p> 	<p>- Scander des syllabes orales</p>	<p>Uniquement des mots composés de 1 ou 2 syllabes et proches de l'univers des enfants aux niveaux 1 et 2 (chat, maison, ballon). On ne dépasse pas 3 syllabes aux autres niveaux</p>
<p>LA2 Les lettres en folie</p> 	<p>- Reconnaître les lettres de l'alphabet</p>	<p>Mots courts aux niveaux 1,2 et 3 uniquement en lettres capitales Niveau 4 en lettres minuscules Présence de l'écriture cursive uniquement en P5</p>
<p>LA3 Les mots</p> 	<p>- Construire et employer un vocabulaire de base de plus en plus précis, en réception.</p>	<p>Suppression du domaine 3 : Travailler Domaine 1 : S'habiller Domaine 2 : Manger Le domaine graphique a été simplifié : Réduction</p>

<p>LA4 Syllaborobot et la maison des rimes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître et manipuler les syllabes orales de mots - Identifier des rimes (niveaux 3, 4 et 5) 	<p>du nombre d'images sur l'écran</p> <p>Niveau 1 : pas de répétition de la syllabe</p> <p>Niveau 2 : uniquement répétition de la syllabe de fin</p> <p>Niveaux 3 à 5 : sons simples et bien différenciés</p>
--	--	---

5.3.3 Les fonctionnalités d'*AppLINOU+*

AppLINOU+, adaptée de l'application d'*AppLINOU*, intègre différentes stratégies reconnues pour faciliter l'apprentissage des élèves avec TSA telles que : 1° la nécessité de proposer des consignes simples (Murphy, 2006), 2° le besoin de répétition avec des consignes qui peuvent être réécoutées et des items redondants, 3° un univers épuré (Bertone & al., 2005), 4° des exercices progressifs et adaptés au niveau des élèves 5° ainsi que des *feedbacks* (Tarbox et al., 2006). Ces *feedbacks* sont donnés par une mascotte, LINOU ; elle agit comme un renforçateur positif. Par rapport à *AppLINOU+*, les amorçages et les consignes ont été réduites afin d'adapter au mieux l'application aux caractéristiques des élèves avec TSA.

Enfin, l'originalité de l'application réside dans le ralentissement de toutes les informations auditives. Nous avons vu dans le chapitre précédent les bénéfices du ralentissement pour l'accès aux informations des élèves avec TSA. Suite à l'étude de Tardif et ses collaborateurs (2017) qui a testé le ralentissement auprès de deux élèves avec TSA (âgés de 5 et 16 ans) et constaté une amélioration de la cognition verbale grâce à la réduction de l'information de 30%, nous avons opté pour cette même vitesse de ralentissement. Notre étude (Saleur et al., 2021) a également constaté que des enfants répétaient plus fidèlement et comprenaient mieux les consignes lorsque la vitesse de parole était réduite de 30%. Nous avons donc utilisé un logiciel pour ralentir toutes les informations auditives présentes dans *AppLINOU+*. Afin de mesurer les bénéfices de ce ralentissement dans notre expérimentation, un groupe d'élèves avec TSA bénéficiera de la version ralentie d'*AppLINOU+* contrairement au deuxième groupe expérimental. Les résultats de cette expérimentation sont présentés dans l'article suivant.

5.4. Article 3 - Les résultats de l'expérimentation (*AppLINOU+*)

De nombreuses recherches montrent que les compétences en littératie émergente et en numératie émergentes permettent de prédire les compétences scolaires ultérieures (par ex., Duncan et al., 2007 ; Jordan et al., 2009). Des interventions spécifiques peuvent aider les enfants d'âge préscolaire à acquérir et à maîtriser les compétences en littératie (Borre et al., 2019) et en numératie (voir Nelson et McMaster, 2018, pour une analyse). Plusieurs études récentes ont également évalué la capacité des applications éducatives sur tablette à les améliorer (par ex., Griffith et al., 2020 ; Outhwaite et al., 2017, 2019 ; Neumann, 2018). Cependant, la majorité de ces applications destinées aux enfants avec TSA se concentrent sur le développement de compétences communicatives (par ex. Lorah et al., 2015) ou sociales (par ex. Briet et al., 2018) et peu d'entre elles développent les apprentissages académiques (Koumpouros & Kafazis, 2019). C'est pourquoi, la présente étude vise à déterminer si l'utilisation d'*AppLINOU+* en classe aide les enfants âgés de 4 à 6 ans, avec TSA à améliorer les compétences en LE et NE. Il s'agit de la première étude quasi-expérimentale d'une application éducative menée dans des écoles maternelles en France auprès d'enfants avec TSA en inclusion scolaire. Nous avons montré au début de ce cinquième chapitre que les résultats en littératie émergente et en numératie émergente comparant des enfants avec TSA à leurs pairs au développement typique sont mitigés (Dynia et al. 2014, 2019 ; Lanter et al., 2012 ; Westerveld et al. 2020 ; Macdonald et al., 2021).

Dans cette étude, nous testons deux hypothèses.

1° Nous nous attendons à ce que les 27 élèves qui ont utilisé *AppLINOU+* en classe (groupes expérimentaux 1 et 2) fassent plus de progrès en LE et NE que les 9 élèves qui ne l'ont pas utilisé (groupe contrôle).

2° Nous nous attendons également à ce que les 14 élèves du groupe expérimental 2 qui ont bénéficié d'un ralentissement des informations auditives de 30% aient de meilleurs résultats en LE et NE que les 13 élèves du groupe expérimental 1 qui n'en ont pas bénéficié.

Après avoir recueilli le consentement des parents (voir Annexe 5), des mesures pré-tests ont été réalisées au mois de décembre dans chacune des écoles maternelles. Nous avons utilisé le WPPSI-4 (Wechsler, 2014) pour obtenir un indice du niveau global de fonctionnement intellectuel. La version française du PEP-3 (Schopler et al. 2021) a été retenue pour une évaluation des niveaux de développement cognitif (voir Annexe 6). Enfin, les compétences en LE des élèves ont été évaluées avec l'EPL (Thomas et al., 2021a) et les compétences en NE grâce aux échelles développées par Thomas et ses collaborateurs (2021b). Ces deux échelles ont également été utilisées pour les mesures



post-test (voir Annexe 7). Les résultats de ces évaluations ont permis de répartir les élèves dans chacun des trois groupes. Les ANOVA n'ont révélé aucune différence significative entre les groupes expérimentaux et le groupe contrôle pour les scores au PEP-3, WPPSI-4, LE et NE.

Un protocole expérimental a été soumis aux enseignants (voir Annexe 8) et un parcours individualisé a été proposé à chaque enfant (voir Annexe 9). Après 12 semaines d'expérimentation, à raison de quatre séances de 20 minutes par semaine (dont 10 minutes avec un pair au développement typique de la classe d'inclusion), les résultats ont confirmé notre première hypothèse. Les élèves des groupes expérimentaux ont obtenu de meilleurs résultats que les élèves du groupe contrôle. L'intervention (calculée avec le g de Hedges) a amélioré les performances des élèves en LE et en NE. En effet, en NE, les élèves du groupe expérimental ont progressé deux fois plus que les élèves du groupe contrôle, et en LE les progrès ont été six fois plus importants. Cependant, notre deuxième hypothèse n'est pas validée car nous n'avons trouvé aucune différence entre les groupes expérimentaux 1 et 2 et aucun impact du ralentissement. Nous discutons des raisons possibles de ce résultat et nous proposons des améliorations de l'application AppLINOU+.

Contribution of an Educational Classroom App to Enhancing early literacy and numeracy on French Preschoolers' ASD

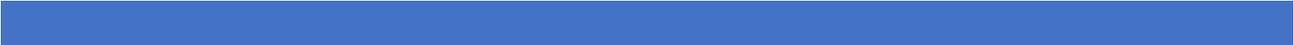
C. Saleur, Y. Tazouti, & C. Luxembourger

Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la Dynamique des Comportements
(2LPN, EA 7489) – 34 Cours Léopold, 54000 Nancy

Article à soumettre

Abstract : Recent research suggests that educational apps can help children with ASD develop their early literacy and early numeracy skills, but only if they incorporate certain pedagogical features. AppL+ is an early literacy and early numeracy app that was designed by a multidisciplinary team to meet these criteria. The present study assesses whether using AppL+ in the classroom helps Preschoolers' children with ASD improve their early literacy and early numeracy skills. This is the first quasi-experimental study of an educational application conducted in preschools in France with ASD children in inclusive education. The 36 children included in the study belonged to three experimental groups. Those in the experimental group 1 used AppL+ during their lessons; those in the experimental group 2 used AppL+ with slowing down of auditory stimuli and those in the control group did not use AppL+. The experiment lasted 12 weeks. The results showed that students in the experimental groups 1 and 2 performed better at the end of the experiment than those in the control group. In contrast, we found no difference between the experimental groups 1 and 2 and no impact of the slowing down in AppL+. We discussed possible reasons for this result and we are looking for other ways in which AppL+ could be improved.

Keywords: educational app, early literacy, early numeracy, ASD, school inclusion,



There is now a large body of research showing that early literacy (EL) and early numeracy (EN) skills predict later academic skills (e.g., Duncan et al., 2007; Jordan et al., 2009). Specific interventions can help preschoolers acquire and master EL (Borre et al., 2019) and EN skills, (see Nelson & McMaster, 2018, for a review). Several recent studies have evaluated the ability of tablet-based educational apps to improve EL and EN skills (e.g., Griffith et al., 2020; Outhwaite et al., 2017, 2019; Neumann, 2018).

While there is a large body of work on typically developing children, In comparison, there is little work on the development of EL and EN skills in ASD children (e.g., Apanasionok et al., 2021; Solari et al., 2021). Furthermore, the majority of educational applications for children with ASD focus on the development of social and communication skills and few focus on academic learning, particularly of preschoolers (Koumpouros & Kafazis, 2019).

As several authors have noted, studies evaluating possible links between the use of educational apps and children's rate of learning must follow a strict experimental or quasi-experimental methodology (Hassler et al., 2015). Consequently, we adopted a quasi-experimental approach to assess whether classroom sessions using AppL+, a co-designed educational app, helps French preschoolers improve their EL and EN skills. All children with ASD in this study are in inclusive education.

Early literacy and Early numeracy

Early literacy (EL) is the acquisition of the skills, knowledge, and attitudes that are the developmental precursors of conventional forms of reading and writing (Snow, 2017; Whitehurst & Lonigan, 1998). The four most widely studied aspects of EL are vocabulary, oral comprehension, alphabet knowledge and phonological awareness, (Catts et al., 2015; Porta & Ramirez, 2019). Vocabulary is the set of words in a language that a person has or uses. Comprehension is the interpretation of information contained within a text, the use of prior knowledge to interpret this information, and the construction of a coherent representation of the text by the reader (Bianco et al., 2010; Kendeou et al., 2007). Alphabet knowledge refers to letters' names and sounds, as well as recognizing the visual shape of the letters and their sound values (Foulin, 2005; Sigmundsson et al., 2017). Phonological awareness is a continuum of skills, ranging from sensitivity to larger phonological units such as words and syllables to awareness of smaller phonological units like the beginning of a word, rhymes and phonemes (Anthony et al., 2003; Whitehurst & Lonigan, 2001).

Early numeracy (EN) covers a set of mathematical skills (number knowledge, numbering, quantification, verbal counting, etc.) that children begin acquiring at a very young age. Krajewski & Schneider (2009) argue that children go through several phases to acquire increasingly cognitively complex emergent numeracy skills. First, children learn to recognize small sets without counting (subitizing), distinguish between small quantities (set comparison), and learn the verbal counting sequence. Second, children apply the counting sequence to fixed sets (one-to-one counting), and make links between each of the number words and their respective quantity (e.g., apply cardinal number knowledge). Third, children combine number words and quantities into new number words and quantities without using physical objects (e.g., story problems). Linking new knowledge to existing knowledge allows children to develop a deeper understanding of mathematics. EN skills children acquire when they are very young predict later mathematics performance (e.g., Aunola et al., 2004 ; Jordan et al., 2009).

In recent years, attention has focused on the development of EL and EN skills of children with ASD. Research comparing ASD children to their typically developing peers has had mixed results. Studies have shown that letter naming appears to be a strength for children with ASD (Dyenia et al., 2014; Lanter et al., 2012). However, in the study by Westerveld et al. (2020) no differences were found. Research suggests that letter-sound correspondence is less developed than letter-name knowledge in young children with ASD (Lanter et al., 2012; Macdonald et al., 2021). For phonological awareness some work shows strong phonological awareness performance in ASD children compared to their typically developing peers (Westerveld et al., 2017). While other research indicates a weakness in these same skills (Dyenia et al., 2014, 2019).

Regarding preschoolers with ASD's acquisition of NE skills, research is scarce (Apanasionok et al., 2021, Grindle et al., 2020). Some studies show that the mathematical abilities of children with ASD are average or similar to those of their typically developing peers. Mayes and Calhoun (2003) found no significant differences in IQ or math scores on a standardized achievement test between 3- to 7-year-olds with ASD and their peers. Tzanakaki et al. (2014) used the TEN-DD (Teaching Early Numeracy to children with Developmental Disabilities) program with twenty-four children with severe intellectual disabilities or autism randomly assigned to intervention and control groups. After 12 weeks, children in the intervention group made more progress than those in the control group. A follow-up test showed that the gains were maintained 7 months after the end of the intervention.

Educational Tablet Apps and Learning by Preschoolers ASD

Touchscreen tablets have been widely used in early childhood education ever since they appeared. As well as being lighter and more portable than computers, tablets have intuitive tactile interfaces which young children find much easier to use (e.g., clicking, dragging and dropping) than a traditional mouse and keyboard (Marsh et al., 2015). Children with ASD are attracted to this type of medium, which captures their attention in a longer lasting way (Santarosa & Conforto, 2016). Tablets also stimulate children's visual, auditory, kinesthetic, and tactile senses by combining sound and moving images. These properties of tablets offer young children's new opportunities to learn and interact, especially in the classroom. In addition, educational apps offer more flexibility and allow for personalized learning for children (Sheehan & Uttal, 2016).

Studies over the past decade have shown that new technologies can be effective therapeutic and educational tools for individuals with ASD (Koumpouros & Kafazis, 2019). Specifically, educational applications can have a positive impact on the social and cognitive skills of children with ASD. Briet et al. (2021) showed that educational apps reduce agonistic behaviors (yelling, crying, peer aggression and conflict behavior) in ASD children. In their review of work, Eliçin et al. (2017) examined 67 experimental researches regarding the use of new technologies with ASD children. Among the findings of this synthesis the authors observe that the use of educational apps improves communication and social interactions of ASD children. Similarly, the review of work by Lorah et al. (2015) showed that the use of tablet-based educational apps as a communication alternative allows ASD children to enrich their verbal skills.

Regarding school learning, the review of Eliçin et al. (2017) also showed that the use of apps allows ASD children to also make progress in reading, mathematics and scientific vocabulary acquisition. As for the meta-analysis by Aspiranti et al. (2020), it shows that the use of touch tablets can have a positive and significant effect on children's learning.

The inclusion of children with ASD in France

In France, the law of 11 February 2005 for 'the equality of rights and opportunities, participation, and citizenship of handicapped persons' (République française 2005) proposed, as a guiding principle, that handicapped persons be included in regular environments, while at the same time making allowances for their particular disabilities. For children and adolescents with autism in particular, the ministerial decree dated 8 March 2005 from the French Ministry of Education Teaching



and Research also stressed the importance of education, classroom inclusion accompanied by specialized services, and the development of an individualized education plans to address the specific needs of each child.

All children with disabilities must be register by their parents with the Departmental House for the Disabled (Maison départementale des personnes handicapées, MDPH), which will develop a individualised education plan for each child. Students with ASD attend mainstream classes with or without a teaching assistant (AESH: accompagnant des élèves en situation de handicap). Some students benefit from a mechanism for inclusive education, called Unités Localisées pour l’Inclusion Scolaire [ULIS; translation: local units for inclusive schooling] (Ministère de l’éducation nationale et de la jeunesse 2019; translation: Ministry of National Education and Youth). These units are resource classrooms where students can repeat lessons, obtain additional support or relax under the supervision of a special needs teacher. The amount of time spent and the subjects covered by the ULIS is decided based on the students’ capacities and needs. In 2021, 20744 children with ASD were enrolled in mainstream schools in France (DEPP, 2021).

Current Study

Projet L

The present study was conducted as part of ProjectL to create and test an educational tablet app to help kindergarten students develop their LE and NE skills (hidden for review 1). This is the AppL app that was developed using Kucirkova's (2016) iRPD (Research, Practice and Design Framework) co-design model. For 18 months, researchers and education professionals (teachers, pedagogical advisors, national education inspectors) worked to ensure that the resulting app was adapted to the needs of French kindergarteners and compatible with use in French preschools. Similarly, the co-design of the app was based on the work of Hirsh-Pasek et al. (2015). According to the authors, for an app for children up to 8 years old to have educational potential, it must integrate four pillars: active learning, engagement, meaning and social interaction.

AppL contains 20 activities covering a wide range of EL and EN skills (see appendix 1). Each activity increases in difficulty in five stages corresponding to children’s abilities during five periods of kindergarten, from the start of the second year to the end of the third (final) year. Each stage of an activity includes around 15 items of varying difficulty. A mascot named LI introduces each activity by explaining its purpose (thereby making the activity more meaningful to the child) and provides



feedback during the exercises. When children answer an item correctly, LI gives positive, motivating feedback. When children answer incorrectly, LI encourages them to try again. If the second answer is also incorrect, LI provides guidance (scaffolding) on how to find the right answer. If the third answer is still incorrect, LI describes the solution in detail.

The gestures required to complete the app's activities—dragging and dropping and selecting images—are straightforward and suited to children of kindergarten age. The app includes other functions to enhance its educational impact. For example, rather than receiving automatic feedback on their answers, children must click on a button to check whether a response is correct. This function gives children extra time to think about their answers. Another button allows children to listen to the instructions again at any time and a progress bar shows them how many items they have completed/are remaining, so they know how soon they will finish the activity.

In this research, we used AppL+ is an adapted and simplified version of AppL with eight of the 20 activities (see Appendix 1). AppL+ has all the features of AppL plus the new speech slowing feature.

The importance of slowing down speech

Gepner and Féron (2009) formulated the theory of Temporo-Spatial Processing Disorders (TSPD) in ASD individuals. These suffer from abnormalities in the perception and processing of visual and auditory stimuli; this is especially true when the stimuli are dynamic (Frazier et al., 2017; Wan et al. 2018). The world "moves too fast" for many individuals with ASD. The temporal mismatch between the pace of the external world and the internal world induces stress, comprehension, and communication difficulties. Thus, slowing down the images and sound of stimuli should help remedy these difficulties and improve communicative and social performance in children with ASD.

The positive effects of slowing down have been demonstrated in several research studies. With slowing speech down, ASD children pay more attention to the face of others, recognize better facial mimics, and make progress in imitating facial or body gestures (Lainé et al., 2011). Slowing down also increases performance in verbal cognition verbal and nonverbal communication, and on attention and social reciprocity (hidden for review 2; Tardif et al., 2017). Work using eye-tracking shows that as the duration of visual fixations on the oral region increases, ASD children's verbal and language abilities improve (Tardif et al., 2016; Gepner et al., 2020, 2021). Specifically, for AppL+ we incorporated speech slowing down rate by 30% via a designed to systematically slow down auditory and visual signals simultaneously.

Hypotheses

Even though numerous studies have shown the positive effect of educational tablet apps on children's learning, particularly in EL and EN (e.g., Neumann, 2018, Outhwaite et al., 2017, 2019), research on children with ASD remains limited. In addition, several authors have highlighted the need for additional studies using an experimental or quasi-experimental approach (Hassler et al., 2015; Neumann, 2018). The present study used a quasi-experimental methodology to evaluate the impact of using AppL+ in the classroom on ASD students' EL and EN skills. This is the first time such an approach has been adopted at the pre-school level in France.

In this study, we test two assumptions.

1° We expect that the students who used AppL+ in the classroom (experimental groups) would make more progress in EL and EN than the students who did not use AppL+ (control group).

2° We also expect that students in the experimental group who received the slowdown would perform better in EL and EN than those in the experimental group who did not.

Method

Experimental Design

AppL+ was tested using a quasi-experimental design with 36 children with ASD enrolled in inclusive preschools in France. Three groups were recruited:

- The Control Group (CG) was composed of 9 students with ASD who were evaluated at the beginning and at the end of the experiment and did not use AppL+.
- Experimental Group 1 (EG1) consists of 13 students with ASD who were assessed at the beginning and end of the experiment and used AppL+ without the speech slowdown.
- Experimental Group 2 (EG2) consists of 14 students with ASD who were assessed at the beginning and end of the experiment and used AppL+ with the speech slowdown.

Protocol and equipment

Pre-tests were conducted at each of the preschools in December 2020. These assessments were used to determine the initial level of the students as well as to assign them to each of the three groups. They were conducted by research assistants with degrees in psychology after a one-day training



session. Each examiner was provided with an administration and scoring manual. The assessments were conducted in a classroom annex, with the teacher's assistant (AESH) present. Posttests were administered in May 2021.

At the beginning of the experiment, the students did not all have the same levels of competence in LE and NE. Thus, for each student, an adapted pathway was provided to the teachers and the teachers' assistants. The experimental protocol called for 10-minute sessions, 4 sessions per week, for 12 weeks. Before each session, the teacher's assistant prepared the tablet by choosing the activity and the level to work on for the student he was monitoring. The child used AppL+ alone in the classroom for 5 minutes. Then, for the next 5 minutes, the child with ASD practiced with another student in the class, taking turns choosing answers as much as possible.

For the duration of the study, each child was equipped with a 10-inch tablet. This format is the most suitable because it allows for comfortable viewing, appropriate handling and also offers the possibility of two people sharing the screen. The students in the experimental groups were also equipped with noise-cancelling headphones and a concentration screen. The concentration screen aims to reduce the visual and sound stimuli in the classroom so that the children can optimally direct their attention to the activity. Unfolded, this screen is presented in the form of a three-sided screen forming two right angles (70x50x50 cm) which creates a partition around the student.

Approvals

In the first stage, approval for this study was obtained from the Ethics Committee of the Comité de Protection des Personnes Ouest IV (under agreement number CCP 07/21_3.). Secondly, we obtained the approval of the academic authorities of the national education system. The teachers were recruited on a voluntary basis following a letter sent to the various districts. Finally, we obtained the written consent of the parents, with the agreement of their child. A one-day training session was offered to teachers and assistants during which we also provided them with a pedagogical booklet summarizing the skills worked on and the functionalities of the educational application.

Participants

All the children included in the study were recognized by the multidisciplinary team of the MDPH as ASD children. An individualized education plan had been drawn up for each of them, proposing schooling in a regular environment, given that the severity of their autism is level 1

according to the DSM-5 criteria (APA, 2013). All the students in the sample are enrolled in the Grand Est region of France in the context of inclusive education. Their age is between 4 to 6 years (mean age = 5.61; standard deviation = 0.72). The sample was composed of 7 girls and 29 boys.

Measures

Early literacy and early numeracy

We measured the students' early literacy abilities via six sub-tests from the Preschool Early Literacy Scale (Hidden for review 3). In the case of early numeracy, we used eight sub-tests developed by (Hidden for review 4) to measure the children's levels of early numeracy (see appendix 2). We calculated total scores for each task by summing the scores for the individual items within the task. Table 1 shows means, standard deviations and Cronbach's alphas for each task. All Cronbach's alpha coefficients were above or near the threshold of .70 (Cronbach, 1951). Given the strong correlations between scores on the early literacy subtests (mean correlation = .50) and between scores on the early numeracy subtests (mean correlation = .59), we calculated overall scores for early literacy and for early numeracy.

WPPSI IV

At the beginning of the experiment Wechsler Intelligence Scale for Children, 4th Edition (Wechsler, 2012) was used to obtain an indice for overall level of intellectual functioning.

Psychoeducational Profile

We used the French version of the Psychoeducational Profile-third edition (PEP 3) (Schopler et al. 2005; 2010). The PEP-3 measuring the skills and behaviors of children with autism and communicative disabilities with a developmental age between 6 months and 7 years. The PEP-3 consists of a series of toys, games, objects and pictures which are offered to the child during a structured assessment. The tool includes two main sections: a Performance section and the Caregiver report. The first section is made of standardized scales, with normative criteria, that evaluate the communication development, motor abilities and presence of maladaptive behavior. The second section is a parent questionnaire used to obtain useful information about child development.

PEP-3 is composed of 10 subtests: cognitive verbal/pre-verbal, expressive language, receptive language, fine motor, gross motor, visual motor imitation, affective expression, social reciprocity, characteristic motor behavior and characteristic verbal behavior. In this study, we used the first three

subtests as well as the one on social reciprocity. The scores of the different items in each subtest were then summed to obtain the raw scores.

Results

Preliminary analysis

Table 1 shows means, standard deviation and correlations between study variables. We find that all study variables are significantly correlated with each other except for EL and EN at the pre-test with the Social reciprocity.

Table 1.

Correlation matrix for the study variables

	Mean (SD)	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Cognitive verbal/pre-verbal	12.36 (3.19)	1							
2. Expressive language	11.22 (3.63)	.82**	1						
3. Receptive language	11.75 (2.69)	.82**	.93**	1					
4. Social reciprocity	10.94 (2.70)	.73**	.90**	.86**	1				
5. IQ	65.53 (18.82)	.63**	.69**	.65**	.61**	1			
6. EL Pre-test	.29 (.16)	.44**	.55**	.56**	.30	.49**	1		
7. EL Pos-test	.43 (.19)	.53**	.59**	.59**	.41*	.55**	.82**	1	
8. EN Pre-test	.40 (.29)	.58**	.55**	.55**	.32	.53**	.71**	.64**	1
9. EN Pos-test	.59 (.29)	.76**	.69**	.71**	.49**	.60**	.67**	.71**	.88**

NB. N = 36, ** = p < .01

Equivalence between experimental and control groups

At the beginning of the experiment, ANOVAs revealed no significant differences between the experimental and control groups for PEP3, WPPSI IV, and LE and NE scores at T1. All p-values are greater than .05 (see Table 2).

Table 3.

Equivalence between experimental and control groups

		N	Mean	SD	F	<i>p</i>
Age	EG 1	13	5.68	.66	1.24	.30
	EG 2	14	5.76	.66		
	CG	9	5.29	.87		
	Total	36	5.61	.72		
Cognitive verbal/pre-verbal	EG 1	13	13.23	2.01	2.14	.13
	EG 2	14	12.71	2.89		
	CG	9	10.56	4.45		
	Total	36	12.36	3.19		
Expressive language	EG 1	13	11.54	2.82	.20	.82
	EG 2	14	11.36	3.00		
	CG	9	10.56	5.50		
	Total	36	11.22	3.63		
Receptive language	EG 1	13	12.15	1.99	.98	.39
	EG 2	14	12.07	2.27		
	CG	9	10.67	3.94		
	Total	36	11.75	2.69		
Social reciprocity	EG 1	13	11.31	2.10	.44	.65
	EG 2	14	11.07	2.30		
	CG	9	10.22	3.99		
	Total	36	10.94	2.70		
IQ	EG 1	13	67.15	18.38	.30	.74
	EG 2	14	66.79	20.31		
	CG	9	61.22	18.55		
	Total	36	65.53	18.82		
EN Pre-test	EG 1	13	0.48	0.30	.83	.45
	EG 2	14	0.35	0.28		
	CG	9	0.36	0.30		
	Total	36	0.40	0.29		
EL Pre-test	EG 1	13	0.29	0.17	.35	.71
	EG 2	14	0.31	0.16		
	CG	9	0.25	0.18		
	Total	36	0.29	0.16		

Implementation Fidelity

We recorded several types of information about the ways in which the children used AppL+ in the classroom, including the activities they did and the time they spent on each activity. We exported student traces from the app into a .csv file and then used Python to convert this file into a format compatible with SPSS.25 software. The students completed 95 % of the planned literacy activities and 98 % numeracy activities during the 12 weeks of the experiment and spent an average of 392 minutes on EL activities and 314 minutes on EN activities. This is the amount of time students spent doing the app's activities, excluding the time the teaching assistant spent explaining how to use the app.

Performance gain calculations

Table 3 provides the means, standard deviations in EL and EN of the different groups in Pre-test and Post-test. It also provides the gains between Post-test and Pre-test. We see that the gains are roughly the same for students in both experimental groups. In EN, the gains are +.23 for EG2 and +.22 for EG1. In EL, the gains are +.18 for EG2 and +.17 for EG1. On the other hand, we note that the gains are very low for the students in the control group (+.09 in EN and +.03 in EL). To test the significance of the differences in performance gains between the three groups, we used the Kruskal-Wallis test given the small size of the groups. The test found significant differences for EN ($H=7.22$ $p=.03$) and EL ($H=15.71$, $p=.01$).

Table 3.

Analysis of performance gains in EN and EL

	EG 1			EG 2			CG		
	Pre-test	Post-test	Gain	Pre-test	Post-test	Gain	Pre-test	Post-test	Gain
EN	.48(.30)	.70(.26)	.22(.15)	.35(.28)	.58(.27)	.23(.13)	.36(.30)	.45(.34)	.09(.08)
EL	.29(.17)	.46(.15)	.17(.10)	.31(.16)	.49(.20)	.18(.11)	.25(.18)	.28(.18)	.03(.14)

Intervention effect for EL and EN

To calculate the intervention effect, we used Hedges' g . Hedges' g is calculated similarly to Cohen's d , except that Hedges' g adds a correction factor for smaller sample sizes (Hedges & Olkin, 1985). Kraft (2020) proposed the following benchmark of effect sizes from causal studies of K-12 education interventions based on empirical studies: inferior to 0.05 as small, from 0.05 to 0.20 as medium and superior to 0.20 as large. Effect sizes were positive when EG outperformed GC.

Table 4.

Intervention effect for EL and EN

	Hedge's g	SE	IC	Z	p
EG1 vs CG					
EN	.94	.46	.05 - 1.83	2.06	.04
EL	1.37	.48	.43 - 2.31	2.86	.00
EG2 vs CG					
EN	1.00	.45	.12 - 1.89	2.22	.03
EL	1.41	.48	.48 - 2.34	2.97	.00
EG1 vs EG2					
EN	.07	.39	-.69 - .82	.18	.86
EL	.09	.39	-.66 - .85	.24	.81

Table 4 shows that when comparing EG1 and CG the intervention effect for EN is strong $g = .94$ (SE = 0.46, 95% CI [0.05, 1.83], $p < .04$). Similarly, when comparing EG2 and GC the effect of the intervention for EN is strong $g = 1$ (SE = 0.45, 95% CI [0.12, 1.89], $p < .03$). When comparing EG1 and CG the effect of intervention for EL is strong $g = 1.37$ (SE = 0.48, 95% CI [0.43, 2.31], $p < .001$). Similarly, when comparing EG2 and CG the effect of intervention for EL is strong $g = 1.41$ (SE = 0.48, 95% CI [2.34, 2.97], $p < .001$). In contrast, the comparison of EG1 and EG2 does not show an effect of intervention in both EN and EL ($g = .07$ and $g = .09$, respectively).

Discussion

The purpose of this study was to investigate whether integrating AppL+ into classroom instruction would improve the performance of ASD students in EL and EN. When designing the AppL+, we followed Kucirkova's (2016) co-design approach and included the educational features that Hirsh-Pasek et al. (2015) identified as promoting learning. Consequently, AppL+ is active (it involves multisensory and direct interactions), committed (it includes feedback), and meaningful (it has a staged and scaffolded curriculum), and it includes para-social interactions (via a mascot). Moreover, we applied an evidence-based approach to designing the app's content. Through the different activities, AppL+ allows students to work on various skills on EL and EN. In addition, personalized feedbacks guide the child during the realization of the activities. For students with the greatest difficulties, the app gives increasingly detailed feedback and explains the method for successfully completing the required item. We assessed AppL+'s effectiveness by conducting a quasi-experimental study. During the experiment, we also recorded data such as the time children spent on each activity in order to check that teaching assistant followed the intervention protocol.

Effects of the Intervention

The results of the analyses supported our first research hypothesis. Students in the experimental groups performed better than students in the control group and the intervention improved students' performances in EL and EN. Indeed, in NE, the pupils in the experimental group progressed twice as much as the pupils in the control group, and in LE the progress was six times greater.

Our second assumption is not validated. The children in the experimental group who benefited from the slowing down of the instructions did not progress more than the pupils without the slowing down. We believe that the effect of slowing down is significantly felt when the child enters the activity

because it allows him/her to understand and access the instructions more quickly (Hidden for review 5), but in situations where the child is faced with activities that are known and repeated many times, the oral instruction is no longer a notable difficulty. We also note that slowing down is more effective in certain activities, such as word recognition, which allows for better hearing and more accurate repetition (Hidden for review 5).

Limitations and Future Directions

Our study has a number of limitations. First, our sample was not random, all the teachers involved had volunteered to take part in the study. Because this selection process may affect our findings' generalizability, further random controlled trials are needed to confirm and develop our results.

Second, AppL+ covered a wide range of EL and EN skills. As a result, students were able to do an activity only once during each period and were therefore unable to benefit from the gains obtained by repeating activities (see Sung et al., 2015, and Sung et al., 2016, for meta-analyses highlighting the link between repeated use of a learning tool and learning gains). Similarly, the limited duration of the program may have restricted learning gains. We are planning further studies to examine this issue.

Third, detailed qualitative studies are needed to explore teachers' perceptions of the app and the way they use it in the classroom. Research analyzing successes and failures in implementing evidence-based practices (e.g., Fixsen, 2005; Nilsen, 2015) has shown the need for improvement cycles. Similarly, it would be useful to determine how students appropriate the app. Such qualitative data would enhance our theoretical understanding of how educational apps contribute to learning des enfants ASD.

Conclusion

In the present study, using AppL+ in the classroom had a beneficial effect on the EL and EN skills of most of the students ASD who followed the intervention. Thus, educational apps can be effective classroom teaching tools if they are theoretically grounded and well-designed (Hirsh-Pasek et al., 2015; Kucirkova, 2014). However, the impact of these technologies depends on how they are incorporated into classroom teaching (Couse & Chen, 2010).

This study showed satisfactory and successful evidences of the usefulness of AppL+ for developing children's EL and EN skills. After this initial trial phase, it is necessary to consider teachers' and students' comments in order to further improve this application. The application is

currently being improved: some features will be developed such as adaptive learning (Papoušek & Pelánek, 2015) or a teacher dashboard (Verbert et al., 2020). This development will lead to a new testing phase in schools, that will be an opportunity to closely observe the use of the application by teachers and students.

Conflict of interest: There is no conflict of interest in this work.

References

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)*. Washington DC : American Psychiatric Publishing
- Apanasionok, M. M., Alallawi, B., Grindle, C. F., Hastings, R. P., Watkins, R. C., Nicholls, G., Maguire, L., & Staunton, D. (2021). Teaching early numeracy to students with autism using a school staff delivery model. *British Journal of Special Education*, *48(1)*, 90–111. <https://doi.org/10.1111/1467-8578.12346>
- Aspiranti, K.B, Larwin, K. H, Schade, B. P. (2020). iPads/tablets and students with autism: A meta-analysis of academic effects. *Assistive Technology*, *32(1)*, 23-30. <https://doi.org/10.1080/10400435.2018.1463575>
- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental Dynamics of Math Performance From Preschool to Grade 2. *Journal of Educational Psychology*, *96(4)*, 699-713. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699>
- Anthony, J. L., Lonigan, C. J., Driscoll, K., & Phillips, B. M. (2003). Phonological sensitivity: A quasi-parallel progression of word structure unit... *Reading Research Quarterly*, *38(4)*, 470–487
- Bianco, M., Bressoux, P., Doyen, A.-L., Lambert, E., Lima, L., Pellenq, C., & Zorman, M. (2010). Early Training in Oral Comprehension and Phonological Skills : Results of a Three-Year Longitudinal Study. *Scientific Studies of Reading*, *14(3)*, 211-246. <https://doi.org/10.1080/10888430903117518>
- Borre, A. J., Bernhard, J., Bleiker, C., & Winsler, A. (2019). Preschool literacy intervention for low-income, ethnically diverse children: Effects of the early authors program through kindergarten. *Journal of Education for Students Placed at Risk (JESPAR)*, *24(2)*, 132-153. <https://doi.org/10.1080/10824669.2019.1594818>
- Briet, G., Le Maner-Idrissi, G., Le Marec, O., Seveno, T., & Le Sourn-Bissaoui, S. (2021). Developmental follow-up of children with autism spectrum disorders enrolled in inclusive units in

- France: outcomes and correlates of changes. *International Journal of Disability, Development and Education*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2021.1921123>
- Catts, H. W., Herrera, S., Nielsen, D. C., & Bridges, M. S. (2015). Early prediction of reading comprehension within the simple view framework. *Reading and Writing*, 28(9), 1407–1425. <https://doi.org/10.1007/s11145-015-9576-x>
- Couse, L. J., & Chen, D. W. (2010). A Tablet Computer for Young Children? Exploring its Viability for Early Childhood Education. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(1), 75–96. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782562>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 22(3), 297-334. <https://doi.org/10.1007/bf02310555>
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... Duckworth, K. (2007). School Readiness and Later Achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Dynia, J. M., Lawton, K., Logan, J. A., & Justice, L. M. (2014). Comparing emergent-literacy skills and home-literacy environment of children with autism and their peers. *Topics in Early Childhood Special Education*, 34(3), 142–153.
- Dynia, J. M., Bean, A., & Justice, L. M. (2019). Phonological awareness emergence in preschool children with autism spectrum disorder. *Autism & Developmental Language Impairments*, 4, 1–15.
- Eliçin, O., & Kaya, A. (2017). Determining Studies Conducted upon Individuals with Autism Spectrum Disorder using High-Tech Devices. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 17, 27–45. <https://doi.org/10.12738/estp.2017.1.0236>
- Fixsen, D. L., Naoom, S. F., Blase, K. A., Friedman, R. M. & Wallace, F. (2005). *Implementation research: A synthesis of the literature*. Tampa, FL: University of South Florida, Louis de la Parte Florida Mental Health Institute, The National Implementation Research Network (FMHI Publication #231).
- Foulin, J. N. (2005). Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and writing*, 18(2), 129-155. <https://doi.org/10.1007/s11145-004-5892-2>
- Frazier, T. W., Strauss, M., Klingemier, E. W., Zetzer, E. E., Hardan, A. Y., Eng, C., & Youngstrom, E. A. (2017). A Meta-Analysis of Gaze Differences to Social and Nonsocial Information Between Individuals With and Without Autism. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(7), 546-555. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.05.005>

- Gepner, B., & Féron, F. (2009). Autism : A world changing too fast for a mis-wired brain? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(8), 1227-1242. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.06.006>
- Gepner, B., Godde, A., Charrier, A., Carvalho, N., & Tardif, C. (2021). Reducing facial dynamics' speed during speech enhances attention to mouth in children with autism spectrum disorder: An eye-tracking study. *Development and Psychopathology*, 33(3), 1006-1015. <https://doi.org/10.1017/S0954579420000292>
- Gepner, B., Charrier, A., Arciszewski, T. et al. Slowness Therapy for Children with Autism Spectrum Disorder: A Blind Longitudinal Randomized Controlled Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 52, 3102–3115 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05183-6>
- Griffith, S. H., Hagan, M. B., Heymann, P., Heflin, B. H. & Bagner, D. M. (2020). Apps As Learning Tools: A systematic review. *Pediatrics*, 145(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2019-1579>
- Grindle, C. F., Hastings, P. R. & Wright, R. J. (2020). *Teaching Early Numeracy to Children with Developmental Disabilities*. London: Sage.
- Hassler, B., Major, L., & Hennessy, S. (2015). Tablet use in schools: A critical review of the evidence for learning outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(2), 139–156. <http://dx.doi.org/10.1111/jcal.12123>
- Hedges, L.V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. New York: Academic Press.
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J., Golinkoff, R., Gray, J., Robb, M., & Kaufman, J. (2015). Putting Education in « Educational » Apps: Lessons From the Science of Learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3-34. <https://doi.org/10.1177/1529100615569721>
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters : Kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 850-867. <https://doi.org/10.1037/a0014939>
- Kendeou, P., van den Broek, P., White, M., & Lynch, J. (2007). Preschool and early elementary comprehension: Skill development and strategy interventions. In D. S. McNamara (Ed.) *Reading comprehension strategies: Theories, interventions, and technologies*, (pp. 27–45). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Koumpouros, Y., & Kafazis, T. (2019). Wearables and mobile technologies in Autism Spectrum Disorder interventions: A systematic literature review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, Vol. 66, 101405, <https://doi.org/10.1016/J.RASD.2019.05.005>
- Kraft, M. A. (2020). Interpreting Effect Sizes of Education Interventions. *Educational Researcher*, 49(4), 241–253. <https://doi.org/10.3102/0013189x20912798>

- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Early development of quantity to number–word Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction, 19*, 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002>
- Kucirkova, N. (2016). IRPD—A framework for guiding design-based research for iPad apps. *British Journal of Educational Technology, 48*(2), 598–610. <https://doi.org/10.1111/bjet.12389>
- Lainé, F., Rauzy, S., Tardif, C., & Gepner, B. (2011). Slowing Down the Presentation of Facial and Body Movements Enhances Imitation Performance in Children with Severe Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 41*(8), 983–996. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1123-7>
- Lanter, E., Watson, L. R., Erickson, K. A., & Freeman, D. (2012). Emergent literacy in children with autism: An exploration of developmental and contextual dynamic process. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools, 43*, 308–324.
- Lorah, E., Parnell, A., Schaefer Whitby, P., & Hantula, D. (2015). A Systematic Review of Tablet Computers and Portable Media Players as Speech Generating Devices for Individuals with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 45*(12), 3792–3804. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2314-4>
- MacDonald, D., Luk, G., & Quintin, E. M. (2021). Correction to: Early word reading of preschoolers with ASD, both with and without hyperlexia, compared to typically developing pre- schoolers. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 51*, 1613. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04688-w>
- Marsh, J., Yamada-Rice, D., Bishop, J., Lahmar, J., Scott, F., Plowman, L., et al. (2015). Exploring Play and Creativity in Pre-Schoolers’ Use of Apps: Technology and Play. Economic and Social Research Council. Retrieved from: <http://www.techandplay.org/tap-media-pack.pdf>.
- Mayes, S. D., & Calhoun, S. L. (2003). Analysis of WISC-III, Stanford-Binet: IV, and academic achievement test scores in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 33*, 329–341. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1024462719081>
- Ministère de l’éducation nationale et de la jeunesse (2019). De La Maternelle Au Baccalauréat La Scolarisation Des Élèves En Situation de Handicap. Paris: Ministère de l’Éducation nationale et de la Jeunesse. <https://www.education.gouv.fr/cid207/la-scolarisation-des-eleves-en-situation-dehandicap.html>.
- Ministère de l’Education Nationale, and Ministère de l’Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l’Innovation (2021). Repères et références statistiques: Sur les enseignements, la formation et la recherche. Paris: Direction de l’évaluation, de la prospective et de la performance.

- Nelson, G., & McMaster, K. L. (2019). The effects of early numeracy interventions for students in preschool and early elementary : A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 111(6), 1001-1022. <https://doi.org/10.1037/edu0000334>
- Neumann, M.M. (2018). Using tablets and apps to enhance emergent literacy skills in young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 42, 239-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2017.10.006>
- Nilsen, P. (2015). Making sense of implementation theories, models and frameworks. *Implementation Science*, 10(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s13012-015-0242-0>
- Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2019). Raising early achievement in math with interactive apps : A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology*, 111(2), 284. <https://doi.org/10.1037/edu0000286>
- Outhwaite, L. A., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2017). Closing the gap : Efficacy of a tablet intervention to support the development of early mathematical skills in UK primary school children. *Computers & Education*, 108, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.01.011>
- Papoušek, J., Pelánek, R. (2015). Impact of Adaptive Educational System Behaviour on Student Motivation. In: Conati, C., Heffernan, N., Mitrovic, A., Verdejo, M. (eds) *Artificial Intelligence in Education*. AIED 2015. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9112. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19773-9_35
- Porta, M. E., & Ramirez, G. (2019). The impact of an early intervention on vocabulary, phonological awareness, and letter–sound knowledge among Spanish-speaking kindergarteners. *International Journal of School & Educational Psychology*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/21683603.2018.1558137>
- Santarosa, L. M. C., & Conforto, D. (2016). Educational and digital inclusion for subjects with autism spectrum disorders in 1:1 technological configuration. *Computers in Human Behavior*, 60, 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.021>
- Sigmundsson, H., Eriksen, A. D., Ofteland, G. S., & Haga, M. (2017). Letter-Sound Knowledge: Exploring Gender Differences in Children When They Start School Regarding Knowledge of Large Letters, Small Letters, Sound Large Letters, and Sound Small Letters. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01539>
- Schopler E., Lansing M. D., Reichler R. J. & Marcus L. M. (2005) *Psychoeducational Profile: TEACCH Individualized Assessment for Children with Autism Spectrum Disorders*, 3rd edn. Pro-Ed Inc, Austin, TX.

- Schopler, E., Lansing, M.D., Reichler, R. J, & Marcus, L.M. (2010). Psychoeducational profile PEP-3). Pro-Ed, 2005. Traduction de la 3ème édition américaine: PEP-3: Profil Psycho-Educatif. Bruxelles: De Boeck.
- Solaris, E.J, Henry, A.R., Grimm, R.P, Zajic, M.C & McGinty, A (2021). Code-related literacy profiles of kindergarten students with autism. *Autism*, 1-13. <https://doi.org/10.1177/13623613211025904>
- Snow, C. E. (2017). Early literacy development and instruction: An overview. In N. Kucirkova, C.E. Snow, V. Grøver, & C. McBride-Chang (Eds.), *The Routledge international handbook of early literacy education: A contemporary guide to literacy teaching and interventions in a global context* (pp.5-13). Routledge.
- Sung, Y. T., Chang, K. E., & Liu, T. C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 94, 252-275. <https://doi.org/10.3102/0034654317704307>
- Sung, Y. T., Chang, K. E., & Yang, J. M. (2015). How effective are mobile devices for language learning? A meta-analysis. *Educational research review*, 16, 68-84. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.09.001>
- Tzanakaki, P., Hastings, R. P., Grindle, C. F., Hughes, J. C. & Hoare, Z. (2014). An individualized numeracy curriculum for children with intellectual disabilities: a single blind pilot randomized controlled trial. *Journal of Developmental & Physical Disabilities*, 26, 615–632. <http://dx.doi.org/10.1007/s10882-014-9387-z>
- Tardif, C. & Gepner, B. (2012). Logiral. [Logiciel PC]; 2012 <http://centrepsyche-amu.fr/%20logiral/>
- Tardif, C., Charrier, A., & Gepner, G. (2016). Ralentir les mouvements du visage pour mieux l'explorer : Une étude en oculométrie auprès d'enfants avec troubles du spectre de l'autisme. *A.N.A.E.*, 142, 339-349
- Tardif, C., Latzko, L., Arciszewski, T., & Gepner, B. (2017). Reducing Information's Speed Improves Verbal Cognition and Behavior in Autism: A 2-Cases Report. *Pediatrics*, 139(6), e20154207. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-4207>
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park, J., Lang, C., Koh, M., Wei, Z., Feng, Z., Lin, Y., & Kong, J. (2018). Applying Eye Tracking to Identify Autism Spectrum Disorder in Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(1), 209-215. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3690-y>
- Wechsler, D. (2012). Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence | Fourth Edition WPPSI-IV. Psychological Corporation.

- Verbert, K., Ochoa, X., De Croon, R., Dourado, R. A., & De Laet, T. (2020). Learning analytics dashboards: The past, the present and the future. In *LAK 2020 Conference Proceedings - Celebrating 10 years of LAK: Shaping the Future of the Field - 10th International Conference on Learning Analytics and Knowledge* (pp. 35-40). (ACM International Conference Proceeding Series). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3375462.3375504>
- Westerveld, M. F., Paynter, J., Trembath, D., Webster, A. A., Hodge, A. M., & Roberts, J. (2017). The emergent literacy skills of preschool children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47(2), 424–438.
- Whitehurst, G. J., & Lonigan, C. J. (1998). Child development and emergent literacy. *Child development*, 69(3), 848-872. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1998.tb06247.x>
- Whitehurst, G. J., & Lonigan, C. J. (2001). Emergent Literacy: Development from Prereaders to Readers. In S. Neumann & D. Dickinson (Eds.), *Handbook of early literacy research. str.* (p. 11–29). London: The Guildford Press.

Appendix 1.

Appendix 1.

Description of the EL activities and skills covered

Name of activities	Skills developed	Description
EL activities		
1. The syllable drum	Phonological awareness	The student presses the drum as many times as there are syllables in the word. In the second part, the student chooses, among several pictures of words, the one that corresponds to the number of syllables struck on the drum.
2. Letters in madness	Alphabet knowledge	In this activity, the student reproduces a word based on a pattern. The child replaces the letters one by one in order, starting with the first letter.
3. The words	Oral language: vocabulary	The student searches a picture corresponding to what is being asked. The student works only on object names related to the selected themes. Three domains were covered: "dressing", "cooking" and "working".
4. Collecting syllables	Phonological awareness	In this activity, the student sees several pictures. The student must sort these pictures in the appropriate basket based on the number of syllables of the word.
5. On the road to school	Oral language: vocabulary	The student searches on an illustration for the element, the character or the action corresponding to what is asked of him/her. Three domains were covered: "dressing", "cooking" and "working".
6. Syllaborobot	Phonological awareness	In this activity, the student matches words/pictures or sounds to what the robot says. The robot transforms words by doubling, adding, or reversing syllables.
7. The short story	Oral language: comprehension	In this activity, the student listens to a short story. Then, the child must answer questions by choosing among four



		proposals the one that corresponds. The questions concern the place, the characters, and the key objects of the story.
8. The house of rhymes	Phonological awareness	The child arranges the words/pictures in the house that end with the same syllable or sound. Each house already contains pictures to identify the basic rhyme to find.
9. The long story	Oral language: comprehension	In this activity, the student listens to a long story. Then, the child must answer questions by choosing among four proposals the one that corresponds. The questions concern the place, the characters, and the key objects of the story. Themes addressed in "the short story" are further explored in this activity.
10. The riddle path	Oral language: vocabulary	The student searches on an illustration for the element, the character or the action corresponding to what is asked of him/her. Three domains were covered: "dressing", "cooking" and "working". The riddles are presented in increasingly complex sentences.
EN activities		
1. The animals' enclosure	<ul style="list-style-type: none"> – Quantify collections up to 10 – Mobilize analogical, verbal or written symbols Read written numbers up to 10	In this activity, the student counts all the animals in an enclosure and chooses the correct answer from a selection of cards. To answer, the student slides one of the stickers containing either finger images, dice constellations or numbers into the response box.
2. The castle	<ul style="list-style-type: none"> – Mobilize analogical, verbal or written symbols – Read written numbers up to 10 – Count a collection Identify cardinal of a collection	In this activity, the student sees an imaginary castle. He/she must count the different parts (towers, roofs, ramparts, doors and windows) of this castle and complete the order form by dragging and dropping the appropriate answers with his/her finger.
3. Back to the enclosure	<ul style="list-style-type: none"> – Quantify collections up to 10 – Mobilize analogical, verbal or written symbols – Read written numbers up to 10 – Build a sizeable collection: term to term matching, counting. Compose and decompose collections through effective manipulation.	In this activity, the environment is still the farm. The student must fit the appropriate quantity of animals into the enclosure. To answer, the student must slide animals one by one or in groups (2, 3, 4 or 5 animals) into the enclosure to get the desired quantity.
4. Build your own castle	<ul style="list-style-type: none"> – Read written numbers up to 10 – Quantify collections – Build a sizeable collection: term to term matching, counting. Recognize analogical symbols: constellations, fingers	In this activity, the student receives a purchase order. He/she must identify the quantity required for each shape (ramparts, towers, roofs, doors and windows) in order to build an imaginary castle by sliding the castle shapes with his/her finger.
5. The caterpillar	<ul style="list-style-type: none"> – Quantify collections up to 10 – Recognize analogical symbols: constellations of the same or different sizes – Read written numbers up to 10 Complete a logical sequence of plus and minus one	A caterpillar with missing pieces is presented to the student. By dragging and dropping the possible answers with their finger, they must complete the caterpillar by following a logical sequence of plus and minus one.
6. Fill the bus	<ul style="list-style-type: none"> – Quantify collections up to 10 	The support used here is the bus, into which the student must slide the right number of kids. For each question, an



	<ul style="list-style-type: none"> - Recognize analogical symbols: constellations of the same or different sizes - Read written numbers up to 10 - Build a sizeable collection: term to term matching, counting. - Compose and decompose collections through effective manipulation <p>Memorize quantities to compose and decompose them</p>	oral instruction is given to the student indicating the number of kids to put on the bus.
7. The car trip	<ul style="list-style-type: none"> - Recognize analogical symbols: constellations of the same or different sizes - Read written numbers up to 10 <p>Compare collections presented with conventional and non-conventional written symbols</p>	The student sees three cards, each representing a quantity. These quantities can be presented as dice constellations and as fingers, or as numbers. The student must then compare the cards with each other and select the one that represents the largest quantity.
8. The bus stop	<ul style="list-style-type: none"> - Quantify collections up to 10 - Mobilize analogical, verbal or written symbols - Build a collection of a given size: term-to-term matching, and counting - Compose and decompose collections through effective manipulation <p>Memorize quantities to compose and decompose them</p>	In this activity, the support used is the bus and the bus shelter, in which the student must share a quantity of children.
9. The bee's foraging	<ul style="list-style-type: none"> - Use the rank (e.g. third) to express the position of an element - Locate and place an element by knowing its position and respecting the direction of the path. 	In this activity, a honeybee in a floral field is presented to the student. The student must drag the honeybee to a flower based on its position and color.
10. The crazy bus	<ul style="list-style-type: none"> - Quantify collections up to 10 - Mobilize analogical, verbal or written symbols - Compose and decompose collections through effective manipulation <p>Read numbers in numerals to 10</p>	The activity confronts the student with situations of additive or subtractive transformations. For the initial state, the bus can be empty or already contain passengers. Then during the transformation, passengers get on or off. Finally, the student must indicate the total number of passengers in the bus after this transformation.

Appendix 2.

Descriptive Statistics and Internal Consistency of Scales

	Pre-test				Pos-test		
	Number of items	Cronbach's alpha	M	SD	Cronbach's alpha	M	SD
Early literacy							
Letter recognition	14	.85	.42	.31	.95	.62	0.34
Letter naming	10	.92	.61	.42	.95	.78	0.34

Recognizing everyday words	14	.68	.27	.19	.86	.47	0.23
Identifying rhymes	10	.85	.07	.15	.92	.23	0.31
Fluency	2	--	.22	.29	--	.21	0.22
Naming parts of the body	10	.85	.13	.17	.78	.27	0.23
Early numeracy							
Numerical identification	12	.68	.60	.40	.96	.76	.35
Naming numbers	10	.85	.45	.38	.95	.63	.40
Verbal counting	--	--	.26	.26	--	.30	.24
One-to-one counting	6	.81	.38	.35	.92	.56	.39
Cardinality	6	.81	.24	.30	.92	.46	.43
Set to numerals (objects /Number)	6	.51	.48	.40	.90	.74	.33
Set to numerals (Number/objects)	6	.59	.51	.42	.91	.79	.29
Subitizing	18	.83	.27	.29	.97	.48	.36

Conclusion

L'enfant développe de manière précoce des compétences en langage oral, écrit ainsi que dans le domaine des mathématiques (par ex., Krajewski & Schneider, 2009 ; Whitehurst & Lonigan, 1998). Nous avons vu l'influence du niveau socio-économique (Huttenlocher et al., 2010 ; Starkey et al., 2004) et compte tenu des écarts dès l'entrée en maternelle, il semble important de renforcer le développement des compétences en littératie et numératie émergentes.

La littérature montre des résultats variables concernant la littératie émergente des élèves avec TSA. La connaissance des lettres de l'alphabet ne représenterait pas de difficulté ; les résultats pourraient être meilleurs que chez des enfants au développement typique (Dydia et al. 2014 ; Westerveld, 2017) ou tout au moins semblables (Westerveld, 2020). Il en serait de même pour les compétences en conscience phonologique (Westerveld, 2017 ; Westerveld, 2020), mais ces résultats ne sont pas unanimes (Solari et al. 2021). En revanche, les connaissances liées au domaine de l'écrit (Dydia et al., 2014 ; Lanter et al. 2012) particulièrement dans les compétences liées au sens telles que le langage et la compréhension (Westerveld, 2017) seraient déficitaires. Concernant la NE des élèves avec TSA, le peu d'études (Praet et al., 2013) révèlent des divergences. Les problèmes de compréhension seraient néanmoins une difficulté dans la résolution de problème (Dutilieux, 2008).

Les résultats de notre étude montrent que les élèves avec TSA ont progressé dans les compétences en LE et en NE en utilisant *AppLINO+*, à raison de quatre séances de 10 minutes par semaine, pendant 12 semaines, par rapport aux élèves du groupe contrôle qui n'ont pas bénéficié d'un entraînement sur tablette numérique. Notre première hypothèse de recherche a donc été validée. Par contre, le ralentissement de la parole n'a pas permis de gain supplémentaire en général. Ce résultat s'explique par le fait que l'efficacité du ralentissement s'observe principalement lors de la découverte ou l'entrée dans une activité nouvelle. Or dans *AppLINO+*, lorsque l'activité se répète de manière identique, la consigne n'est plus un obstacle car l'activité est comprise par l'élève après quelques répétitions. En étudiant les résultats par activité, nous avons par contre perçu que dans une activité introduisant du vocabulaire nouveau, les résultats étaient significatifs (voir tableau 13). En effet, le *g* de Hedges (Hedges & Olkin, 1985) est élevé pour l'activité de reconnaissance (et de mémorisation) des mots courants et montre un effet significatif du ralentissement. ($g=0.81$ et $p=0.04$). De plus, un effet sur la conscience phonologique est également perçu ($g=0,041$) bien qu'il ne soit pas significatif.

Tableau 13.*Résultats aux épreuves de LE (comparaison entre GE1 et GE2)*

Epreuves de LE	Hedge's g	SE	Lim inf	Lim sup	Z	p
Reconnaitre une lettre isolée	.00	.37	-.73	.73	.00	1.00
Dénommer oralement des lettres	.04	.37	-.69	.77	.10	.92
Reconnaitre des mots courants	.81	.39	.04	1.57	2.07	.04
Identifier des rimes	.41	.38	-.33	1.15	1.08	.28
Dénommer des parties du corps	.18	.37	-.55	.91	.48	.63
Fluence verbale	.05	.37	-.68	.78	.14	.89

Ces résultats confortent ceux d'autres études (Saleur et al., 2021 ; Tardif et al., 2017) et montrent que le ralentissement de la parole serait efficace pour développer la cognition verbale et les connaissances liées au sens (vocabulaire, conscience phonologique). Nous rejoignons donc la conclusion du chapitre 3. L'association d'une tablette disposant de caractéristiques techniques et ergonomiques avec une application dotée notamment de qualités pédagogiques (Hirsh-Pasek & al., 2015 ; Kursikova, 2016) permet aux élèves avec TSA de progresser.

Discussion générale

La thèse avait pour objectif de répondre à deux hypothèses. Il s'agissait tout d'abord de savoir si l'utilisation d'une application éducative permettait aux élèves avec TSA de développer des compétences en LE et en NE. La seconde hypothèse consistait à déterminer si le ralentissement de la parole améliorait ces compétences.

Effet de l'intervention sur les acquisitions en LE et en NE

Pour tester la première hypothèse, un groupe expérimental a bénéficié de l'application *AppLINOU+* pendant 12 semaines (48 séances de 10 minutes) et un groupe contrôle a profité d'un enseignement traditionnel. Tous les élèves ont été soumis à des tests identiques. En pré test, nous avons utilisé celui de la WPPSI-4 (Wechsler, 2014), des épreuves de la PEP-3 (Schopler et al., 2021) ainsi que ceux de l'Echelle Préscolaire de Littératie Émergente (EPLÉ, Thomas et al., 2021a) et les échelles développées par Thomas et al. (2021b) pour la NE. Les résultats nous ont permis de répartir les élèves en trois groupes comparables du point de vue des scores aux pré-tests (deux groupes expérimentaux et un groupe contrôle). À l'issue de l'expérimentation, nous avons mesuré les progrès des élèves avec l'EPLÉ et les échelles en NE. Les résultats montrent que les élèves des groupes expérimentaux ayant utilisé *AppLINOU+* progressent de façon significative par rapport aux élèves du groupe contrôle. Ces résultats sont conformes à certaines études (par ex., Spooner et al., 2014) et montrent que des applications éducatives peuvent développer les compétences scolaires des élèves avec TSA.

Nous avons montré que ces résultats s'obtiennent lorsque les applications disposent de certaines qualités. En effet, à la suite de Hirsh Pasek et ses collaborateurs (2015), nous pensons que les applications éducatives doivent disposer de qualités pédagogiques. Ainsi, les activités doivent avoir du sens pour l'enfant : il doit être engagé dans son travail et l'apprentissage doit être actif. De plus, grâce à notre analyse des applications sur le marché, nos essais sur le terrain, nos échanges lors des temps de co-conception avec des enseignants, il nous semble important que les applications éducatives soient dotées de qualités fonctionnelles. *AppLINOU+* propose des consignes courtes et simples (Murphy, 2006) avec la possibilité de les ralentir (Tardif et al., 2017), un univers graphique et sonore épuré (Bertone et al., 2005), ainsi que des *feedbacks* avec différents niveaux d'aide et le renforcement des réponses (Tarbox et al., 2006).

L'application *AppLINOU+* répond à plusieurs principes annoncés par Fletcher-Watson et ses collaborateurs (2015) : 1° un travail de conception théorique appuyé sur la littérature scientifique et

l'examen des applications existantes ; 2° un travail interdisciplinaire ; 3° une évaluation formative visant à améliorer l'application, étant donné que l'expérimentation d'*AppLINO* et d'*AppLINO+* va donner lieu à une deuxième version intégrant les remarques des enseignants et des élèves qui ont utilisé l'application dans leur classe et 4° une personnalisation importante, qui sera proposée dans la deuxième version, pour s'adapter au mieux aux différents profils et besoins des apprenants (comme par exemple un tableau de bord enseignant mais aussi un tableau de bord élève qui lui indique où il se situe dans son parcours d'acquisition de compétences).

L'apport du ralentissement

Nous avons testé également une seconde hypothèse pour savoir si le ralentissement de la parole de 30% permettait aux élèves avec TSA d'améliorer les compétences en LE et NE. En nous appuyant sur les travaux de Tardif et ses collaborateurs (2017), nous avons testé le ralentissement de la parole dans une première étude menée auprès de 22 élèves avec TSA âgés de 4 à 6 ans, scolarisés en inclusion, comparés à 40 élèves au développement typique du même âge. Nous leur avons proposé deux tests : une épreuve de répétition de phrases de la Nepsy 2 (Korkman, 2012) et une autre portant sur les concepts verbaux du Boëhm-3 (Boëhm, 2009). Les items sont présentés en vitesse réelle et ralentie. Les résultats montrent que tous les enfants ont bénéficié du ralentissement. Ce dernier est d'autant plus efficace que le niveau de complexité n'est pas trop éloigné de ce que l'élève est capable de répéter sans ralentissement. Une amélioration significative de la compréhension des concepts verbaux est notée lorsque le mot est complexe. Nous montrons ainsi que dans ces conditions de présentation unique d'items verbaux, le ralentissement est une aide importante pour permettre à des élèves avec TSA de mieux comprendre, écouter et mémoriser. Cependant, il n'est efficace que si les notions se situent dans la zone proximale de développement (Vygotski, 1985). Quand les concepts sont trop simples, il n'apporte pas de plus-value.

Ces résultats encourageants nous ont suggéré d'insérer le ralentissement de la parole dans l'application *AppLINO+*. Pour mesurer ses effets, nous avons constitué un groupe expérimental de 14 élèves qui bénéficient d'un ralentissement de 30% de toutes les consignes (GE2) et un autre groupe de 13 élèves qui ont utilisé *AppLINO+* en version classique (GE1). Les résultats exposés dans le précédent chapitre ne nous permettent pas de valider notre deuxième hypothèse car les gains sont similaires dans les deux groupes expérimentaux pour l'ensemble des activités. Le ralentissement de la parole serait donc utile pour débiter des activités, c'est-à-dire en avoir une compréhension rapide car il permettrait de mieux comprendre la consigne. Cependant dans notre application, les activités étaient répétitives, la consigne en elle-même devenait inutile car les élèves savaient après quelques

répétitions quelle était la tâche à accomplir. Néanmoins, nous avons cherché à savoir si les résultats sont identiques pour chacune des activités de LE et NE et nous avons constaté des gains significatifs pour l'épreuve de vocabulaire ($g=0,81$; $p=0,04$). Concernant l'activité d'identification des rimes, le gain est modéré ($g= 0,41$) mais les résultats ne sont pas significatifs ($p=0,28$). Dans ces deux activités, la consigne comprenait des mots différents à chaque fois, il était donc nécessaire de bien la comprendre pour réaliser la tâche demandée. Ces résultats confortent ceux de notre première étude et montrent que le ralentissement pourrait améliorer la compréhension verbale et faciliterait l'acquisition du vocabulaire et de la conscience phonologique, activités souvent sources de difficultés pour les enfants porteurs de TSA (Dydia et al., 2014, 2016). Lorsque les orthophonistes utilisent *LOGIRAL* toute l'année, l'effet du ralentissement ne s'atténue pas car les consignes ne sont pas répétitives. Des progrès peuvent donc être constatés (Tardif et al., 2016 ; Charrier et al., 2014, 2017 ; Gepner et al. 2021).

Les limites

Notre étude expérimentale présente un certain nombre de limites.

Premièrement, même si nous avons dépassé le nombre moyen de participants avec TSA par rapport aux autres études, notre effectif aurait pu être plus important encore pour donner plus de robustesse à nos résultats. Initialement, l'effectif total était de 40 enfants, or nous avons dû retirer quatre élèves au moment du traitement des résultats car le protocole expérimental n'avait pas été respecté.

Deuxièmement, notre échantillon n'était pas aléatoire, tous les enseignants concernés s'étaient portés volontaires pour participer à l'étude. Comme ce processus de sélection peut affecter la généralisation de nos résultats, d'autres essais contrôlés aléatoires sont nécessaires pour confirmer et développer nos résultats.

Troisièmement, l'application *AppLINO+* couvrait un large éventail de compétences en LE et NE. Par conséquent, les élèves n'ont pu faire une même activité que deux fois par période et n'ont donc pas pu bénéficier des gains obtenus par la répétition plus importante des activités (voir Sung et al., 2015, et Sung et al., 2016, pour des méta-analyses mettant en évidence le lien entre l'utilisation répétée d'un outil d'apprentissage et les gains d'apprentissage). De même, la durée limitée du programme peut avoir restreint les gains d'apprentissage. Nous prévoyons d'autres études pour examiner cette question.

Quatrièmement, des études qualitatives détaillées sont nécessaires pour explorer la perception qu'ont les enseignants de l'application et la façon dont ils l'utilisent en classe. Les recherches

analysant les succès et les échecs de la mise en œuvre de pratiques fondées sur des preuves (par exemple, Fixsen, 2005 ; Nilsen, 2015) ont montré la nécessité de cycles d'amélioration. De même, il serait utile de déterminer comment les élèves s'approprient l'application. De telles données qualitatives amélioreraient notre compréhension théorique de la façon dont les applications éducatives contribuent à l'apprentissage des élèves avec TSA et de certaines spécificités propres à ces élèves ou à certains en particulier.

Les implications pratiques

Les enseignants peuvent éprouver des difficultés à intégrer des outils numériques dans leur classe (Fage et al., 2018 ; Garnier, 2018). Le numérique serait plutôt utilisé individuellement en classe spécialisée (Garnier, 2018). Or, des études récentes montrent les avantages à introduire des tablettes numériques afin de favoriser, par exemple, les interactions entre les élèves avec TSA et les élèves au développement typique (par ex., Briet et al., 2018). Ganier (2017) a montré qu'en comparant des activités équivalentes en papier-crayon, le numérique favoriserait davantage l'autonomie, la concentration et la motivation grâce notamment aux *feedbacks* immédiats. Renaud & Cherruault-Anouge (2018) mettent également en évidence plusieurs points positifs dans l'association d'une tablette numérique avec une application. Elles constatent des bénéfices dans la communication en notant une baisse des troubles du comportement et une augmentation des interactions positives, dans la cognition avec le développement et la consolidation d'apprentissages (Stasolla et al., 2016 ; Kagohara et al., 2013), ainsi qu'en autonomie (par ex., Mercier et al., 2018).

Néanmoins, certains élèves utilisent les applications à contre-emploi (par ex., Garnier, 2017) par exemple uniquement en cliquant sur un bouton sans autre intention que de déclencher un son répétitivement. L'accompagnement de l'enfant par un adulte semble donc nécessaire pour limiter cet effet contre-productif (Dini et al., 2021). Si le développement des applications numériques a permis d'ouvrir de nouvelles perspectives pédagogiques, il nous semble important de proposer quelques recommandations pratiques pour les enseignants qui souhaitent utiliser des outils numériques dans leur classe. Une enquête menée par l'Éducation Nationale (Profetic, 2017) montre que 9 enseignants sur 10 reconnaissent les bénéfices pédagogiques du numérique et l'utilisent pour préparer leur cours. Ils le jugent majoritairement positif pour le suivi des élèves porteurs de handicap (73%). Pour adapter son enseignement en utilisant le numérique, l'enseignant doit connaître les besoins spécifiques et particuliers de ses élèves mais il doit également être ouvert à l'acquisition de nouvelles compétences pédagogiques. Dini et ses collaborateurs (2021) évoquent l'importance de former les personnes qui accompagnent les élèves avec TSA dans leur utilisation des tablettes numériques, aussi bien aux

aspects techniques et pédagogiques afin de gérer d'éventuelles pannes (Garnier, 2017) que pour personnaliser les applications par exemple (Renaud & Cherruault-Anouge, 2018). Martin (2018) suggère de leur fournir un guide pédagogique qui faciliterait aussi une généralisation des apprentissages *via* une transposition dans le réel. De plus, nous avons déjà souligné que la fin des séances d'utilisation de l'application doit être anticipée (Virole, 2015). Le recours à un *timer* permettrait de réglementer le temps (Dini et al., 2021). Enfin, concernant le matériel, notre expérimentation a montré que l'utilisation d'un casque anti-bruit est nécessaire ainsi qu'un écran de concentration qui réduit les stimuli sonores et visuels et permet à l'élève avec TSA d'utiliser une tablette numérique au sein de sa classe.

Le recours à des applications numériques adaptées permettrait ainsi de favoriser l'inclusion sociale des élèves avec TSA (Renaud & Cherruault-Anouge, 2018). Un usage avec les pairs de la classe diminuerait l'isolement et permettrait de développer les comportements pro-sociaux. Tel a été l'objectif supplémentaire d'*AppLINO*+ car en proposant à l'élève avec TSA de travailler la moitié du temps avec un élève de sa classe d'inclusion, nous souhaitons développer les compétences sociales. Pour mesurer les progrès, nous avons utilisé le test du Profil Socio-Affectif (Dumas et al., 1997) soumis aux élèves au début et à la fin de l'expérimentation et rempli par l'enseignant et l'AESH. Les résultats n'ont pas été exploitables - sans doute en raison d'une durée trop courte et du contexte de pandémie qui a différé nos possibilités d'intervention en classe. Néanmoins, nous avons soumis un questionnaire aux enseignants qui ont bénéficié de l'expérimentation (voir annexe 10) et les réponses ont montré que selon les 2/3 des enseignants, les relations avec les pairs se sont améliorées. Ils sont également 77,5% à trouver que l'application numérique a permis de développer de nouvelles compétences scolaires et/ou sociales.

Un pas supplémentaire serait donc à franchir afin de passer de l'utilisation d'une tablette individuellement, en classe spécialisée, à un usage collectif en milieu inclusif (Garnier, 2018).

Vers une nouvelle version d'*AppLINO* +

Afin de répondre au mieux aux besoins particuliers des enfants et notamment les élèves avec TSA, toute l'équipe de co-conception d'*AppLINO* travaille sur une deuxième version des applications. Nous souhaiterions développer de nouvelles fonctionnalités en proposant un apprentissage plus individualisé aux élèves (*adaptive learning*, en anglais), en introduisant, par exemple, des tableaux de bords pour les enseignants et les élèves avec certaines caractéristiques que nous développons dans le paragraphe suivant. La personnalisation de l'interface est également nécessaire (Vandromme, 2018).

L'apprentissage adaptatif permet de prendre en compte les caractéristiques des élèves et d'individualiser leurs parcours (Shute & Towle, 2010). De nombreuses recherches ont montré qu'il peut influencer positivement les résultats scolaires et la motivation des élèves (Papoušek & Pelánek, 2015). De même, les applications éducatives peuvent fournir des données en temps réel sous la forme de tableaux de bord pour les enseignants (Molenaar et al., 2018 ; Verbert et al., 2020). Ils apportent des informations essentielles et variées sur les progrès des élèves : réponses correctes et incorrectes, types d'erreurs, ou temps passé à réaliser l'activité (Jivet et al., 2018). Ainsi, les informations des tableaux de bord aident les enseignants à diagnostiquer plus précisément les besoins des élèves et à sélectionner les étayages et les *feedbacks* appropriés (Van Leeuwen & Rummel, 2020). Ils auront aussi la possibilité d'éditer de nouveaux contenus sur l'application. Concernant, les tableaux de bord des élèves, ils se présentent souvent comme des interfaces graphiques qui capturent et visualisent des données concernant leurs activités. Ils ont pour objectif de favoriser la prise de conscience des apprentissages de l'élève, l'autorégulation et la recherche de sens (Verbert et al., 2014).

Renault & Cherruault-Anouge (2018) expliquent que la personnalisation de l'interface des applications numériques est une nécessité compte tenu des caractéristiques très variées des personnes porteuses de TSA. Dans son étude, Garnier (2017) constate par exemple qu'un son peut produire soit davantage de concentration sur la tâche, soit devenir une source de détournement, ce qui soulève l'importance d'un paramétrage nécessaire. Un apprentissage personnalisé permettrait à l'apprenant de prendre part aux choix des ressources, en choisissant par exemple de compter des trains plutôt que des animaux. Les renforçateurs pourraient être choisis en fonction de l'enfant, les couleurs également. Kurcikova et ses collaborateurs (2014) ont montré que la personnalisation de l'interface d'une application utilisée par des enfants au développement typique qui ont choisi des photographies, les sons et les commentaires de texte pour la création d'un récit avait entraîné un engagement important dans la tâche (mais ces auteurs n'ont pas évalué les effets de l'outil sur le développement de compétences).

Passer d'une personnalisation adaptative à une personnalisation collaborative impliquant l'enfant dans toutes les étapes de l'apprentissage (Youssef & Audran, 2019) serait un défi supplémentaire à relever.

Conclusion

Les travaux expérimentaux menés au cours de cette thèse nous ont permis de montrer qu'une application qui respecte certaines qualités pédagogiques et fonctionnelles permet aux élèves avec TSA, entre 4 et 6 ans, d'effectuer des progrès conséquents et favorise ainsi l'inclusion de ces enfants. Nos résultats valident notre première hypothèse car les enfants ayant bénéficié de l'application *AppLINOU+* ont significativement amélioré leurs compétences en LE et NE, corroborant de précédentes études qui soulignaient également l'intérêt d'utiliser une tablette numérique et des applications pour développer des compétences scolaires (Stasolla et al. 2016 ; Spooner et al., 2014). D'une manière plus générale, le numérique peut apporter aux personnes avec TSA une aide à l'autonomie, à la communication et aux compétences sociales et peut favoriser l'inclusion scolaire (Vandromme, 2018).

Cependant, nos résultats ne valident pas notre seconde hypothèse. Les gains de performances attendus par le ralentissement de la parole ne sont pas significatifs globalement mais uniquement pour certaines activités, comme celle travaillant le vocabulaire. Les consignes sont constituées d'un lexique nouveau nécessitant de fait systématiquement une attention et un effort de compréhension verbal facilité par le ralentissement. Nous avons souligné les avantages du ralentissement sur les performances dans le domaine de l'imitation (Lainé et al., 2008, 2011), de l'écriture (Godde, 2017), de la cognition verbale (Tardif et al., 2017 ; Gepner et al., 2021), de la répétition de phrases et de la compréhension verbale de concepts (Saleur et al., 2021). D'autres travaux montrent également qu'il permet de mieux reconnaître les expressions faciales (Gepner et al. 2001, 2021 ; Tardif et al. 2007), de mieux explorer le visage en général (Gepner et al., 2020 ; Tardif et al., 2016), d'améliorer la communication non verbale et la réciprocité sociale (Meiss et al., 2015), de mieux traiter les informations auditivo-verbales (Tardif et al., 2002) enfin d'augmenter l'attention en diminuant les comportements inadaptés (Charrier, 2014 ; Meiss et al., 2015). Notre étude aura permis de constater que le ralentissement est bénéfique pour amorcer des situations nouvelles en donnant un accès plus rapide à la compréhension verbale mais les effets mesurés à long terme s'estompent car une fois comprise, la consigne répétée à l'identique ne pose plus de problème de compréhension et n'entrave pas les progrès de l'enfant.

Dans ces conditions, nous soutenons toutefois que les applications numériques adaptées et le ralentissement des images, des vidéos et des sons grâce à des logiciels comme *LOGIRAL* (Tardif & Gepner, 2012, 2014) sont des aides au service des élèves avec TSA et des outils pour les enseignants

qui les accueillent. Ces applications permettent de travailler une grande palette de compétences scolaires : des apprentissages fondamentaux comme les mathématiques et le français, des apprentissages sociaux, l'ajustement des comportements, le travail des émotions, ou l'exercice de gestes de la vie quotidienne. L'offre du marché est grandissante, et tous les produits n'offrent pas des garanties suffisantes de qualité. Costa Aguiar et ses collaborateurs (2020) ont ainsi répertorié 69 recommandations pour aider les praticiens et les parents à évaluer et choisir une application numérique. Ces auteures soulignent notamment, comme nous l'avons mentionné, l'importance de personnaliser l'application en fonction du niveau de développement, des intérêts particuliers et des particularités sensorielles de l'utilisateur qui d'un élève à l'autre peuvent être très différentes et très perturbantes. Elles rejoignent également d'autres travaux en proposant une interface simple, la réduction des informations non pertinentes ainsi que la répétition et la décomposition des tâches (Murray, 1997 ; Knight et al., 2013), sans oublier la présence de *feedbacks* immédiats (Tarbox et al., 2006). On ne peut donc se passer de l'expertise des chercheurs spécialisés (notamment en psychologie du développement et de l'éducation) ainsi que des enseignants pour évaluer l'efficacité des outils. Il est également important de tenir compte du retour des parents et des élèves eux-mêmes. Enfin, soulignons que les recherches expérimentales actuelles devraient compter des effectifs suffisants pour pouvoir vérifier scientifiquement, statistiquement les progrès des élèves.

L'utilisation d'outils numériques adaptés, complémentaires aux outils traditionnels (Garnier, 2017) pourrait répondre à la demande des enseignants. La tablette numérique ne les remplacera en aucun cas, mais il s'agit d'une aide précieuse pour différencier les apprentissages (Philip et al., 2014), gagner du temps de préparation (Chien et al., 2015), de la disponibilité, pouvoir observer les stratégies des élèves au travail (leurs erreurs, leurs réussites, leur progrès si l'application intègre un tableau de bord) et travailler avec davantage d'élèves simultanément de manière individualisée et cadrée (Tincani & Boutot, 2005). Les enseignants ne manquent pas de motivation pour différencier les apprentissages mais souvent de moyens pour les mettre en œuvre. S'il est crucial d'interroger les qualités fonctionnelles et pédagogiques des applications pour en améliorer l'efficacité, il ne faut pas négliger l'importance du rôle de la formation à l'usage de ces outils (Phillip et al., 2014). Cette dernière semble être la condition d'un essaimage dans les pratiques et d'un usage éclairé et expert des applications dont on apprend au préalable à connaître et maîtriser soi-même les fonctionnalités pour utiliser les applications optimalement avec les élèves. Phillip et ses collaborateurs (2014) suggèrent également de réduire les effectifs des classes lorsqu'un enfant à besoins éducatifs particuliers est



accueilli, comme c'est le cas en Italie, par exemple. Enfin, elles préconisent également de scolariser précocement les élèves avec TSA et sur des durées significatives.

Depuis la première loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, les effectifs d'élèves en situation de handicap dans le premier et second degré sont passés de plus de 133 000 à 409 000 lors de la rentrée 2021 (DEPP, 2022). En 2019, la loi pour une école de la confiance (« loi Blanquer ») a rendu la scolarisation pour tous obligatoire à 3 ans, des PIAL (Pôle Inclusif d'Accompagnement localisé) ont été créés dans chaque département et le statut des AESH est mieux reconnu. De plus, une plateforme, Cap Ecole Inclusive, propose des ressources aux enseignants et l'application *Livret de parcours inclusif* permet de mieux suivre le parcours scolaire des enfants à besoins éducatifs particuliers. L'école est donc de plus en plus inclusive mais les attentes sont encore fortes. Des études montrent les bénéfices de l'école inclusive (par ex., Nahamias, 2014) mais d'importants efforts d'accompagnement et d'aménagements au sein de l'école restent nécessaires pour favoriser l'inclusion (Kasari et al., 2011).

Il est enfin crucial également d'informer la communauté éducative (les enseignants mais aussi les parents) sur les outils existants qui ont fait leurs preuves, de leur préciser à quel public ils s'adressent, les conditions d'utilisation et bien sûr les compétences visées. C'est notamment l'une des missions du Groupe de Travail sur le numérique initié en décembre 2021 par le Ministère de l'Education Nationale et sa Direction du Numérique Educatif.

Bibliographie

- Adrien, J.L. (2008). BECS : Batterie d'évaluation cognitive et socio-émotionnelle. Pratiques psychologiques et recherches cliniques auprès des enfants atteints de TED. Paris : De Boeck Supérieur
- Akoa, N. & Houillon, J.-C. (2016). Approche des représentations sociales des enseignants du milieu ordinaire et du milieu spécialisé scolarisant des élèves avec autisme. *ANAE*, 140(1), 117-132
- Allen, M. L., Hartley, C. & Cain, K. (2016). iPads and the use of 'apps' by children with Autism Spectrum Disorder: Do they promote learning? *Frontiers in Psychology*, 7, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01305>
- Amar, D., Goléa, A., Wolff, M., Gattegno, M. P., Adrien, J.-L. (2012). Apports des tablettes tactiles pour jeunes adultes présentant une déficience mentale ou un trouble autistique : étude de cas. USA : ACM Press, 169-172
- American Psychiatric Association (1968). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM 2). Washington DC: American Psychiatric Association
- American Psychiatric Association (1980). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM 3). Washington DC: American Psychiatric Association
- American Psychiatric Association (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM 4) Washington DC: American Psychiatric Association
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM 4-TR)*. Washington DC: American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)*. Washington DC: American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5 - Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5e édition). Traduit par M.-A. Crocq, J.-D. Guelfi, P. Boyer, C.-B. Pull, & M.-C. Pull. Elsevier Masson.
- Anderson, A., Moore, D. W., Godfrey, R., & Fletcher-Flinn, C. M. (2004). Social skills assessment of children with autism in free-play situations. *Autism*, 8(4), 369-385. <https://doi.org/10.1177/1362361304045216>
- André, A., Bedoin, D., Deneuve, P., Guirimand, N. & Janner-Raimondi, M. (2015). Effets de la politique inclusive à l'école maternelle française : le moment de l'accueil. *Nouvelle Revue de l'Adaptation et de la Scolarisation*, 69, 59-71. <https://doi.org/10.3917/nras.069.0059>
- André A., Kogut P., Tant M. & Midelet J. (2014). Citoyenneté et handicap : le défi inclusif. In A.André (dir.) *La citoyenneté* (64-82). Paris : Éditions revue EPS.

- Arthanat, S., Curtin, C., & Knotak, D. (2013). Comparative observations of learning engagement by students with developmental disabilities using an iPad and computer: A pilot study. *Assistive Technology*, 25(4), 204-213. <https://doi.org/10.1080/10400435.2012.761293>
- Asperger, H. (1944). Die Autistischen Psychopaten im Kindesalter. *Archiv für psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 117, 76-136. <https://doi.org/10.1007/BF01837709>
- Aubineau, L.-H., Vandromme L. et Le Driant, B. (2015). L'attention conjointe, quarante ans d'évaluations et de recherches de modélisations. *L'Année psychologique*, 115(01), 141-174. <https://doi.org/10.4074/S0003503315001062>
- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental Dynamics of Math Performance From Preschool to Grade 2. *Journal of Educational Psychology*, 96(4), 699-713. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699>
- Bara, F., Gentaz, É., & Colé, P. (2008). Littératie précoce et apprentissage de la lecture : Comparaison entre des enfants à risque, scolarisés en France dans des réseaux d'éducation prioritaire, et des enfants de classes régulières. *Revue des sciences de l'éducation*, 34(1), 27-45. <https://doi.org/10.7202/018988ar>
- Baroody, A. J., Eiland, M. & Thompson, B. (2009). Fostering At-Risk Preschoolers' Number Sense. *Early Education & Development* 20 (1), 80–128. <https://doi.org/10.1080/10409280802206619>
- Baroody, A. J. & Wilkins, J. L. M. (1999). The Development of Informal Counting, Number, and Arithmetic Skills and Concepts. In *Mathematics in the Early Years*, edited by J. V. Copley, 48–65. Washington, DC: National Association for the Education of Young Children.
- Baron-Cohen, S. (1989). Perceptual role taking and protodeclarative pointing in autism. *British Journal of Developmental Psychology*, 7 (2), 113–127. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1989.tb00793.x>
- Baron-Cohen, S (2000). Early identification of autism by the Checklist for Autism in Toddlers (CHAT). *Journal of the Royal Society of Medicine*, 93, 521-35. <https://doi.org/10.1177/014107680009301007>
- Baron-Cohen, S., Campbell, R., Karmiloff-Smith, A., & Grant, J. (1995). Are children with autism blind to the mentalistic significance of the eyes? *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 379-398. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1995.tb00687.x>
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21 (1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90022-8)
- Baron-Cohen, S., Sptiz, A. & Cross, P. (1993). Do children with autism recognize surprise? A research

- note. *Cognition and Emotion*, 7, 507-516. <https://doi.org/10.1080/02699939308409202>
- Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H. & Cohen, D. (1993). *Understanding other minds: perspectives from autism*, Oxford: Oxford University Press.
- Barrett, S., Prior, M., & Manjiviona, J. (2004). Children on the borderlands of autism: Differential characteristics in social, imaginative, communicative and repetitive behavior domains. *Autism*, 8 (1), 61–87. <https://doi.org/10.1177/1362361304040640>
- Barthélémy, C. & Lelord, G. (2003). ECAR-Echelle d'Evaluation des Comportements Autistiques (version revisitée). ECPA
- Ben-Sasson, A., Hen, L., Fluss, R., Cermak, S.A., Engel-Yeger, B. & Gal, E. (2009). A Meta-Analysis of Sensory Modulation Symptoms in Individuals with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0593-3>
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, 128(10), 2430-2441. <https://doi.org/10.1093/brain/awh561>
- Bianco, M., Bressoux, P., Doyen, A.-L., Lambert, E., Lima, L., Pellenk, C. & Zorman, M. (2010). Early Training in Oral Comprehension and Phonological Skills: Results of a Three-Year Longitudinal Study. *Scientific Studies of Reading*, 15(3), 211-246. <https://doi.org/10.1080/10888430903117518>
- Bishop, D. V. M., & Adams, C. (1990). A prospective study of the relationship between specific language impairment, phonological disorders, and reading retardation. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 31, 1027-1050. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1990.tb00844.x>
- Blancher, J., Howell, E., Lauderdale-Littin, S., Di Genaro, F. & Laugeson, E.A. (2014). Autism Spectrum Disorder and the student relationship: a comparison study peers with intellectual disability and typical development. *Research in autism spectrum disorder*, 8(3), 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.12.008>
- Bleuer, E. (1911). *Dementia praecox oder Gruppe der Schizophrenien*, rééd. *Dementia praecox ou Groupe des schizophrénies*, GREC/EPEL, 2001, *École lacanienne de psychanalyse*
- Boëhm A.E. (2009) *Boëhm-3- Test des concepts de base. Évaluer 26 concepts fondamentaux de la PSM à la GSM*. Paris: Pearson
- Bondy, A.S & Frost, L.A. (1994). The Picture Exchange Communication System. *Focus on Autistic Behavior*, 9 (3), 1-19. <https://doi.org/10.1177/108835769400900301>

- Borre, A. J., Bernhard, J., Bleiker, C., & Winsler, A. (2019). Preschool literacy intervention for low-income, ethnically diverse children: Effects of the early authors program through kindergarten. *Journal of Education for Students Placed at Risk*, 24(2), 132-153. <https://doi.org/10.1080/10824669.2019.1594818>
- Bose, M.-L. & Zagar, D. (2016). La conscience phonémique en maternelle : Etat des connaissances et Proposition d'évolution des pratiques pédagogiques actuelles. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'enfant, Pléiomédia*, 139, 573-582.
- Boujut, E. & Cappe, E. (2016). La scolarisation des élèves autistes. Comparaison du vécu des enseignants en milieux ordinaires et spécialisés. *Education & Formation*, 92, 137-152
- Boukéras, A. (2018). Enfants avec TSA : méthodes et outils d'apprentissage pour la scolarisation. In Garnier, P. (2018). *Scolariser des élèves avec trouble du spectre de l'autisme. INSHEA*, 93-100
- Bourgeron, T. (2020). *Que nous apprend la recherche génétique sur l'autisme ?* Conférence Université de Genève, 27 février 2020.
- Bourgeron, T. (2015). From the genetic architecture to synaptic plasticity in autism spectrum disorder. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(9), 551-563. <https://doi.org/10.1038/nrn3992>
- Bourgeron, T., Leboyer, M. et Delorme, R. (2009). Autisme, la piste génétique se confirme. *Enfance* (1), 93-98. <https://doi.org/10.3917/enf1.091.0093>
- Bourgueil, O., Regnault, G., & Moutier, S. (2015). Création d'outils numériques pour personnes avec Trouble du spectre de l'autisme : De la recherche à la pratique, et vice versa. *Enfance*, 1(1), 111-126. <https://doi.org/10.4074/S001375451500107X>
- Briet, G., Le Sourn-Bissaoui, S., Le Maner-Idrissi, G., Peri, M., Blanco, C., Le Marec, O. & Seveno, T. (2018). La tablette tactile : une interface numérique pour favoriser les interactions sociales à l'école chez deux enfants présentant un trouble du spectre de l'autisme. *Education et Formation*, 311,15-30.
- Brouche, S., Bloch, E., Rigal, N., Cazalis, F., Baleyte, J. M. (2020). Liens entre spécificités sensorielles et sévérité des symptômes dans le trouble du spectre de l'autisme chez de jeunes enfants. Congrès Français de Psychiatrie, 12è édition, Strasbourg, France.
- Brunelle, F., Bargiacchi, A., Chabane, N., Saitovitch, A., Grévent, D. & Zilbovicius, M. (2012). Imagerie cérébrale dans l'autisme infantile. *Archives de Pédiatrie*, 19, 547-550. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2012.02.005>
- Burckley, E., Tincani, M., & Guld Fisher, A. (2015). An iPad™-based picture and video activity schedule increases community shopping skills of a young adult with autism spectrum disorder

- and intellectual disability. *Developmental Neurorehabilitation*, 18(2), 131-136. <https://doi.org/10.3109/17518423.2014.945045>
- Burgess, S.R. & Lonigan, C.J. (1998). Bidirectional Relations of Phonological Sensitivity and Prereading Abilities: Evidence from a Preschool Sample. *Journal of Experimental Child Psychology*, 70, 117-141. <https://doi.org/10.1006/jecp.1998.2450>
- Cabell, S. Q., Gerde, H. K., Hwang, H., Bowles, R., Skibbe, L., Piasta, S. B., & Justice, L. M. (2021). Rate of Growth of Preschool-Age Children's Oral Language and Decoding Skills Predicts Beginning Writing Ability. *Early Education and Development*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/10409289.2021.1952390>
- Campigotto, R., Mc Even, R. & Epp, CD (2013). Especially social: Exploring the use of an iOS application in special needs classrooms. *Computers & Education*, 60(1), 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.08.002>
- Cappe, E., Boujut, E. & Smock, N. (2016). Scolarisation des enfants ayant un trouble du spectre de l'autisme et expérience des enseignants : sentiment d'auto-efficacité, stress perçu et soutien social perçu. *L'Evolution Psychiatrique*, 81 (1), 73-91. <https://doi.org/10.1016/j.evopsy.2015.05.006>
- Carpenter, B., Happé, F. & Egerton, J. (2019). *Girls and Autism: Educational, Family and Personal Perspectives*. London: Routledge
- Catts, H. W., Herrera, S., Nielsen, D. C., & Bridges, M. S. (2015). Early prediction of reading comprehension within the Simple View framework. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 28, 1407-1425. <https://doi.org/10.1007/s11145-015-9576-x>
- Chard, D., Clarke, J.B., Baker, S. Otterstedt, J., Braun D. & Katz, R. (2005) Using Measures of Number Sense to Screen for Difficulties in Mathematics: Preliminary Findings. *Assessment for Effective Intervention*, 30 (2), 3–14.
- Charman, T., Pickles, A., Simonoff, E., Chandler, S., Loucas, T., & Baird, G. (2011). IQ in children with autism spectrum disorders: data from the Special Needs and Autism Project (SNAP). *Psychological medicine*, 41(3), 619-627. <https://doi.org/10.1017/S0033291710000991>
- Charman, T., Drew, A., Baird, C., & Baird, G. (2003). Measuring early language development in preschool children with autism spectrum disorder using the MacArthur Communicative Development Inventory (Infant Form). *Journal of Child Language*, 30(1), 213-236. <https://doi.org/10.1017/S0305000902005482>
- Charrier, A. (2014). Améliorer les compétences communicatives dans l'autisme en ralentissant les informations auditives et visuelles : Une étude longitudinale et comportementale avec

- l'oculométrie [Thesis, Aix-Marseille]. <http://www.theses.fr/2014AIXM3092>
- Charrier, A., Tardif, C. & Gepner, B. (2014). Impact du ralentissement des informations faciales dynamiques dans l'autisme : une étude en oculométrie. *Bulletin scientifique de l'Arapi*, 33, 33-38
- Charrier, A., Tardif C, Gepner B (2017). Amélioration de l'exploration visuelle d'un visage par des enfants avec autisme grâce au ralentissement de la dynamique faciale : une étude préliminaire en oculométrie. *L'Encéphale*, 43, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.02.005>
- Chastang, G, Lindivat, A., Delmestre, J., Soares, A., Kapassi, A., Avenin, G., Petidemange, S. & Ibanez, G. (2019). Vécus de parents et d'enseignants de la prise en charge des enfants souffrant de troubles du spectre autistique. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 67 (8), 383–39. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.09.001>
- Chauvière, M. (2018). Etapes et enjeux de la construction du handicap au sein des politiques sociales françaises : 1939-2005. *Alter*, 12(2), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.alter.2018.04.006>
- Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2012). Context modulates attention to social scenes in toddlers with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53, 8, 903–913. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05279-z>
- Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2013). Decreased Spontaneous Attention to Social Scenes in 6-Month-Old Infants Later Diagnosed with Autism Spectrum Disorders. *Biological Psychiatry*, 74, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.11.022>
- Chiang, H.-M., & Lin, Y.-H. (2007). Mathematical ability of students with Asperger syndrome and high-functioning autism: A review of literature. *Autism*, 11(6), 547–556. <https://doi.org/10.1177/1362361307083259>
- Churchod-Ruedi, D., Ramel, S., Bonvin, S., Albanese, O. & Doudin, P.A. (2013). De l'intégration à l'inclusion scolaire : implication des enseignants et importance du soutien social. *European journal of Disability Research*, 75(2), 135-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.alter.2012.11.008>
- Cihak, D., Fahrenkrog, C., Ayres, K. M., & Smith, C. (2010). The Use of Video Modeling via a Video iPod and a System of Least Prompts to Improve Transitional Behaviors for Students with Autism Spectrum Disorders in the General Education Classroom. *Journal of Positive Behavior Interventions*, 12(2), 103-115. <https://doi.org/10.1177/1098300709332346>
- Clarke, B. & Shinn, M.R. (2004). A Preliminary Investigation Into the Identification and Development of Early Mathematics Curriculum-Based Measurement. *School Psychology Review*, 33 (2), 234–248.
- Clay, M. M. (1966). *Emergent Reading behavior*. Mémoire de doctorat, sciences de l'éducation,

université d'Auckland (Nouvelle-Zélande).

- Clay, M. (1979). *The Early Detection of Reading Difficulties*. Auckland, New Zealand: Heinemann Educational
- Costa Aguiar, Y P., Galy, E., Godde, A., Trémaud, M. & Tardif, C. (2020): AutismGuide: a usability guidelines to design software solutions for users with autism spectrum disorder. *Behaviour & Information Technology*, 41(6), 1132-1150. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1856927>
- Courchesne, E. (2004). Brain development in autism: early overgrowth followed by premature arrest of growth. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 10 (2), 106–111. <https://doi.org/10.1002/mrdd.20020>
- Courchesne, E., & Pierce, K. (2005a). Brain overgrowth in autism during a critical time in development: implications for frontal pyramidal neuron and interneuron development and connectivity. *International journal of developmental neuroscience*, 23 (2-3), 153–170. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2005.01.003>
- Courchesne, E., & Pierce, K. (2005b). Why the frontal cortex in autism might be talking only to itself: local over-connectivity but long-distance disconnection. *Current opinion in neurobiology*, 15 (2), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.001>
- Courchesne, E., Redcay, E., & Kennedy, D. P. (2004). The autistic brain: birth through adulthood. *Current opinion in neurology*, 17 (4), 489–496. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000137542.14610.b4>
- Croen, L. A., Najjar, D. V., Fireman, B., & Grether, J. K. (2007). Maternal and paternal age and risk of autism spectrum disorders. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 161 (4), 334–340. <https://doi.org/10.1001/archpedi.161.4.334>
- Dauphin, L. (2021). *Élèves en situation de handicap*. Document de travail n°2021.S02 – Série Synthèse. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance
- Dawson, G., Rogers, S., Munson, J., Smith, M., Winter, J., Greenon, J. & Varley, J. (2010). Randomized, Controlled Trial of an Intervention for Toddlers With Autism: The Early Start Denver Model. *Pediatrics*, 125(1), 17-23. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-0958>
- Dawson, M., Soulières, I., Gernsbacher, M.A & Mottron, L. (2015). The Level and Nature of Autistic Intelligence. *Psychological Science*, 18(8), 657-662. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01954.x>
- DEPP (2022). Enquête n° 32 concernant la scolarisation dans les établissements sanitaires et médico-sociaux.
- DEPP et DGESCO (2022). Enquêtes n° 3 et n° 12 relatives aux élèves porteurs de maladies

- invalidantes ou de handicaps scolarisés dans le premier degré et dans le second degré.
- DEPP-MENJS et DGESCO-MENJS (2021). Enquête n° 3 relative aux élèves porteurs de maladies invalidantes ou de handicaps scolarisés dans le premier degré.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. OUP USA.
- De Jong, P.F. & Olson, R.K. (2004). Early predictors of letter knowledge. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88, 254-273. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.03.007>
- Dellapiazza, F., Vernhet, C., Blanc, N., Miot, S., Schmidt, R., & Baghdadli, A. (2018). Links between sensory processing, adaptive behaviours, and attention in children with autism spectrum disorder: A systematic review. *Psychiatry Research*, 270, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.09.023>
- Despert, L.J (1938). Schizophrenia in children. *Psychiatric Quarterly*, 12(2), 366-371
- Despois, J., André, A., Deneuve, P. et Louvet, B. (2016) Étude de la dynamique d'interaction « enseignant-élève porteur de troubles du spectre autistique » à la maternelle. *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 57,83-95, <https://doi.org/10.3406/spira.2016.1747>
- Dickinson, D. K., McCabe, A., Anastasopoulos, L., Peisner-Feinberg, E. S., & Poe, M. D. (2003). The comprehensive language approach to early literacy: The interrelationships among vocabulary, phonological sensitivity, and print knowledge among preschool-aged children. *Journal of Educational Psychology*, 95(3), 465-481. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.3.465>
- Dini, S., Moreno, L. & Veyre, A. (2021). Éléments de réflexion sur les interactions suscitées par l'usage d'applications numériques pour les enfants présentant un trouble du spectre de l'autisme. La nouvelle revue – *Education et société inclusives*, 92, 139-155. <https://doi.org/10.3917/nresi.092.0139>
- Doody, K. R., & Mertz, J. (2013). Preferred play activities of children with autism spectrum disorder in naturalistic settings. *North American Journal of Medicine and Science*, 6(3),128-133. <https://doi.org/10.7156/najms.2013.0603128>
- Dumas, J.E., Lafreniere, P.J., Capuano, F. & Durning, P. (1997). P.S.A - Profil Socio Affectif. Evaluation des compétences sociales du jeune enfant. Paris : Pearson.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., & Duckworth, K. (2007). School Readiness and Letter Achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Dunn, W. (2010). Profil Sensoriel – Mesurer l'impact des troubles sensoriels de l'enfant sur sa vie

- quotidienne. Paris: Pearson.
- Dutillieux, G. (2008). Enseignement des mathématiques et enfants autistes. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, 41, 65-90. <https://doi.org/10.3917/lsele.411.0065>
- Dynia, J. M., Bean, A., & Justice, L. M. (2019). Phonological awareness emergence in preschool children with autism spectrum disorder. *Autism & Developmental Language Impairments*, 4, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2790-9>
- Dynia, J. M., Brock, M. E., Logan, J. A., Justice, L. M., & Kaderavek, J. N. (2016). Comparing children with ASD and their peers' growth in print knowledge. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(7), 2490–2500. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2790-9>
- Dynia, J. M., Lawton, K., Logan, J. A., & Justice, L. M. (2014). Comparing emergent-literacy skills and home- literacy environment of children with autism and their peers. *Topics in Early Childhood Special Education*, 34(3), 142–153. <https://doi.org/10.1177/0271121414536784>
- Dynia, J. M., & Solari, E. J. (2021). Print knowledge in children with autism spectrum disorder: Do child and family variables play a role? *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 52(1), 197–208. https://doi.org/10.1044/2020_LSHSS-20-00025
- Eapen, V., Črnčec, R., & Walter, A. (2013). Clinical outcomes of an early intervention program for preschool children with Autism Spectrum Disorder in a community group setting *BMC Pediatrics*, 13(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-13-3>
- Elliott C.D. (2007). *Differential Abilities Scales* (2nd ed.). San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- Canadian Journal of School Psychology*, 22 (1) ,128-32. <https://doi.org/10.1177/0829573507302967>
- Fage, C., Consel, C.Y., Balland, E., Etchegoyhen, K., Amestoy, A., Bouvard, M., & Sauzéon. H. (2018). Tablet Apps to Support First School Inclusion of Children with Autism Spectrum Disorders (ASD) in Mainstream Classrooms: A Pilot Study. *Frontiers Spotlight*, 9,1-16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02020>
- Farrell, P. (2000). The impact of research on developments in inclusive education. *International Journal of inclusive education*, 4(2), 153–162. <https://doi.org/10.1080/136031100284867>
- Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre*. Que sais-je ? 3941
- Fixsen, D. L., Naoom, S. F., Blase, K. A., Friedman, R. M. & Wallace, F. (2005). *Implementation research: A synthesis of the literature*. Tampa, FL: University of South Florida, Louis de la Parte Florida Mental Health Institute, The National Implementation Research Network (FMHI Publication #231).
- Fletcher-Watson, S. (2014). Evidence-based technology design and commercialisation:

- Recommendations derived from research in education and autism. *Techtrends Tech Trends*, 59, 84–88. <https://doi.org/10.1007/s11528-014-0825-7>
- Fletcher-Watson, S., McConnell, F., Manola, E. & McConachie, H. (2014). Interventions based on the Theory of Mind cognitive model for autism spectrum disorder (ASD). *Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008785.pub2>
- Fletcher-Watson, S., Petrou, A., Scott-Barrett, J., Dicks, P., Graham, C., O’Hare, A., Pain, H., & McConachie, H. (2016). A trial of an iPad TM intervention targeting social communication skills in children with autism. *Autism*, 20(7), 771-782 <https://doi.org/10.1177/1362361315605624>
- Folstein, S.E. & Rosen-Sheidley, B. (2001). Genetics of autism: complex etiology for a heterogeneous disorder. *Nature Review Genetics*, 2(12), 943-955. <https://doi.org/10.1038/35103559>
- Folstein, S. & Rutter, M. (1977). Infantile autism: a genetic study of 21 twin pairs. *Journal of Child Psychology Psychiatry*, 18, 297-321. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1977.tb00443.x>
- Foulin, J.-N. (2007). La connaissance des lettres chez les prélecteurs : Aspects pronostiques, fonctionnels et diagnostiques. *Psychologie Française*, 52(4), 431-444. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2006.12.004>
- Frazier, T. W., Strauss, M., Klingemier, E. W., Zetzer, E. E., Hardan, A. Y., Eng, C., & Youngstrom, E. A. (2017). A Meta-Analysis of Gaze Differences to Social and Nonsocial Information Between Individuals With and Without Autism. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(7), 546-555. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.05.005>
- Friedman, I.A. (2003). Self-efficacy burnout in teaching: the importance of interpersonal-relations efficacy. *Social Psychology in Education*, 6, 191-215. <https://doi.org/10.1023/A:1024723124467>
- Frith, U. (1989). Autism: Explaining the enigma.
- Frombonne, E. (2020). Epidemiological controversies in autism. *Swiss Archives of Neurology, Psychiatry and Psychotherapy*. <https://doi.org/10.4414/sanp.2020.03084>
- Fombonne, E., & De Giacomo, A. (2000). La reconnaissance des signes d’autisme par les parents. *Devenir*, 12 (3), 49-64.
- Fuson, K. C. (1988). *Children’s Counting and Concepts of Number*. New York, NY: Springer-Verlag.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. In C. J. Brainerd (Éd.), *Children’s Logical and Mathematical Cognition*, 33-92. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2_2
- Ganz, J. B., & Simpson, R. L. (2004). Effects on communicative requesting and speech development

- of the picture exchange communication system in children with characteristics of autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 34(4), 395–409. <https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000037416.59095.d7>
- Garnier, P. (2017). Témoignages d’enseignants concernant les usages pédagogiques de la tablette numérique chez des élèves avec TSA. *La nouvelle revue de l’adaptation et de la scolarisation*, 78, 99-117
- Garnier, P. (2018). Enseigner avec une tablette numérique à des élèves présentant des TSA. *Education & Formation*, 31-42
- Gelman, R., & Gallistel, C. (1978). *The Childs Understanding of Number*. Harvard University Press.
- Gepner, B. (2001). “Malvoyance” du mouvement dans l’autisme infantile ? *La psychiatrie de l’enfant*, 44(1), 77-126. <https://doi.org/10.3917/psy.441.0077>
- Gepner, B. (2005). Malvoyance du mouvement dans l’autisme : De la clinique à la recherche et à la rééducation. *L’autisme : de la recherche à la pratique*, Odile Jacob, 205-226
- Gepner, B. (2006). Le monde va trop vite pour les personnes autistes ! Hypothèses neurophysiopsychopathogéniques et implications rééducatives. *Neuropsychiatrie de l’Enfance et de l’Adolescence*, 54(6-7), 371-374. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2006.10.012>
- Gepner, B. (2008). Une nouvelle approche de l’autisme : Des désordres de la communication neuronale aux désordres de la communication humaine. *Interactions*, 1(1), 1-26.
- Gepner, B. (2014). *Autismes ralentir le monde extérieur, calmer le monde intérieur*. Paris : Odile Jacob.
- Gepner, B., Charrier, A., Arciszewski, T. & Tardif, C. (2021). *Slowness Therapy* for Children with Autism Spectrum Disorder: A Blind Longitudinal Randomized Controlled Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 52(7), 3102-3115. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05183-6>
- Gepner, B., Deruelle, C., & Grynfeldt, S. (2001). Motion and Emotion: A Novel Approach to the Study of Face Processing by Young Autistic Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 37-45. <https://doi.org/10.1023/A:1005609629218>
- Gepner, B., & Féron, F. (2009). Autism: A world changing too fast for a mis-wired brain? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(8), 1227-1242. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.06.006>
- Gepner, B., Godde, A., Charrier, A., Carvalho, N., & Tardif, C. (2020). Reducing facial dynamics’ speed during speech enhances attention to mouth in children with autism spectrum disorder:

- An eye-tracking study. *Development and Psychopathology*, 33(3) 1-10. <https://doi.org/10.1017/S0954579420000292>
- Gepner, B., Lainé, F. & Tardif, C. (2005). E-Motions mis-sight and other temporal processing disorders in autism. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 23, 104-121
- Gepner, B., Lainé, F., & Tardif, C. (2010). Désordres de la constellation autistique : Un monde trop rapide pour un cerveau disconnecté ? *Psychopathologie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 8(2), 67-76. <https://doi.org/10.1007/s11836-010-0126-y>
- Gepner, B., & Mestre, D. (2002a). Postural reactivity to fast visual motion differentiates autistic from children with Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32(3), 231-238. <https://doi.org/10.1023/A:1015410015859>
- Gepner, B. & Mestre, D. (2002b) Rapid-visual-motion integration deficit in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(11) 455. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)02004-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)02004-1)
- Gepner, B., Mestre, D., Masson, G., & de Schonen, S. (1995). Postural effects of motion vision in young autistic children. *Neuroreport*, 6(8), 1211-1214. <https://doi.org/10.1097/00001756-199505300-00034>
- Gepner, B. & Tardif, C. (2006). Autism, Movement, Time and Thought E-Motion Mis-Sight and other Temporo-Spatial Processing Disorders in Autism. In M. Vanchevsky (ed), *Frontiers in Cognitive Psychology*, 1-30.
- Gepner, B. & Tardif, C. (2009). Le monde va trop vite pour les autistes. *La Recherche*, 436, 56-59
- Gharani, N., Benayed, R., Manuso, V., Brzustowicz, L.M. & Molonig, J.H. (2004). Association of the homeobox transcription factor, ENGRAILED 2, 3, with autism spectrum disorder. *Molecular Psychiatry*, 9(5), 474-484. <https://doi.org/10.1038/sj.mp.4001498>.
- Gillet, P., Guet, A., Barthélémy, C. (2018). Les TSA à l'école. In P. Garnier (Ed.), *Scolariser des élèves avec trouble du spectre de l'autisme*. Futuroscope : Canopé, 13-24
- Gillespie-Lynch, K., Kapp, S. K., Shane-Simpson, C., Smith, D. S., & Hutman, T. (2014). Intersections Between the Autism Spectrum and the Internet: Perceived Benefits and Preferred Functions of Computer-Mediated Communication. *Intellectual and Developmental Disabilities*, 52(6), 456-469. <https://doi.org/10.1352/1934-9556-52.6.456>
- Ginsburg, H. P., & Baroody, A. J. (2003). *Test of early mathematics ability (3rd ed.)*. Austin, TX: Pro-Ed
- Godde, A. (2017). L'écriture manuscrite dans le trouble du spectre de l'autisme : Une étude couplant oculométrie, tablette graphique et ralentissement des stimuli [Thèse, Université d'Aix-Marseille]. <http://www.theses.fr/2017AIXM0323>

- Goodman, Y. (1967). Reading: A psycholinguistic guessing game ». *Journal of the Reading Specialist*, 4 (6), 126-135. <https://doi.org/10.1080/19388076709556976>
- Goodman, K. S. & Goodman, Y. (1979). Learning to read is natural ». In L. B. Resnick & P. Weaver (dir.), *Theory and practice of earring reading*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 137-155.
- Grandin, T. (1994). *Ma vie d'autiste*. Odile Jacob.
- Greenes, C., Ginsburg, H.P., & Balfanz, R. (2004). Big Math for Little Kids. *Early Childhood Research Quarterly* 19 (1), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.010>
- Grindle, C. F., Hastings, P. R. & Wright, R. J. (2020) *Teaching Early Numeracy to Children with Developmental Disabilities*. London: Sage.
- Griffith, S. H., Hagan, M. B., Heymann, P., Heflin, B. H. & Bagner, D. M. (2020). Apps As Learning Tools: A systematic review. *Pediatrics*, 145(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2019-1579>
- Grossard, C., & Grynszpan, O. (2015). Entraînement des compétences assistées par les technologies numériques dans l'autisme : Une revue. *Enfance*, 1, 67-85. <https://doi.org/10.4074/S0013754515001056>
- Grøver, V., Rydland, V., Gustafsson, J.-E., & Snow, C. E. (2020). Shared Book Reading in Preschool Supports Bilingual Children's Second-Language Learning: A Cluster-Randomized Trial. *Child Development*, 91(6). <https://doi.org/10.1111/cdev.13348>
- Guidetti, M & Tourette, C. (2017). *ESCP - Echelle de la Communication Sociale Précoce*. Paris : GIUNTI Psychométries.
- Halberda, J. & Feigenson, L. (2008). Developmental Change in the Acuity of the “Number Sense”: The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-Year-Olds and Adults. *Developmental Psychology*, 44 (5): 1457–1465. <https://doi.org/10.1037/a0012682>
- Happé, F., & Frith, U. (2006). The weak coherence account: Detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 5-25. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0039-0>
- Harris, S. L., Handleman, J. S., Kristoff, B., Bass, L., & Gordon, R. (1990). Changes in language development among autistic and peer children in segregated and integrated preschool settings. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 20(1), 23–31. <https://doi.org/10.1007/BF02206854>
- Harrison, B. & St-Charles, L. (2012). Hypothèse du Fonctionnement interne de la structure de pensée autistique. *Psychologie et Éducation* (2). 69-84.
- Hassler, B., Major, L., & Hennessy, S. (2015). Tablet use in schools: A critical review of the evidence

- for learning outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(2), 139–156.
<http://dx.doi.org/10.1111/jcal.12123>
- Haute Autorité de Santé et Agence Nationale de l'Évaluation et de la qualité des établissements et Services sociaux et Médico-sociaux (HAS et ANESM). (2012). *Recommandation de bonne pratique. Autisme et autres troubles envahissants du développement : interventions éducatives et thérapeutiques coordonnées chez l'enfant et l'adolescent*. Saint-Denis La Plaine : Haute Autorité de Santé.
- Haute Autorité de Santé (2018). Troubles du spectre de l'autisme. Signes d'alerte, repérage, diagnostic et évaluation chez l'enfant et l'adolescent. Méthode Recommandations pour la pratique clinique. Haute Autorité de Santé
- Hedges, S. H., Odom, S. L., Hume, K., & Sam, A. (2018). Technology use as a support tool by secondary students with autism. *Autism*, 22(1), 70-79.
<https://doi.org/10.1177/1362361317717976>
- Hedges, L.V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. New York: Academic Press.
- Herbert, M. R. (2005). Large brains in autism: the challenge of pervasive abnormality. *The Neuroscientist*, 11 (5), 417–440. <https://doi.org/10.1177/0091270005278866>
- Hertz-Picciotto, I., Park, H.-Y., Dostal, M., Kocan, A., Trnovec, T., & Sram, R. (2008). Prenatal exposures to persistent and non-persistent organic compounds and effect on immune system development. *Basic & clinical pharmacology & toxicology*, 102 (2), 146–154.
<https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2007.00190.x>
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting Education in “Educational” Apps: Lessons From the Science of Learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3-34.
<https://doi.org/10.1177/1529100615569721>
- Hoareau, L., Tazouti, Y., Dinet, J., Thomas, A., Luxembourger, C., Hubert, B., Fischer, J.-P., & Jarlégan, A. (2020). Co-Designing a New Educational Tablet App for Preschoolers. *Computers in the Schools*, 0(0), 1-19. <https://doi.org/10.1080/07380569.2020.1830253>
- Hoareau, L., Thomas, A., Tazouti, Y., Dinet, J., Luxembourger, C., & Jarlégan, A. (2021). Beliefs about Digital Technologies and Teachers' Acceptance of an Educational App for Preschoolers. *Computers & Education*, 172, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104264>
- Hobson, R.P. (1989). Beyond cognition: a theory of autism. In G. Dawson (Ed.), *Autism: new perspectives on diagnosis, nature and treatment*. (22-48). New York: Guilford.
- Hobson, P., Ouston, J., & Lee, A. (1988). What's in a face? The case of autism. *British Journal of*

- Psychology*, 79, 441-453. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1988.tb02745.x>
- Holt, S., & Yuill, N. (2017). Tablets for two: How dual tablets can facilitate other-awareness and communication in learning disabled children with autism. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.10.005>
- Hong, E. R., Kawaminami, S., Neely, L., Morin, K., Davis, J. L., & Gong, L. (2018). Tablet-based interventions for individuals with ASD: Evidence of generalization and maintenance effects. *Research in Developmental Disabilities*, 79, 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.014>
- Hooper, S.R., Roberts, J., Sideris, J., Burchinal, M. & Zeisel, S. (2010). Longitudinal predictors of reading and math trajectories through middle school for African–American versus Caucasian students across two samples. *Developmental Psychology*, 46, 1018–1029 <https://doi.org/10.1037/a0018877>
- Hourcade, J. P., Bullock-Rest, N. E., & Hansen, T. E. (2012). Multitouch tablet applications and activities to enhance the social skills of children with autism spectrum disorders. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(2), 157-168. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0383-3>
- Huang, F. L., & Invernizzi, M. A. (2014). Factors associated with lowercase alphabet naming in kindergarteners. *Applied Psycholinguistics*, 35(6), 943-968. <https://doi.org/10.1017/S0142716412000604>
- Huttenlocher, J., Waterfall, H., Vasilyeva, M., Vevea, J., & Hedges, L. V. (2010). Sources of variability in children’s language growth. *Cognitive Psychology*, 61(4), 343-365. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2010.08.002>
- Ingram, D. H., Mayes, S. D., Troxell, L. B., & Calhoun, S. L. (2007). Assessing children with autism, mental retardation, and typical development using the Playground Observation Checklist. *Autism*, 11(4), 311-319. <https://doi.org/10.1177/1362361307078129>
- Institut National de la Statistique et des Études Économiques (2021). *Bilan démographique 2021*. Consulté le 10/09/2022 à l’adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6024136>
- Invernizzi, M., Swank, L., Juel, C., & Meier, J. (2015). *Phonological Awareness Literacy Screening Kindergarten*. University Printing.
- Iuculano, T., Rosenberg-Lee, M., Supekar, K., Lynch, C. J., Khouzam, A., Phillips, J. & Menon, V. (2014). Brain organization underlying superior mathematical abilities in children with autism. *Biological Psychiatry*, 75, 223–230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.06.018>
- Jivet, I., Scheffel, M., Specht, M., & Drachsler, H. (2018). License to evaluate: Preparing learning analytics dashboards for educational practice. In Proceedings of the 8th International

Conference on Learning Analytics and Knowledge, 31–40

- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters: Kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, *45*(3), 850-867. <https://doi.org/10.1037/a0014939>
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nerv Child*, *2*(3), 217-250
- Kasari, C., Locke, J., Gulsrud, A., & Rotheram-Fuller, E. (2011). Social networks and friendships at school: comparing children with and without ASD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *41*(5), 533-44. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1076-x>
- Kennedy, C. H., & Shukla, S. (1995). Social interaction research for people with autism as a set of past, current, and emerging propositions. *Behavioral Disorders*, *21* (1), 21–35. <https://doi.org/10.1177/019874299502100104>
- Kim, Y.-S., Otaiba, S. A., Puranik, C., Folsom, J. S., & Grulich, L. (2014). The contributions of vocabulary and letter writing automaticity to word reading and spelling for kindergartners. *Reading and Writing*, *27*(2), 237-253. <https://doi.org/10.1007/s11145-013-9440-9>
- Kishida, Y. & Kemp, C. (2006). A measure of engagement for children with intellectual disabilities in early childhood settings: A preliminary study. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, *31* (2), 99-112. <https://doi.org/10.1177/019874299502100104>
- Kishida Y. & Kemp C. (2009) « The engagement and interaction of children with autism spectrum disorder in segregated and inclusive early childhood center-based settings. *Topic in Early Childhood Special Education*, *29*, 105-118. <https://doi.org/10.1177/0271121408329172>
- Klein, M. (1930). On the Importance of Symbol Formation in the Development of the Ego, trad. fr. in *Essais de psychanalyse*, Paris: Payot.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002). Visual Fixation Patterns During Viewing of Naturalistic Social Situations as Predictors of Social Competence in Individuals With Autism. *Archives of General Psychiatry*, *59*(9), 809. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.59.9.809>
- Knight, V., McKissick, B. R., & 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. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1814-y>
- Korkman, M., Kirk, U. & Kemp, S. (2012). *Nepsy-2, adaptation française, bilan neuropsychologique de l'enfant*. 2de édition Pearson Clinical & talent assessment
- Koumpouros, Y., & Kafazis, T. (2019). Wearables and mobile technologies in Autism Spectrum Disorder interventions: A systematic literature review. *Research in Autism Spectrum*

- Disorders*, 66, 101405. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2019.05.005>
- Krajewski, K. & Schneider, W. (2009). Early Development of Quantity to Number-Word Linkage as a Precursor of Mathematical School Achievement and Mathematical Difficulties: Findings from a Four-Year Longitudinal Study. *Learning and Instruction*, 19(6), 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002>.
- Kucirkova, N. (2016). iRPD - A framework for guiding design-based research for iPad apps. *British Journal of Educational Technology*, 48(2), 598-610. <https://doi.org/10.1111/bjet.12389>
- Jordan, N.C., Kaplan, D., Ramineni, C. & Locuniak, M.N. (2009). Early Math Matters: Kindergarten Number Competence and Later Mathematics Outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 850–867. <https://doi.org/10.1037/a0014939>.
- Lainé, F., Rauzy, S., Gepner, B. & Tardif, C. (2009). Prise en compte des difficultés de traitement des informations visuelles et auditives rapides dans le cadre de l'évaluation diagnostique. *Enfance*, 1, 133-141. <https://doi.org/10.4074/S0013754509001153>
- Lainé, F., Rauzy, S., Tardif, C., & Gepner, B. (2011). Slowing Down the Presentation of Facial and Body Movements Enhances Imitation Performance in Children with Severe Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(8), 983-996. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1123-7>
- Lainé, F., Tardif, C., Rauzy, S. & Gepner, B.(2008a). Perception et imitation du mouvement dans l'autisme : une question de temps. *Enfance- Paris-*, Presses universitaires de France, 2(60),140-157
- Lainé, F., Tardif, C., & Gepner, B. (2008b). Amélioration de la reconnaissance et de l'imitation d'expressions faciales chez des enfants autistes grâce à une présentation visuelle et sonore ralentie. *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*, 166(7), 533-538. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2005.09.032>
- Lam, K. S., Bodfish, J. W., & Piven, J. (2008). Evidence for three subtypes of repetitive behavior in autism that differ in familiarity and association with other symptoms. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.01944.x>
- Landa, R.J., Holman, K.C. & Garrett-Mayer, E. (2007). Social and communication development in toddlers with early and later diagnosis of autism spectrum disorders. *Archives of general psychiatry*, 64(7), 853-864. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.64.7.853>
- Landrigan, P. J. (2010). What causes autism? Exploring the environmental contribution. *Current opinion in pediatrics*, 22 (2), 219–225. <https://doi.org/10.1097/MOP.0b013e328336eb9a>
- Lanter, E., Watson, L. R., Erickson, K. A., & Freeman, D. (2012). Emergent literacy in children with

- autism: An exploration of developmental and contextual dynamic processes. *Language speech and Hearing Services in Schools*, 43(3), 308-324. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2012/10-0083\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2012/10-0083))
- Lembke, E. & Foegen, A. (2009). Identifying Early Numeracy Indicators for Kindergarten and First-Grade Students. *Learning Disabilities Research & Practice*, 24(1),12–20. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2008.01273.x>.
- Lonigan, C. J., Burgess, S. R., Anthony, J. L., & Barker, T. A. (1998). Development of phonological sensitivity in 2- to 5-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 294-311. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.90.2.294>
- Lonigan, C. J., & Shanahan, T. (2009). Executive Summary-Developing Early Literacy: Report of the National Early Literacy Panel. National Institute for Literacy.
- Lorah, E. R., Parnell, A., Whitby, P. S., & Hantula, D. (2015). A Systematic Review of Tablet Computers and Portable Media Players as Speech Generating Devices for Individuals with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(12), 3792-3804. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2314-4>
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508-520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31129-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2)
- Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., & Risi, S. (2015) ADOS-2 : Echelle d’observation pour le daignostic de l’autisme – seconde Edition. Hogrefe
- Loomes, R., Hull, L., Polmear, W. et Locke Mandy (2017). What Is the Male-to-Female Ratio in Autism Spectrum Disorder? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the America Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56, 466-474. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.03.013>
- Lovaas, O. I. (1987). Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 55(1), 3–9. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.55.1.3>
- MacDonald, D., Luk, G., & Quintin, E. M. (2021). Correction to: Early word reading of preschoolers with ASD, both with and without hyperlexia, compared to typically developing pre- schoolers. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 51(1), 1613. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04688-w>
- MacDonald, R., Anderson, J., Dube, W. V., Geckeler, A., Green, G., Holcomb, W., Sanchez, J. (2006). Behavioral assessment of joint attention: A methodological report. *Research in Developmental Disabilities*, 27 (2), 138–150. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2004.09.006>

- Marsh, J. (2016). The digital literacy skills and competencies of children of pre-school age. *Media Education Studies and Research*, 7, 197–214
- Marsh, J., Yamada-Rice, D., Bishop, J. & Lahmar, J. (2015). Exploring Play and Creativity in Pre-Schoolers' Use of Apps: Report for Early Years Practitioners. *Technology and Play*, 1-18. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1250.3763>
- Martin, J. (2018). Agents virtuels pour l'apprentissage de compétences sociales dans l'autisme : une revue. *Enfance*, 1(1), 13-30. <https://doi.org/10.3917/enf2.181.0013>
- Martin-Noureaux (2016). La scolarisation des enfants en situation de handicap à l'école maternelle. Passer d'une culture de l'entre soi à une culture en commun. *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 57-66. <https://doi.org/10.3406/spira.2016.989>
- Massonié, J., Bianco, M., Lima, L. & Bressoux, P. (2019). Longitudinal predictors of reading comprehension in French at first grade: Unpacking the oral comprehension component of the simple view. *Learning and Instruction*, 60, 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.005>
- Mayes, S. D., & Calhoun, S. L. (2003). Analysis of WISC-III, Stanford-Binet: IV, and academic achievement test scores in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33(3), 329–341. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1024462719081>
- Mazereau P. (2011) Les déterminants des adaptations pédagogiques en direction des élèves handicapés chez des enseignants généralistes et spécialisés – *Travail et Formation en Éducation*, 8, 1-17
- McGee, G. G., Feldman, R. S., & Morrier, M. J. (1997). Benchmarks of social treatment for children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 27(4), 353–364. <https://doi.org/10.1023/A:1025849220209>
- Meiss, E., Tardif, C., Arciszewski, T., Dauvier, B., & Gepner, B. (2015). Effets positifs d'une exposition à des séquences vidéo ralenties sur l'attention, la communication sociale et les troubles du comportement chez 4 enfants autistes sévères : Une étude translationnelle pilote. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 63(5), 302-309. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2015.01.004>
- Merchant (2015). Keep taking the tablets: iPads, story apps and early literacy. *Australian Journal of Language and Literacy*, 38, 3–11
- Merchelet, A. & Azzouz, L. (2012). Quels effets à l'inclusion des enfants autistes. Biennale internationale de l'éducation, de la formation et des pratiques professionnelles. Paris, France.
- Mercier, C., Guffroy, M., Lefer Sauvage, G., & Lopez-Cazaux, S. (2018). Effet d'un agenda

- numérique sur le développement des compétences socio-cognitives chez des personnes avec autisme. *Education & Formation*, 75-88.
- Milner, V., McIntosh, H., Colvert, E. & Happé, F. (2019). A qualitative exploration of the female experience of autism spectrum disorder (ASD). *Journal of Autism and Developmental Disorder*, 49(6), 2389-2402. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-03906-4>
- Ministère de l'Éducation nationale (2005). Loi n°205-102 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées. Paris : Ministère de l'Éducation nationale.
- Ministère de l'Éducation nationale (2009). Scolariser les élèves autistes ou présentant des troubles envahissant du développement. *Collection Repères Handicap*, CNDP.
- Ministère de l'Éducation nationale (2013). Loi n°2013-595 d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école de la République. Paris : Ministère de l'Éducation nationale.
- Ministère de l'Éducation nationale. Enquête PROPECTIC 1^{er} degré (2017).
- Ministère de l'Éducation nationale (2021). *Programme d'enseignement de l'école maternelle*. Bulletin officiel n°25 du 24 juin 2021. <https://eduscol.education.fr/83/j-enseigne-au-cycle-1>
- Minshe, N. J., & Williams, D. L. (2007). The new neurobiology of autism: cortex, connectivity, and neuronal organization. *Arch Neurol*, 64 (7), 945–950. <https://doi.org/10.1001/archneur.64.7.945>
- Mintz, J., Branch, C., March, C., & Lerman, S. (2012). Key factors mediating the use of a mobile technology tool designed to develop social and life skills in children with autistic spectrum disorders. *Computers & Education*, 58, (1), 53-56. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.05.019>
- Mix, K. S. (2009). How Spencer Made Number: First Uses of the Number Words. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(4), 427–444. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.11.003>.
- Montoya, D. & Bodart, S. (2009). Le programme Makaton auprès d'un enfant porteur d'autisme : le cas de Julien, *Développements*, 3, 15-26. <https://doi.org/10.3917/devel.003.0015>.
- Moore, D., McGrath, P., & Thorpe, J. (2000). Computer-Aided Learning for People with Autism a Framework for Research and Development. *Innovations in Education and Training International*, 37(3), 218-228. <https://doi.org/10.1080/13558000050138452>
- Mundy, P. (1995). Joint attention and social-emotional approach behavior in children with autism. *Development and Psychopathology*, 7 (1), 63–82. <https://doi.org/10.1017/S0954579400006349>

- Mundy, P., Sigman, M. & Kasari, C. (1990). A longitudinal study of joint attention and language development in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 20(1), 115-128. <https://doi.org/10.1007/BF02206861>
- Murphy, C. A. (2006). The comparative effects of simple and complex instructional language on the acquisition and generalization of receptive language tasks by children with autism. [Thèse de doctorat, université d'état de l'Ohio], USA.
- Murray, D. (1997). Autism and information technology: therapy with computers. In: Powell, S. & Jordan, R. (eds), *Autism and learning: a guide to good practice*. London: David Fulton Publisher, 100-117
- Naber, F. B., Bakermans-Kranenburg, M. J., Van IJzendoorn, M. H., Dietz, C., Van Daalen, E., Swinkels, S. H., ... Van Engeland, H. (2008). Joint attention development in toddlers with autism. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 17 (3), 143–152. <https://doi.org/10.1007/s00787-007-0648-6>
- Nadel, J. (2016). *Imiter pour grandir ; Développement du bébé et de l'enfant avec autisme*. Dunod
- Nahmias, A., Kase, C. & Mandell, D (2014). Comparing cognitive outcomes among children with autism spectrum disorders receiving community-based early intervention in one of three placements. *Autism*, 18 (3), 311-320. <https://doi.org/10.1177/1362361312467865>
- National Mathematics Advisory Panel (NMAP). (2008). *Foundations for success: The final report of the National Mathematics Advisory Panel*. Washington, DC: US Department of Education.
- National Early Literacy Panel (NELP). (2008). *Developing Early Literacy: Report of the National Early Literacy Panel*. Washington, DC: National Institute for Literacy. <https://doi.org/10.1037/e548602010-001>
- National Research Council (NRC). (2009). *Mathematics learning in early childhood: Paths toward excellence and equity*. National Academies Press.
- Negro, I., & Genelot, S. (2009). Les prédicteurs en grande section maternelle de la réussite en lecture en fin de première année d'école élémentaire : L'impact du nom des lettres. *Bulletin de psychologie*, 501, 291. <https://doi.org/10.3917/bupsy.501.0291>
- Nelson, G., & McMaster, K. L. (2019). The effects of early numeracy interventions for students in preschool and early elementary: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 111(6), 1001-1022. <https://doi.org/10.1037/edu0000334>
- Neumann, M.M. (2018). Using tablets and apps to enhance emergent literacy skills in young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 42, 239-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2017.10.006>

- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2014). Touch Screen Tablets and Emergent Literacy. *Early Childhood Education Journal*, 42(4), 231-239. <https://doi.org/10.1007/s10643-013-0608-3>
- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2016). *An analysis of mother-child interactions during an iPad activity*. In K. Alvarez (Ed.). Parent-child interactions and relationships: Perceptions, practices, and developmental outcomes, Hauppauge, NY: Nova Science Publishers Inc., 133-148.
- Nezereau, C. (2017). Etude des trajectoires développementales d'enfants et d'adultes avec trouble de l'autisme bénéficiant du programme IDDEES, incluant de nouvelles technologies d'apprentissage scolaire et de communication (LearnEnjoy). [Thèse de psychologie. Université Sorbonne], Paris.
- Nézereau, C., Wolff, M., Gattegno, M-P., Bourgueil, O., Regnault, G., & 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, le programme IDDEES. *In Proceedings of the Ergo'IA 2016 conférence (6-8)*. New-York: ACM. <https://doi.org/10.1145/3050385.3050398>.
- Nézereau, C., Wolff, M., Gattegno, M., & Adrien, J.-L. (2018). Évaluation ergonomique d'applications mobiles (LearnEnjoy) dédiées à l'apprentissage scolaire et la communication pour les personnes atteintes du Trouble du Spectre de l'Autisme. Conférence Ergo'IA, Biarritz
- Nilsen, P. (2015). Making sense of implementation theories, models and frameworks. *Implementation Science*, 10(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s13012-015-0242-0>
- O'Handley, R. D., & Allen, K. D. (2017). An evaluation of the production effects of video selfmodeling. *Research in Developmental Disabilities*, 71, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.09.012>
- O'Neill, S. J., Smyth, S., Smeaton, A., & O'Connor, N. E. (2019). Assistive technology: Understanding the needs and experiences of individuals with autism spectrum disorder and/or intellectual disability in Ireland and the UK. *Assistive Technology*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/10400435.2018.1535526>
- Organisation Mondiale de la Santé. (1999). CIM-10. Classification statistique Internationale des Maladies et des problèmes de santé connexes. 10^e révision. Paris, Masson
- Organisation Mondiale de la Santé. (2008). L'OMS publie sa nouvelle classification internationale des maladies (CIM 11). Consulté le 08/06/2021, [https://www.who.int/fr/news/item/18-06-2018-who-releases-new-international-classification-of-diseases-\(icd-11\)](https://www.who.int/fr/news/item/18-06-2018-who-releases-new-international-classification-of-diseases-(icd-11))

- Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2019). Raising early achievement in math with interactive apps : A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology*, *111*(2), 284. <https://doi.org/10.1037/edu0000286>
- Outhwaite, L. A., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2017). Closing the gap: Efficacy of a tablet intervention to support the development of early mathematical skills in UK primary school children. *Computers & Education*, *108*, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.01.011>
- Panerai, S., Zingale, M., Trubia, G., Finocchiaro, M., Zuccarello, R., Ferri, R., & Elia, M. (2009). Special Education versus Inclusive Education: The Role of the TEACCH Program. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *39*(6), 874-882. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0696-5>
- Papoušek, J., & Pelánek, R. (2015). Impact of adaptive educational system behaviour on student motivation. *International Conference on Artificial Intelligence in Education*, *15*, 348-357 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-19773-9_35
- Pérez-Fuster, P., Sevilla, J., & Herrera, G. (2019). Enhancing daily living skills in four adults with autism spectrum disorder through an embodied digital technology-mediate intervention. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *58*, 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2018.08.006>
- Philip, C. (2012). Scolarisation des élèves avec autisme en France : trente ans d'histoire. *La Nouvelle Revue de l'adaptation et de la scolarisation*, *60*, 45-58. <https://doi.org/10.3917/nras.060.0045>
- Philip, C., Bintz, E. & Régnault, G. (2014). Deux élèves avec autisme en maternelle : usages de tablettes et applications numériques. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, *4*, 253-267.
- Pierce, K., Müller, R.-A., Ambrose, J. Allen, G. & Courchesne, E. (2001). Face processing occurs outside the fusiform 'face area' in autism: evidence from functional MRI, *Brain*, *124*, 2059–2073. <https://doi.org/10.1093/brain/124.10.2059>
- Piquard-Kipffer, A., & Sprenger-Charolles, L. (2013). Early predictors of future reading skills: A follow-up of French-speaking children from the beginning of kindergarten to the end of the second grade (age 5 to 8). *L'Année Psychologique*, *113*(04), 491-521. <https://doi.org/10.4074/S0003503313014012>
- Plumet, M.-H. (2014). L'autisme de l'enfant, un développement sociocognitif différent. Paris : Armand Colin
- Poirier, N. & Cappe, E. (2016). Les dispositifs scolaires Québécois et français offerts aux élèves ayant

un trouble du spectre de l'autisme. *Bulletin de psychologie*, 4, 267-278

- Porta, M. E., & Ramirez, G. (2019). The impact of an early intervention on vocabulary, phonological awareness, and letter-sound knowledge among Spanish-speaking kindergarteners. *International Journal of School & Educational Psychology*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/21683603.2018.1558137>
- Praet, M., Titeca, D., Ceulemans, A., & Desoete, A. (2013). Language in the prediction of arithmetics in kindergarten and grade 1. *Learning and Individual Differences*, 27, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.07.003>
- Puranik, C. S., Lonigan, C. J., & Kim, Y.-S. (2011). Contributions of emergent literacy skills to name writing, letter writing, and spelling in preschool children. *Early Childhood Research Quarterly*, 26(4), 456-474. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2011.03.002>
- Purpura, D. J., Baroody, A. J., & Lonigan, C. J. (2013). The transition from informal to formal mathematical knowledge: Mediation by numeral knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 453-464. <https://doi.org/10.1037/a0031753>
- Purpura, D. J., Hume, L. E., Sims, D. M., & Lonigan, C. J. (2011). Early literacy and early numeracy: The value of including early literacy skills in the prediction of numeracy development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(4), 647-658. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.07.004>
- Purpura, D. J., & Napoli, A. R. (2015). Early Numeracy and Literacy: Untangling the Relation between Specific Components. *Mathematical Thinking and Learning*, 17(2-3), 197-218. <https://doi.org/10.1080/10986065.2015.1016817>
- Rabiner, D. L., Godwin, J., & Dodge, K. A. (2016). Predicting Academic Achievement and Attainment: The Contribution of Early Academic Skills, Attention Difficulties, and Social Competence. *School Psychology Review*, 45(2), 250-267. <https://doi.org/10.17105/SPR45-2.250-267>
- Rattaz, C., Ledesert, B., Masson, O., Ouss, L., Ropers, G., & Baghdadli, A. (2013). État des lieux des pratiques d'accompagnement sanitaire et médico-social des personnes avec troubles envahissants du développement (TED) dans trois régions françaises. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 61(1), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2012.10.001>
- Rattaz, C., Ledesert, B., Masson, O., Ouss, L., Ropers, G., & Baghdadli, A. (2013/4). La scolarisation des enfants avec Troubles du spectre autistique (TSA) en France : l'expérience d'enseignants en classe ordinaire et spécialisée. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, 64, 255-270. <https://doi.org/10.3917/nras.064.0255>

- Raven, J. (1998). *PM – Matrices Progressives de Raven*. Paris: PEARSON
- Renaud, J., & Cherruault-Anouge, S. (2018). Applications numériques pour l'autonomie des personnes avec trouble du spectre de l'autisme : De la nécessité d'un processus d'innovation et d'une utilisation centrée sur la personne et ses aidants. *Enfance*, 1(1), 131-146. <https://doi.org/10.3917/enf2.181.0131>
- Richler, J., Bishop, S. L., Kleinke, J. R., & Lord, C. (2007). Restricted and repetitive behaviors in young children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 37 (1), 73–85. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0332-6>
- Ring, H.A, Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Williams, S.C.R., Brammer, M., Andrew, C. & Edward T. Bullmore, E.T. (1999). Cerebral correlates of preserved cognitive skills in autism: A functional MRI study of Embedded Figures Task performance, 122(7), 1305–1315, <https://doi.org/10.1093/brain/122.7.1305>
- Robbins, C., & Ehri, L. C. (1994). Reading Storybooks to Kindergartners Helps Them Learn New Vocabulary Words. *Journal of Educationnal Psychology*, 86(1), 54-64. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.86.1.54>
- Rogers, S.J., & Pennington, B.F. (1991). A theoretical approach to the deficits in infantile autism. *Developmental Psychopathology*, 3, 137-162.
- Ruijs, R. & Peetsma, T.D. (2009). Effects of inclusion on Students with and without Special Educational Needs Reviewed. *Educational Research Review*, 4(2), 67-79. <https://doi.org/10.1016/J.EDUREV.2009.02.002>
- Rutter, M., Bailey, M. D., & Lord, C. (2003). *The Social Communication Questionnaire (SCQ)*. Los Angeles, CA: Western Psychological Services.
- Rutter, M., Lecouteur, A. & Lord, C. (2011). *ADI-R : Entretien semi-structuré pour le diagnostic de l'autisme*. Hogrefe
- Russell, J. (1997). *Autism as an executive disorder*. Oxford: Oxford University Press.
- Sacrey, L-A.R., Bryson, S., Zwaigenbaum, L., Brian, J., Smith, I.M, Roberts, W., Szatmari, P., Vaillancourt, T. Roncadin, C. & Garon, N. (2018). The Autism Parent Screen for Infants: Predicting risk of autism spectrum disorder based on parent-reported behavior observed at 6–24 months of age. *Autism*, 22(3), 332-334. <https://doi.org/10.1177/1362361316675120>
- Saitovitch, A., Popa, T., Lemaître, H., Rechtman, E. & al. (2016). Tuning Eye-Gaze Perception by Transitory STS Inhibition. *Cerebral Cortex*, 26(6), 1-9. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw045>
- Saleur, C., Tazouti, Y. & Luxembourger, C. (2021). Ralentir la parole pour favoriser la compréhension

- verbale des enfants porteurs d'autisme ? *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 69, 228-234. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2021.06.004>
- Sancho, G. (2015). La langue des signes française au service des personnes avec autisme. DeBoeck
- Sanders, S. J., Murtha, M. T., Gupta, A. R., Murdoch, J. D., Raubeson, M. J. & Willsey, A. J (2012). De novo mutations revealed by whole-exome sequencing are strongly associated with autism. *Nature*, 485 (7397), 23. <https://doi.org/10.1038/nature10945>
- Santarosa, L.M.C & Conforto, D. (2016). Educational and digital inclusion for subjects with autism spectrum disorders in 1:1 technological configuration. *Computers in Human Behavior*, 60, 293-30. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.021>
- Sarama, J., & Clements, D. H. (2009). Early Childhood Mathematics Education Research: Learning Trajectories for Young Children. *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9780203883785>
- Scaife, M., & Bruner, J. S. (1975). The capacity for joint visual attention in the infant. *Nature*, 253(5489), 265-266. France : De Boeck
- Scarpa, O., François, M. Gobert, L., Bouger, P., Dall'Asta, A., Rabih, M., Taillemite, A., Weissenbach, L., Gregoire, A., Kremer, N., Labarhi, E., Michalski, S., Parmentier, D., Picaut, G., Pierret, B., Plujat, S., Ramillon, E., Han, B. & Nadel, J. (2012). L'imitation au service de l'autisme ; une étude pilote. *Enfance*, 4, 389-410
- Schatschneider, C., Fletcher, J. M., Francis, D. J., Carlson, C. D., & Foorman, B. R. (2004). Kindergarten Prediction of Reading Skills: A Longitudinal Comparative Analysis. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 265-282. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.2.265>
- Secrétariat d'État chargé des personnes handicapées (2018). Stratégie nationale pour l'Autisme au sein du neurodéveloppement. Repéré à https://handicap.gouv.fr/IMG/pdf/strategie_nationale_autisme_2018.pdf
- Shelton, J.F., Geraghty, E.M., Tancredi, D.J.; Delwiche, L.D.; Schmidt, R.J; Ritz, B.; Hansen, R.L. & Hertz-Picciotto, I. (2014) . Neurodevelopmental disorders and prenatal residential proximity to agricultural pesticides: the CHARGE study. *Environ Health Perspect* 122,1103–1109. <http://doi.org/10.1289/ehp.1307044>
- Schopler E. (1994), *A statewide program for individuals with autism*, in F. Volkmar et D. H. Cohen (eds.), *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, Philadelphia, PA, Saunders
- Schopler, E., Lansing, M., Reichler, R.J & Marcus, L.M (2021). PEP-3 Profil psycho-éducatif – Evaluation psycho-éducative individualisée de la division TEACCH pour enfants présentant des troubles du spectre de l'autisme. France: De Boeck
- Schopler, E., Van Bourgondien, M.E., Wellman, J.G. & Love, S.R. (2010). *Childhood Autism Rating*

- Scale, Second Edition – CARS2*. Torrance – Etats-Unis: Western Psychological Service
- Sedgewick, F., Hill, V., Yates, R., Pickering, L., & Pellicano, E. (2015). Gender Differences in the Social Motivation and Friendship Experiences of Autistic and Non-autistic Adolescents. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46, 1297-1306. <http://doi.org/10.1007/s10803-015-2669-1>
- Shute, V., & Towle, B. (2010). Adaptive E-learning. *Educational Psychologist*, 38(2), 105–114
- Sigman, M., Ruskin, E., Arbelle, S., Corona, R., Dissanayake, C., Espinosa, M., Robinson, B. F. (1999). Continuity and Change in the Social Competence of Children with Autism, Down Syndrome, and Developmental Delays. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 64(1), 1-114. <https://doi.org/10.1111/1540-5834.00001>
- Snow, C. E., Burns, S., & Griffin, P. (1998). Predictors of success and failure in reading. *Preventing reading difficulties in young children*, 137-171. <https://doi.org/10.17226/6023>
- Solari, E.J, Henry, A.R., Grimm, R.P, Zajic, M.C & McGinty, A (2021). Code-related literacy profiles of kindergarten students with autism. *Autism*, 1-13. <https://doi.org/10.1177/13623613211025904>
- Sparrow, S. S., Cicchetti, D., & Balla, D. A. (2015). Vineland II – Echelles de comportement adaptatif de Vineland 2 – 2^{nde} édition : Pearson
- Spooner, F., Kemp-Inman, A., Ahlgrim-Delzell, LA, Wood, L. (2014). Using iPad2 with systematic instruction to teach shared stories for elementary-aged students with autism. *Research and Practice for Person with severe disabilities*, 39,1, 30-46 <https://doi.org/10.1177/1540796914534631>
- Spooner, F., McKissick, B. R., & Knight, V. F. (2017). Establishing the state of affairs for evidence-based practices in students with severe disabilities. *Research and Practice for Persons with Severe Disabilities*, 42(1), 8–18. <https://doi.org/10.1177/1540796916684896>
- Stanciu, R., & Delvenne, V. (2016). Traitement de l'information sensorielle dans les troubles du spectre autistique. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 64(3), 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2016.02.002>
- Starkey, P., Klein, A., & Wakeley, A. (2004). Enhancing young children's mathematical knowledge through a pre-kindergarten mathematics intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 99-120. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.002>
- Stasolla, F., Perilli, V., Boccasini, A., O. Caffò, A., Damiani, R. & Albano, V. (2016). Enhancing academic performance of three boys with autism spectrum disorders and intellectual disabilities through a computer-based program. *Life Span and Disability*, 19, 2, 153-183.

- Stephenson, J. & 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. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1878-8>
- Sulzby, E., & Teale, W. (1991). Emergent literacy. *Handbook of reading research*, 2, 727-757.
- Sung, Y. T., Chang, K. E., & Liu, T. C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 94, 252-275. <https://doi.org/10.3102/0034654317704307>
- Sung, Y. T., Chang, K. E., & Yang, J. M. (2015). How effective are mobile devices for language learning? A meta-analysis. *Educational research review*, 16, 68-84. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.09.001>
- Szatmari, P., Georgiades, S., Bryson, S., Zwaigenbaum, L., Roberts, W., Mahoney, W., Tuff, L. (2006). Investigating the structure of the restricted, repetitive behaviours and interests domain of autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47 (6), 582–590. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01537.x>
- Szumski, G., Smogorzewska, J., Karwowski, M. (2017). Academic achievement of students without special educational needs in inclusive classrooms: A meta-analysis, *Educational Research Review*, 21, 33-54. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.02.004>
- Tammet, D. (2007). *Je suis né un jour bleu*. Paris, France: Les Arènes
- Tammimies, K., Marshall, C. R., Walker, S., Kaur, G., Thiruvahindrapuram, B., Lionel, A. C (2015). Molecular diagnostic yield of chromosomal microarray analysis and whole-exome sequencing in children with autism spectrum disorder. *Jama*, 314 (9), 895–903.
- Tarbox, R. S., Ghezzi, P.M., & Wilson, G. (2006). The effects of token reinforcement on attending in a young child with autism. *Behavioral Interventions*, 21 (3), 155-216. <https://doi.org/10.1002/bin.213>
- Tardif, C., Charrier, A., & Gepner, G. (2016). Ralentir les mouvements du visage pour mieux l’explorer : Une étude en oculométrie auprès d’enfants avec troubles du spectre de l’autisme. *A.N.A.E.*, 142, 339-349.
- Tardif, C., & Gepner, B. (2019). *L’autisme*. (5ème édition). Paris : Dunod.
- Tardif, C. & Gepner, B. (2012). Logiral. [Logiciel PC] : Téléchargeable sur <http://centrepsyche-amu.fr/logiral/>.
- Tardif, C. & Gepner, B. (2014). Logiral [Application IOS et Android]. Paris : Auticiel : 2014.
- Tardif, C., Lainé, F., Rodriguez, M., & Gepner, B. (2007). 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*, 37(8), 1469-1484. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0223-x>
- Tardif, C., Latzko, L., Arciszewski, T., & Gepner, B. (2017). Reducing Information's Speed Improves Verbal Cognition and Behavior in Autism: A 2-Cases Report. *Pediatrics*, 139(6), e20154207. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-4207>
- Tardif, C., Thomas, K., Rey, V., & Gepner, B. (2002). Contribution à l'évaluation du système phonologique explicite chez des enfants autistes. *Parole*, 21, 35-72.
- Tazouti, Y., Thomas, A., Hoareau, L., Luxembourger, Ch., & Jarlégan, A. (2022). Contribution des applications éducatives sur tablette tactile aux apprentissages de littératie et numératie émergentes. *A.N.A.E.*, 178, 354-363.
- Tazouti, Y., Thomas, A., Hoareau, L., Jarlégan, A., Hubert, B., & Luxembourger, C. (a., En révision). Contribution of an Educational Classroom App on French Preschoolers' Early Literacy Learning. *Early Childhood Research Quarterly*.
- Tazouti, Y., Thomas, A., Hoareau, L., Jarlégan, A., Hubert, B., & Luxembourger, C. (b., En révision). Assessment of an Educational Classroom App's Impact on Preschoolers' Early Numeracy Skills. *Learning and Instruction*.
- Teale, W. H., & Sulzby, E. (1986). *Emergent Literacy: Writing and Reading*. Writing Research: Multidisciplinary Inquiries into the Nature of Writing Series. Ablex Publishing Corporation.
- Tesink, C. M., Buitelaar, J., Petersson, K. M., Van Der Gaag, R., Kan, C., Tendolkar, I., & Hagoort, P. (2009). Neural correlates of pragmatic language comprehension in autism spectrum disorders. *Brain*, 132 (7), 1941–1952. <https://doi.org/10.1093/brain/awp103>
- Thomas, A., Tazouti, Y., Hoareau, L., Luxembourger, C., Hubert, B., Fischer, J.P., & Jarlégan, A. (2021a). Development of a French-language early literacy scale: Structural analysis and links between the dimensions of early literacy. *Journal of Research in Reading*, 44(2), 379-399. <https://doi.org/10.1111/1467-9817.12344>
- Thomas, A., Tazouti, Y., Hoareau, L., Luxembourger, C., Hubert, B., & Jarlégan, A. (2021b). Early Numeracy Assessment in French Preschool: structural analysis and links with children's characteristics. *International Journal of Early Years Education* <https://doi.org/10.1080/09669760.2021.1938518>
- Thomazet, S. (2008). L'intégration a des limites, pas l'école inclusive ! *Revue des sciences de l'éducation*, 34(1), 123-139. <https://doi.org/10.7202/018993>
- Tick, B., Bolton, P., Happé, F., Rutter, M. & Rijdsdijk, F. (2016). Heritability of autism spectrum disorders: a meta-analysis of twin studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(5),

585-95. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12499>

- Titeca, D., Roeyers, H., Josephy, H., Ceulemans, A. & Desoete, A. (2014). Preschool predictors of mathematics in first grade children with autism spectrum disorder. *Research in Developmental Disabilities, 35*(11), 2714-2727. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.07.012>
- Trémaud, M., Aguiar, Y.P, Pavani, J.B, Gepner, B. & Tardif, C. (2021). What do digital tools add to classical tools for sociocommunicative and adaptive skills in children with Autism Spectrum Disorder? *L'Année psychologique, 4*, 121, 361-392. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.214.0361>
- Trottier, G., Srivastava, L., & Walker, C.-D. (1999). Etiology of infantile autism: a review of recent advances in genetic and neurobiological research. *Journal of Psychiatry and Neuroscience, 24* (2), 103-115
- Tsao, L., Odom, S., & Brown, W. (2001). Code for active student participation and engagement revised (CASPER III): A training manual for observers. Bloomington: Indiana University.
- Tsao L-L., Odom S., Buysse V., Skinner M., West T. & Vitzum-Komannecki J. (2008). Social Participation of Children with Disabilities in Preschools Programs: Program, Typology and Ecological Features. *Exceptionality, A Special Education Journal 16*(3) 125-140. <https://doi.org/10.1080/09362830802198203>
- Turner, M. (1999). Annotation: Repetitive behaviour in autism: A review of psychological research. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 40* (6), 839–849.
- Tzanakaki, P., Hastings, R. P., Grindle, C. F., Hughes, J. C. & Hoare, Z. (2014). An individualized numeracy curriculum for children with intellectual disabilities: a single blind pilot randomized controlled trial'. *Journal of Developmental & Physical Disabilities, 26*(5), 615–632. <http://doi.org/10.1007/s10882-014-9387-z>
- UNESCO (1994). The Salamanca Statement and Framework for action on special needs education. Paris: UNESCO.
- Vasa, R. A., & Mazurek, M. O. (2015). An update on anxiety in youth with autism spectrum disorders. *Curent Opinion in Psychiatry, 28*(2), 83-90. <https://doi.org/10.1097/YCO.00000 00000 00013 3>
- Vandromme, L. (2018). Regards et perspectives sur les nouvelles technologies et l'autisme. *Enfance, 1*(1), 5-12. <https://doi.org/10.3917/enf2.181.0005>
- Van Leeuwen, A., & Rummel, N. (2020). Comparing teachers' use of mirroring and advising dashboards. In Proceedings of the Tenth International Conference on Learning *Analytics & Knowledge*, 26–34. <https://doi.org/10.1145/3375462.3375471>
- Verbert, K., Ochoa, X., De Croon, R., Dourado, R. A., & De Laet, T. (2020). Learning analytics

- dashboards: The past, the present and the future. *Association for Computing Machinery*.
<https://doi.org/10.1145/3375462.3375504>
- Verbert, K., Govaerts, S., Duval, E., Santos, J. L., Van Assche, F., Parra, G., & Klerkx, J. (2014). Learning dashboards: An overview and future research opportunities. *Personal and Ubiquitous Computing*, *18*, 1499–1514
- Virole, B. (2014). Autisme et tablettes numériques. *Enfances & Psy*, *63*, 123-134.
<https://doi.org/10.3917/ep.063.0123>
- Volkmar, F. R., Klin, A., Siegel, B., Szatmari, P., Lord, C., Campbell, M., Freeman, B. J., Cicchetti, D. V., Rutter, M., Kline, W., Buitelaar, J., Hattab, Y., Fombonne, E., Fuentes, J., Werry, J., Stone, W., Kerbeshian, J., Hoshino, Y., Bergman, J., Loveland, K., Szymanski, L. & Towbin (1994). Field trial for autistic disorder in DSM-IV. *American Journal of Psychiatry*, *151*, 1361-1367.
- Voress, J.K. & Maddox, T. (1998). *Developmental Assessment of Young Children (DAYC)*. Pearson
- Vygotski, L. (1985). *Pensée et langage*. Paris : Éditions Sociales
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park, J., Lang, C., Koh, M., Wei, Z., Feng, Z., Lin, Y., & Kong, J. (2018). Applying Eye Tracking to Identify Autism Spectrum Disorder in Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *49*(1), 209-215.
<https://doi.org/10.1007/s10803-018-3690-y>
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Intelligence Scale for Children-third-edition: Canadian (WISC-III)*. Toronto, Ontario, Canada : Psychological Corp.
- Wechsler, D. (2011). *WAIS-IV. Echelle d'intelligence de Wechsler pour adultes – 4^{ème} édition*. Paris : Pearson
- Wechsler, D. (2014). *WPPSI-IV : Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants – 4^{ème} édition*. Paris : Pearson
- Wechsler, D. (2016). *WPISC-V : Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents – 5^{ème} édition*. Paris : Pearson-ECPA
- Westerveld, M. F., Paynter, J., Bignell, A., & Reilly, S. (2020). No differences in code-related emergent literacy skills in well-matched 4-year-old children with and without ASD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *50*(8), 3060–3065. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04407-5>
- Westerveld, M. F., Paynter, J., Trembath, D., Webster, A. A., Hodge, A. M., & Roberts, J. (2017). The emergent literacy skills of preschool children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *47*(2), 424–438. <https://doi.org/10.1007/s10803-016->

- Whitehurst, G. J., & Lonigan, C. J. (1998). Child Development and Emergent Literacy. *Child Development, 69*(3), 848-872. <https://doi.org/10.2307/1132208>
- Wing, L. (1981). Asperger's syndrome: A clinical account. *Psychological Medicine, 11*(1), 115-129. <https://doi.org/10.1017/S0033291700053332>
- Wodka, E-L., Mathy, P. & Kalb, L. (2013). Predictors of Phrase and Fluent Speech in Children With Autism and Severe Language Delay. *Pediatrics, 131*(4), 1128-34. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-2221>
- Wodka, E. L., Puts, N. A. J., Mahone, E. M., Edden, R. A. E., Tommerdahl, M., & Mostofsky, S.H. (2016). The Role of Attention in Somatosensory Processing: A Multi-trait, Multimethod. Analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 46*(10), 3232-3241. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2866-6>
- Wood, C.L., Warnell, F., Johnson, M., Hames, A., Pearce, M.S., McConachie, H. & Parr, J.R. (2015). Evidence for ASD recurrence rates and reproductive stoppage from large UK ASD research family databases. *Autisms Research, 8*(1), 73-8. <https://doi.org/10.1002/aur.1414>
- Wong, C., Odom, S. L., Hume, K. A., Cox, A. W., Fettig, A., Kucharczyk, S. & Schultz, T. R. (2015). Evidence-Based Practices for Children, Youth, and Young Adults with Autism Spectrum Disorder: A Comprehensive Review. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 45*(7), 1951-1966. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2351-z>
- Wright, R. J., Ellemor-Collins, D. & Tabor, P. D. (2012) Developing Number Knowledge: assessment, teaching & intervention with 7–11-year-olds. London: Sage
- Xie, H., Peng, J., Qin, M., Huang, X., Tian, F. & Zhou, Z. (2018). Can touchscreen devices be used to facilitate young children's learning? A meta-analysis of touchscreen learning effect. *Frontiers in Psychology, 9*(2580). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02580>
- Xu, J., Zwaigenbaum, L. & Szamarai, P. (2004). Molecular cytogenetics of autism. *Curr Genomics, 5*, 347-364.
- Yang, S., Paynter, J., & Gilmore, L. (2016). Vineland Adaptive Behavior Scales: II profile of young children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 46*(1), 64-73. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2543-1>
- Yee, H. S. (2012). Mobile technology for children with autism spectrum disorder: Major trends and issues. *IEEE Symposium on E-Learning, E-Management and E-Services, 1-5*. <https://doi.org/10.1109/IS3e.2012.6414954>
- Yelland, N.J. (2018). A pedagogy of multiliteracies: Young children and multimodal learning with

- tablets. *British Journal of Educational Technology*, 1-12. <https://doi.org/10.1111/bjet.12635>
- Yi, L., Quinn, P. C., Fan, Y., Huang, D., Feng, C., Joseph, L., Li, J., & Lee, K. (2016). Children with Autism Spectrum Disorder scan own-race faces differently from other-race faces. *Journal of Experimental Child Psychology*, 141, 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.09.011>
- Young, H. E., Falco, R. A., & Hanita, M. (2016). Randomized, Controlled Trial of a Comprehensive Program for Young Students with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(2), 544-560. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2597-0>
- Youssef, E. & Audran, J. (2019). La personnalisation de l'apprentissage vue comme facteur effectif d'innovation pédagogique », *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 1(63), 157-172. <https://doi.org/10.3917/spir.063.0157>
- Yuen, R. K., Merico, D., Bookman, M., Howe, J. L., Thiruvahindrapuram, B., Patel, R. (2017). Whole genome sequencing resource identifies 18 new candidate genes for autism spectrum disorder. *Nature neuroscience*, 20(4), 602. 604. <https://doi.org/10.1038/nn.4524>.
- Zalla, T., Amsellem, F., Chaste, P., Ervas, F., Leboyer, M., & Champagne-Lavau, M. (2014). Individuals with autism spectrum disorders do not use social stereotypes in irony comprehension. *PloS one*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095568>
- Zilbovicius, M (2004). La voix humaine ne parle pas aux autistes. *La Recherche*, 379

Liste des tableaux

Tableau 1. Dyade autistique (d'après le DSM-5, APA, 2015)

Tableau 2. Comparaison des outils évaluant l'intensité des TSA

Tableau 3. Récapitulatif des structures accueillant les élèves avec TSA

Tableau 4. Difficultés rencontrées par les enseignants accueillant des élèves avec TSA (d'après Rattaz et al., 2013/4)

Tableau 5. Bénéfices de la scolarisation des élèves avec TSA (d'après Rattaz et al. (2013/4)

Tableau 6. Comparaison de l'engagement et des interactions de 12 élèves avec TSA en milieu ségréatif vs milieu inclusif (d'après de Kidisha et Kemp, 2009)

Tableau 7. Exemples de comportements liés aux atypies sensorielles (d'après Stanciu & Delevenne, 2016)

Tableau 8. Résultats des élèves avec TSA (ASD) comparés à des enfants au développement typique (Peer sample) aux épreuves de LE (d'après Dynia et al., 2014).

Tableau 9. Comparaison des scores en LE entre les élèves avec TSA en fonction du niveau cognitif non verbal (d'après Westerveld et al., 2017).

Tableau 10. Comparaison des résultats des élèves avec TSA (ASD) et au développement typique (TD) au printemps et à l'automne (Solari et al., 2021)

Tableau 11. Effets de l'intervention en LE et NE (Adapté de Tazouti et al., a et b, en révision)

Tableau 12. Les activités proposées dans AppLINOU+

Tableau 13. Résultats aux épreuves de LE (comparaison entre GE1 et GE2)

Liste des figures

Figure 1. Comparaison des résultats aux tests WISC-III (enfants) et WAIS (adultes) avec les Matrices de Raven (d'après Dawson et al., 2015)

Figure 2. Évolution de la scolarisation des élèves en situation de handicap dans le premier degré (d'après la DEEP, 2021).

Figure 3. Évolution de la scolarisation des enfants et adolescents en situation de handicap (d'après la DEEP, 2022)

Figure 4. Exemple de l'utilisation du programme Makaton (d'après Montoya & Bodart, 2009)

Figure 5. Évolution du score des deux enfants à la CARS (d'après Merchelet & Azouz, 2012)

Figure 6. Évolution des progrès cognitifs d'élèves avec TSA placés dans trois environnements différents : en milieu inclusif (Inclusive), avec d'autres enfants aux handicaps multiples (MD) ou uniquement avec des élèves avec TSA (Autism-only) (d'après Nahmias & al., 2014)

Figure 7. Jeux sociaux des élèves avec TSA comparés à des enfants au développement typique (d'après Kasari et al., 2011)

Figure 8. Comparaison des relations amicales entre les élèves avec TSA et les enfants au développement typique (d'après Kasari et al., 2011)

Figure 9. Schéma synthétique des Désordres du Traitement Temporo-Spatial des stimuli visuels, auditifs et proprioceptifs (d'après Gepner & Tardif, 2009)

Figure 10. Temps total de fixation sur les quatre régions d'intérêt chez les élèves avec TSA comparés aux enfants au développement typique (d'après Charrier et al., 2017)

Figure 11. Score moyen d'imitations en fonction de la vitesse pour le groupe avec autisme (d'après Lainé et al., 2008a) V1 ; vitesse normale ; V2 diminuée par 2 et V3 par 2,5

Figure 12. Évolution de l'attention, de la communication non verbale, des comportements inadaptés et de la réciprocité de quatre enfants (e, j, k et v) pendant 10 séances d'orthophonie utilisant *LOGIRAL*

Figure 13. Évolution des scores en imitation entre T0 et T1 (d'après Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant *LOGIRAL* et en jaune les enfants n'utilisant pas *LOGIRAL*

Figure 14. Évolution des scores des comportements inadaptés entre T0 et T1 (d'après Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant *LOGIRAL* et en jaune les enfants n'utilisant pas *LOGIRAL*

Figure 15. Évolution du temps de fixation sur la bouche entre T0 et T1 (d'après (Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant *LOGIRAL* et en jaune les enfants n'utilisant pas *LOGIRAL*



Figure 16. Évolution du temps de fixation sur les yeux entre T0 et T1 (d'après (Gepner et al., 2021). En bleu, les enfants utilisant *LOGIRAL* et en jaune les enfants n'utilisant pas *LOGIRAL*

Figure 17. Exemple des activités progressives d'*AppLINO* sur l'activité « L'enclos des animaux (d'après Hoareau et al., 2020)

Figure 18. Comparaison des résultats aux cinq épreuves de mathématiques entre les élèves avec TSA (ASD) et des élèves au développement typique

Figure 19. Présentation de l'activité « L'enclos des animaux » et exemple des activités progressives d'*AppLINO* (d'après Hoareau et al., 2020)

Figure 20. Les Fonctionnalités d'*AppLINO* (d'après Hoareau et al., 2020)

Figure 21. Protocole expérimental du projet LINUMEN (d'après Tazouti et al. 2022)

Annexes

Annexe 1 : Exemple de l'épreuve répétition de phrases de la NEPSY-2 (Korkman et al. 2012)

Annexe 2 : Critères diagnostiques du trouble du spectre de l'autisme selon le DSM-5 (APA, 2015)

Annexe 3 : Activités en NE de l'application AppLINO+

Annexe 4 : Activités en LE de l'application AppLINO+

Annexe 5 : Informations aux parents

Annexe 6 : Exemple de passation du PEP-3

Annexe 7 : Feuillet de passation – Epreuves de LE et NE (d'après Thomas et al., 2021 a. et b.)

Annexe 8 : Protocole expérimental

Annexe 9 : Exemple d'un parcours de l'élève

Annexe 10 : Questionnaire rempli par les enseignants du groupe expérimental

Annexe 1 : Exemple de l'épreuve répétition de phrases de la NEPSY-2 (Korkman et al. 2012)

Subtest de la NEPSY-2

Hypothèse : L'enfant répète plus fidèlement quand c'est ralenti car il dispose de plus de temps, ce qui améliore sa mémorisation immédiate.

PRENOM :

Age :

Date :

Remarque(s) éventuelle(s) :

Consigne : On lit qu'une seule fois la phrase et l'enfant doit la répéter. On note ce que répète l'enfant (on ne corrige jamais les erreurs de l'enfant). S'il fait un oubli de mot, une inversion d'ordre, un ajout, c'est à chaque fois 1 point en moins. Si 2 fautes = 0 points. On commence au début. On arrête lorsque l'enfant obtient 4 résultats 0 à la suite.

Protocole : SDS en début d'activité / RTS en début d'activité

	RTS			SDS		
	0	1	2	0	1	2
1. Dors bien.	0	1	2	0	1	2
2. Regarde Pierre.	0	1	2	0	1	2
3. Le chien court à la maison RTS Le chien court à la maison SDS Le chien court à la maison	0	1	2	0	1	2
4. Le chat a mangé sa pâtée RTS Le chat a mangé sa pâtée SDS Le chat a mangé sa pâtée	0	1	2	0	1	2
5. Paul rentre à la maison en courant. RTS Paul rentre à la maison en courant. SDS Paul rentre à la maison en courant.	0	1	2	0	1	2
6. Les enfants font la queue pour déjeuner. RTS Les enfants font la queue pour déjeuner. SDS Les enfants font la queue pour déjeuner.	0	1	2	0	1	2
7. Certains enfants ont une bibliothèque dans leur école. RTS Certains enfants ont une bibliothèque dans leur école. SDS Certains enfants ont une bibliothèque dans leur école.	0	1	2	0	1	2
8. Lorsque le soleil s'est couché, nous avons monté nos tentes. RTS Lorsque le soleil s'est couché, nous avons monté nos tentes. SDS Lorsque le soleil s'est couché, nous avons monté nos tentes.	0	1	2	0	1	2
9. Après avoir mangé son sandwich au jambon, Alice a bu son lait. RTS Après avoir mangé son sandwich au jambon, Alice a bu son lait.	0	1	2	0	1	2

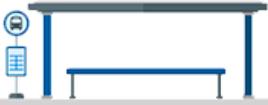
SDS Après avoir mangé son sandwich au jambon, Alice a bu son lait.						
10. Elle avait du mal à écrire parce que sa main droite était dans le plâtre RTS Elle avait du mal à écrire parce que sa main droite était dans le plâtre SDS Elle avait du mal à écrire parce que sa main droite était dans le plâtre	0	1	2	0	1	2
11. Chaque matin, les oiseaux chantent dans les arbres sous ma fenêtre. RTS Chaque matin, les oiseaux chantent dans les arbres sous ma fenêtre. SDS Chaque matin, les oiseaux chantent dans les arbres sous ma fenêtre.	0	1	2	0	1	2
12. La femme qui est près de l'homme à la veste verte est ma tante. RTS La femme qui est près de l'homme à la veste verte est ma tante. SDS La femme qui est près de l'homme à la veste verte est ma tante.	0	1	2	0	1	2
13. De longues files de personnes attendaient pour entrer dans le stade. RTS De longues files de personnes attendaient pour entrer dans le stade. SDS De longues files de personnes attendaient pour entrer dans le stade.	0	1	2	0	1	2
14. Les jeunes de notre immeuble rassemble de l'argent pour la construction d'un centre de loisirs. RTS Les jeunes de notre immeuble rassemble de l'argent pour la construction d'un centre de loisirs SDS Les jeunes de notre immeuble rassemble de l'argent pour la construction d'un centre de loisirs	0	1	2	0	1	2
15. Comme un orage approchait, nous avons mis le pique-nique à l'abri dans le grand panier.	0	1	2	0	1	2
16. Les légumes étaient coupés et disposés dans une coupe pour faire une bonne salade.	0	1	2	0	1	2
17. Mercredi prochain, à quatorze heures, notre équipe de football jouera un match au stade.	0	1	2	0	1	2
TOTAL						

(Items 1 à 4 : repère 3-6 / A partir de l'item 6 : repère 7-12)

Annexe 2 : Critères diagnostiques du trouble du spectre de l'autisme selon le DSM-5 (APA, 2015)

- A. Déficits persistants de la communication et des interactions sociales observés dans des contextes variés. Ceux-ci peuvent se manifester par les éléments suivants, soit au cours de la période actuelle, soit dans les antécédents :
1. Déficit de la réciprocité sociale ou émotionnelle allant, par exemple, d'anomalies de l'approche sociale et d'une incapacité à la conversation bidirectionnelle normale, à des difficultés à partager les intérêts, les émotions et les affects, jusqu'à une incapacité d'initier les interactions sociales ou d'y répondre
 2. Déficit des comportements de communication non-verbaux utilisés au cours des interactions sociales, allant par exemple, d'une intégration défectueuse entre la communication verbale et non-verbale à des anomalies du contact visuel et du langage du corps, à des déficits dans la compréhension et l'utilisation de gestes, jusqu'à une absence totale d'expressions faciales et de communication non-verbale.
 3. Déficit du développement, du maintien et de la compréhension des relations, allant, par exemple, de difficultés à ajuster le comportement à des contextes sociaux variés, à des difficultés à partager les jeux imaginatifs ou à se faire des amis, jusqu'à l'absence d'intérêt pour les pairs.
- B. Caractère restreint et répétitif des comportements, des intérêts et des activités, comme en témoignent au moins deux éléments suivants au cours de la période actuelle soit au cours des antécédents :
1. Caractère stéréotypé et répétitif des mouvements, de l'utilisation des objets ou du langage.
 2. Intolérance au changement, adhésion inflexible à des routines ou à des modes comportementaux verbaux ou non-verbaux initialisés.
 3. Intérêts extrêmement restreints et fixes, anormaux soit dans leur intensité, soit dans leur but.
 4. Hyper ou hypoactivité aux stimulations sensorielles ou intérêt inhabituel pour les aspects sensoriels de l'environnement.
- C. Les symptômes doivent être présents dès les étapes précoces du développement (mais ils ne sont pas nécessairement pleinement manifestes avant que les demandes sociales n'excèdent les capacités limitées de la personne, ou qu'ils peuvent être masqués plus tard dans la vie par des stratégies apprises).
- D. Les symptômes occasionnent un retentissement cliniquement significatif en termes de fonctionnement social, scolaire/professionnel ou dans d'autres domaines importants.
- E. Ces troubles ne sont pas mieux expliqués par un handicap intellectuel ou un retard global de développement. La déficience intellectuelle et le trouble du spectre de l'autisme sont fréquemment associés. Pour permettre un diagnostic de comorbidité entre un trouble du spectre de l'autisme et un handicap intellectuel, l'altération de la communication sociale doit être supérieure à ce qui serait attendu pour le niveau de développement général.

Annexe 3 : Activités en NE de l'application AppLINOU+

	Nom	Programmes 2015
	NA1 : L'enclos des animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier des collections jusqu'à 10 - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10
	NA2 : Le château	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10 - Dénombrer une collection - Donner le cardinal d'une collection
	NA3 : Retour vers l'enclos	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier des collections jusqu'à 10 - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10 - Constituer une collection d'une taille donnée : appariement terme à terme, dénombrement - Composer et décomposer des collections par manipulation effective
	NA4 : Construis ton château	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10 - Dénombrer une collection - Constituer une collection d'une taille donnée avec ou sans collection témoin : appariement terme à terme, dénombrement
	NA5 : La chenille	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier des collections jusqu'à 10 - Reconnaître des symboles analogiques : constellations de tailles identiques ou différents. - Lire les nombres écrits en chiffre au-delà de 10 - Compléter une suite logique : plus un ou moins un
	NA6 : Remplis le bus	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier des collections jusqu'à 10 - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10 - Constituer une collection d'une taille donnée : appariement terme à terme, dénombrement - Composer et décomposer des collections par manipulation effective - Mettre en mémoire des quantités pour les composer et les décomposer
	NA7 : La balade en voiture	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre au-delà de 10 - Comparer des collections représentées avec des symboles analogiques écrits, conventionnels ou non conventionnels
	NA8 : L'arrêt de bus	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier des collections jusqu'à 4 ; 5 ; 6 ; 8 et 10 - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10 - Constituer une collection d'une taille donnée : appariement terme à terme, dénombrement - Composer et décomposer des collections par manipulation effective - Mettre en mémoire des quantités pour les composer et les décomposer
	NA9 : L'abeille butine	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser le rang (ex. troisième) pour exprimer la position d'un élément - Repérer et placer un élément en connaissant sa position et respectant le sens du parcours.
	NA10 : Le bus en folie	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier des collections jusqu'à 10 - Reconnaître des symboles analogiques : constellations, doigts. - Lire les nombres écrits en chiffre jusqu'à 10 - Composer et décomposer des collections par manipulation mentale en mémorisant des quantités.

Annexe 4 : Activités en LE de l'application AppLINOU+

	Nom	Programmes
	LA1 Le tambour des syllabes	<ul style="list-style-type: none"> - Scander des syllabes orales - Identifier un mot avec un nombre de syllabes frappé
	LA2 Les lettres en folie	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître les lettres de l'alphabet - Connaître les correspondances entre les trois manières de les écrire : capitales d'imprimerie, script, cursive - Ecrire seul un mot en utilisant des lettres
	LA3 Les mots	<ul style="list-style-type: none"> - Construire et employer un vocabulaire de base de plus en plus précis, en réception.
	LA4 La cueillette des syllabes	<ul style="list-style-type: none"> - Trier les mots en fonction du nombre de syllabes orales
	LA5 En route vers l'école - Travailler - S'habiller - Cuisiner	<ul style="list-style-type: none"> - Construire et employer un vocabulaire de base de plus en plus précis, en réception - Comprendre un message et agir ou répondre de façon pertinente - Reconnaître les actions, les objets et leurs propriétés dans des représentations symboliques.
	LA6 Syllaborobot	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître et manipuler les syllabes orales de mots - Reconnaître des mots transformés : <ul style="list-style-type: none"> - Syllabe finale doublée - Syllabe du début à retirer - Syllabe de la fin à retirer - Syllabe inversée
	LA7 La petite histoire	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier des personnages, des actions et des lieux - Situer dans l'espace des personnages, des objets et des actions - Identifier les états mentaux et les motivations des personnages pour construire la logique du récit - Identifier et reconnaître les caractéristiques de personnages archétypaux (ex. loup, sorcière) - Repérer des événements et leur chronologie, construire des relations de causalité.
	LA8 La maison des rimes	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier des unités sonores, repérer des ressemblances : les rimes
	LA9 La grande histoire	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier des personnages, des actions et des lieux - Situer dans l'espace des personnages, des objets et des actions - Identifier les états mentaux et les motivations des personnages pour construire la logique du récit - Identifier et reconnaître les caractéristiques de personnages archétypaux (ex. loup, sorcière) - Repérer des événements et leur chronologie, construire des relations de causalité.
	LA10 Le chemin des devinettes	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître un vocabulaire de base de plus en plus précis, en réception - Comprendre une définition et lui associer une représentation symbolique

Annexe 5 : Informations aux parents



DANE
Académie de Nancy-Metz
Délegation académique
au numérique éducatif



INSPE
Institut National Supérieur
de l'Éducation
de la Formation et de la Recherche

CCdH
ENSEMBLE, HANDICAP ET SOCIÉTÉ

Recherche « Développer des compétences en littératie et numératie émergentes avec une tablette numérique auprès d'enfants porteurs de troubles de l'autisme »

INFORMATIONS AUX PARENTS

Différentes études françaises et internationales récentes montrent les avantages à utiliser une tablette numérique avec des enfants porteurs d'autisme. Elles soulignent l'augmentation de la motivation, de la concentration, de l'autonomie, des performances scolaires ou l'amélioration des interactions sociales.

C'est pourquoi, notre projet de recherche consiste à proposer une application numérique pour aider l'enfant porteur d'autisme à exercer et acquérir les compétences en mathématiques et français.

Les enfants s'entraîneront 10 minutes par jour sur une activité numérique adaptée, la moitié du temps avec un autre élève de la classe afin de favoriser les échanges. Un adulte (AESH ou enseignant) sera présent auprès de l'enfant.

Ce projet de recherche bénéficie du soutien des institutions éducatives. Dans ce cadre, des étudiants en éducation, spécialement formés, viendront au début et à la fin de l'expérimentation faire passer des épreuves de connaissances (d'une durée de 15 minutes) aux élèves au sein des écoles maternelles de notre académie. Les tests WIPPSY 4 et PEP 3 seront également administrés par les directeurs de thèse et la doctorante du projet.

Objectifs de l'étude :

La finalité de cette étude est de favoriser les progrès des enfants porteurs d'autisme, grâce à une application numérique, adaptée aux programmes de l'école et intégrant différentes stratégies reconnues comme facilitant l'apprentissage des enfants à besoins éducatifs particuliers (la nécessité de proposer des consignes simples, courtes et avec la possibilité de les ralentir, le besoin de répétition, un univers épuré des exercices progressifs ainsi que des feed-back).

De plus, nous voudrions montrer que l'usage de la tablette peut aider l'enfant porteur d'autisme à exercer et mieux développer des compétences sociales.

Modalités de l'étude :

Nous envisageons d'engager 40 enfants dans notre étude. Tous les enfants bénéficieront des mêmes évaluations.

30 enfants seront répartis dans 2 groupes expérimentaux :

- un premier groupe de 15 enfants travaillera avec l'application numérique adaptée dans sa version classique,
- un second groupe de 15 enfants travaillera avec l'application numérique adaptée dans sa version ralentie c'est à dire que toutes les consignes et les *feedbacks* seront ralentis de 30% par rapport à la vitesse normale de la parole.

Ces enfants travailleront en classe, derrière un écran de concentration, de manière à réduire les stimuli sonores et visuels tout en privilégiant l'inclusion.

Un groupe contrôle de 10 enfants n'utilisera pas la tablette numérique. Elle sera remise à l'enfant avec l'application au mois de juin.

L'enseignant vous indiquera à quel groupe votre enfant appartiendra.

L'expérimentation se déroulera du 22 mars 2021 au 11 juin 2021, soit 10 semaines. Nous vous proposerons un rendez-vous au mois de juin avec l'équipe enseignante afin de vous présenter les résultats des tests réalisés.

Le matériel (tablette, casque, écran de concentration) est fourni et restera à disposition de l'école, au service des enfants à besoins éducatifs particuliers. L'écran de concentration pourra être conservé par l'enfant.

Données collectées :

Sont collectés : 2 premières lettres du nom de famille, prénom, sexe, âge, classe et école de votre enfant.
Auront accès à ces données les deux directeurs de thèse et la doctorante de l'Université de Lorraine, qui seront chargés de l'anonymisation. Une fois que ces données seront anonymisées, les résultats des élèves seront également récupérés.

Ces données seront conservées au maximum jusqu'au 1^{er} juillet 2022 (un an après la fin du projet).

Accès aux données anonymisées :

Les chercheurs impliqués dans le projet ainsi qu'un ingénieur de la société partenaire du projet (Learn Enjoy), auront accès aux données suivantes : prénom, deux premières lettres du nom de famille, année de naissance et résultats des élèves.

Traitement des données :

Les données de cette enquête seront analysées de manière totalement anonymes et uniquement dans le cadre de la recherche en éducation¹

Pour toute information ou réclamation sur la protection de vos données personnelles, vous pouvez contacter le délégué à la protection des données de l'université à cette adresse : dpo-contact@univ-lorraine.fr ou consulter le site de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) à cette adresse : www.cnil.fr.

Pour mener à bien ce travail, nous avons besoin de votre autorisation. Merci de bien vouloir compléter l'autorisation ci-dessous et de la rapporter à l'école dans les plus brefs délais. Si vous souhaitez avoir de plus amples renseignements, vous avez la possibilité d'écrire un mail à l'adresse suivante : carole.saleur@univ-lorraine.fr

Je, soussigné(e)
Demeurant à
Numéro de téléphone
donne mon accord pour que (mon enfant)..... participe à l'étude et que ses données soient utilisées dans le cadre de la recherche.

Date et signature des parents

Carole SALEUR
Enseignante et Doctorante à Université de Lorraine,
Responsable de l'étude
Tel : 06/37/90/47/53



¹ Conformément à la loi 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés vous disposerez d'un droit d'accès, de rectification et d'opposition concernant les données se rapportant à votre enfant.

Annexe 6 : Exemple de passation du PEP-3

PEP 3 – Profil Psycho Educatif – Troisième Edition

Nom / Prénom :

Fille / Garçon

Date de naissance :

Age :

Date du test :

Nom de l'examineur :

Sous-tests de Performance : Cognition Verbale/ Préverbale (CVP), Langage expressif (LE), Langage Réceptif (LR), ou de **comportements inadaptés** avec la Réciprocité Sociale (RS)

	CVP	LE	LR	RS
8. S'oriente vers le son d'une clochette	x			
17. Les marionnettes. Montre du doigt 3 parties du corps d'une marionnette			x	
18. Montre du doigt 3 parties de son propre corps			x	
19. Joue une histoire avec 2 marionnettes		x		
20. Fait preuve d'imagination lors du jeu avec les marionnettes				x
21. Indique pour 3 formes les bons emplacements dans un encastrement	x			
23. Nomme un rond, un carré et un triangle		x		
24. Sélectionne un rond, un carré et un triangle lorsque l'examineur les nomme			x	
25. Encastrement 4 objets. Placer les formes dans un encastrement	x			
27. Encastrement de moufles. Indique l'emplacement des 3 pièces	x			
29. Nomme des grandes et des petites formes.		x		
30. Indique si une pièce est grande ou petite			x	
31. Puzzle du chat. Indique l'emplacement correct des pièces	x			
33. Puzzle de la vache. Assemble les 6 pièces de l'image	x			
34. Puzzle aimanté du garçon. Reconstitue un garçon composé de 8 pièces	x			
35. Claquette, clochette, cuillère. Après démonstration, active 3 objets sonores	x			
36. Chaussette, verre, brosse à dent, crayon, ciseaux, peigne, feutre. Nomme 5 objets		x		
38. Tasse, cuillère, crayon, peigne et ciseaux. Donne 3 objets à l'examineur			x	
39. Livre d'images. Fais correspondre 5 objets avec leur image	x			
40. Reconnaît le nom de 3 objets courants lorsqu'on les nomme			x	
42. Tasse et petit objet. Trouve un objet complètement dissimulé	x			
43. Trouve un bonbon caché sous 1 des 3 gobelets et déplacé	x			
TOTAUX de la page 1				
(2) Réussi/Approprié				
(1) Emergence / Léger				
(0) Echec / Sévère				
44. Sac avec cuillère, cube, feutre, balle, pion. Identifie au toucher 4 objets cachés.	x			
51. Initie la répétition d'un jeu social (Coucou beuh, la bête qui monte)				x

52. Initie des interactions sociales (pose des questions, montre du matériel...)				x
73. Cahier écriture. Copie une ligne verticale	x			
74. Copie un rond.	x			
75. Copie un carré	x			
76. Copie un triangle	x			
77. Copie un losange	x			
79. Recopie 7 lettres correctement	x			
80. Dessine un bonhomme	x			
81. Ecrit son prénom	x			
83. Livre d'images. S'intéresse au livre d'images	x			
84. Mime l'usage de 5 objets	x			
85. Désigne du doigt 14 images sur 20 quand l'examineur les nomme			x	
86. Nomme correctement 14 images sur 20		x		
87. Produit une phrase correcte de 4 ou 5 mots (à partir des images)		x		
88. Loto (H, J, V, Z, U, E, Y, S, G). Identifie correctement 9 lettres			x	
89. Nomme 9 lettres correctement		x		
90. Place 9 lettres sur le loto	x			
91. Livre d'images. Lit correctement des chiffres de 1 à 10.		x		
92 à 96 : 5 items de lecture de mots, phrase, passage, phrase et consigne		x		
98. 6 cubes et boîte. Mets des cubes dans une boîte à tour de rôle				x
100. Tasse et cube. Mets un cube dans la tasse et après pose la tasse par terre			x	
101. Compte 2 et 7 cubes		x		
102. 7 cubes de même couleur. Donne 2 cubes et 6 cubes à l'examineur		x		
103. Compte de 1 à 10 à voix haute		x		
104. 6 cubes, 6 pions, 2 boîtes. Trie 6 cubes et 6 pions dans des boîtes séparées	x			
105. Livre d'images et 5 cubes de couleur. Associe 5 cubes de couleur à 5 ronds	x			
106. Nomme 5 couleurs		x		
107. Désigne 5 couleurs quand l'examineur les nomme (« donne-moi le cube vert »)			x	
108. Cartes de catégorie (carrés, cercles...). Trie 12 cartes sans démonstration	x			
109. Réagit à l'imitation de ses propres actions	x			
110. Réagit à l'imitation de ses propres sons	x			
TOTAUX de la page 2				
(2) Réussi/Approprié				
(1) Emergence / Léger				
(0) Echec / Sévère				
111. Répète 3 sons émis par l'examineur (mmm, ba-ba, pa-ta, la-la)	x			
112. Répète 2 chiffres (7,9 puis 5,3)	x			
113. Répète 3 chiffres (2, 4, 1 puis 5, 7, 9)	x			
114. Répète 2 mots (« hop », « cuire », « bébé »)	x			
115. Répète 2 phrases de 3 à 4 mots : Bébé dort bien, Je veux manger, Il ne pleure pas	x			

116. Réagit au langage en regardant directement le visage de l'examineur				x
118. Aliments, assiette, gobelet. Demande à manger ou à boire.		x		
119. Montre une certaine compréhension des pronoms personnels (Donne-le moi)			x	
120. Biscuits, cubes, gobelets. Utilise 2 substantifs au pluriel.		x		
121. Jus, gobelet, biscuit, marionnette. Utilise un pronom. (Qui mange le biscuit ?)		x		
122. Jus, gobelet, biscuit, peigne, bulles. Emet 3 phrases appropriées de 2 mots		x		
123. Balle, gobelet, marionnette, boîte : Frappe la boîte, Caresse le chien, Lève-toi et saute, Mets le gobelet dans le sac et assieds-toi, Frappe à la porte, puis touche le mur			x	
125. Réagit systématiquement aux gestes (venir, donner un feutre...)			x	
126. Arrête ce qu'il est en train de faire en réponse à « non ! » ou « Arrête ! »			x	
127. Arrête ce qu'il est en train de faire quand on dit son prénom.			x	
128. Comprend la consigne « Viens ici »			x	
129. Dit son nom quand on lui demande		x		
130. Précise son sexe quand on lui demande		x		
131. Montre qu'il comprend le sens de 3 verbes d'action (saute, assis, debout)			x	
132. Utilise des pronoms correctement		x		
133. Répond aux questions				
134. Suit 3 consignes composées d'une seule action (Assieds-toi, lève-toi, donne-moi, ne touche pas, ouvre la porte)	x			
143. Utilise des mots ou des gestes pour obtenir de l'aide		x		
154. Essaie de collaborer aux demandes de l'évaluateur (attitude d'opposant ou non)				x
155. Utilise une syntaxe appropriée à son âge		x		
166. Etablit le contact visuel tout au long de l'évaluation				x
167. Montre qu'il reconnaît la voix de l'examineur par ses actions				x
168. Recherche l'aide de l'examineur de manière appropriée (manteau, lacet...)				x
170. Réagit de manière appropriée, établit le contact visuel, écoute et sourit				x
171. La performance de l'enfant est influencée par les récompenses concrètes				x
172. La performance de l'enfant est influencée par les félicitations sociales				x
TOTAUX de la page 3				
(2) Réussi/Approprié				
(1) Emergence / Léger				
(0) Echech / Sévère				

	Note standard (NS)	Rang percentile	Niveau Dévelop/Adaptatif	Age de développement
CVP				
LE				
LR				
	Somme NS			

Annexe 7 : Feuillet de passation – Epreuves de LE et NE (d’après Thomas et al., 2021 a. et b.)

**Feuillet de passation test LINUMEN – décembre 2020 et juin 2021
APPLINOU +**

Nom et prénom de l’enquêteur :

Ecole et classe:

Prénom de l’enfant :

Date de naissance de l’enfant :

LITTERATIE

Passage 1 : _____ Date de passation : ___ / ___ / _____ Heure début : _____ Heure fin : _____ Durée : _____	Passage 2 : _____ Date de passation ___ / ___ / _____ Heure début _____ Heure fin _____ Durée _____
---	---

NUMERATIE

Passage 1 : _____ Date de passation : ___ / ___ / _____ Heure début : _____ Heure fin : _____ Durée : _____	Passage 2 : _____ Date de passation ___ / ___ / _____ Heure début _____ Heure fin _____ Durée _____
---	---

OBSERVATION(S) éventuelles (nécessité de proposer le test en plusieurs fois, attitude de l’enfant, présence ou non de l’AESH..)

Concernant la cotation

1. Au mois de décembre, noter sous l’item « 1 » pour les bonnes réponses et « 0 » pour les réponses erronées ou quand l’enfant ne sait pas (à droite de l’item par exemple). Après 3 erreurs, on change d’activité.
2. Au mois de juin, reprendre au début avec une autre couleur et coter à gauche de l’item. S’arrêter après 3 erreurs.

LITTERATIE

Reconnaitre une lettre isolée (CLRL)

« Appuie sur la lettre A ». L'enfant appuie sur la lettre demandée parmi 6 lettres proposées. On arrête après 3 réponses erronées.
(Si l'application ne s'arrête pas)

Item d'exemple : lettre A.

Item 1			
Item 1	Item 2	Item 3	
N	G	K	
Item 4			
Item 4	Item 5	Item 6	Item 7
V	c	e	n
Item 8			
Item 8	Item 9	Item 10	
z	d	f	
Item 11			
Item 11	Item 12	Item 13	Item 14
j	r	b	p

Dénommer oralement des lettres (CLDL)

« Quelle est le nom de cette lettre ». L'enfant doit nommer les lettres affichées.

Item d'exemple : lettre A. (La consigne n'est pas donnée par la tablette, c'est à vous de la donner)

Réponse juste : on appuie sur le rond

Réponse erronée : on appuie sur le triangle (et normalement, le critère d'arrêt automatique est après 3 réponses erronées)

Item 1				
Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5
I	N	R	K	M
Item 6				
Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10
B	W	P	J	V

Reconnaitre des mots courants (VMC)

« Touche... ». L'enfant doit appuyer sur l'image demandée, au choix parmi 4 images.

Item d'exemple : robot.

L'arrêt est automatique (après 3 réponse erronées mais ne pas s'y fier, on quitte après 3 réponses erronées –sauf l'exemple–)

Item 1						
Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7
Frigo	Ampoule	Micro-ondes	Accordéon	Pyjama	Harmonica	Gilet
Item 8						
Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14
Autruche	Betterave	Chou	Clavier	Cycliste	Microscope	Commode

Identifier des rimes (CPIR)

« Papa, panda, ballon. Appuie sur le mot qui ne se termine pas en « a ». On arrête après 3 réponses erronées.

Item d'exemple 1 : papa, panda, ballon (item présenté 2 fois, il faut cliquer 2 fois).

Item d'exemple 2 : mouton, bouton, tortue (item présenté 2 fois, il faut cliquer 2 fois).

Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5
Drap	Croix	Four	Poire	Plume
Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10
Raquette	Bras	Banane	Pomme	Ours

Fluence verbale sémantique (VFVS)

« Peux-tu me dire le plus vite possible, tous les vêtements que tu connais. On peut commencer par « pantalon » par exemple ».

Pour la consigne, cliquer 2 fois sur le rond ou le triangle. Puis cliquer sur le rond pour la 2^{ème} consigne.

Noter les réponses et le score (1 point par réponse correcte)

Durée : 20 secondes (c'est chronométré avec la tablette)

Catégorie	Score
Vêtements (Pantalon)	FV1 =
Meubles (Table)	FV2 =

Dénommer des parties du corps (VPC)

« Peux-tu me dire comment cela s'appelle ? »

Item d'exemple : le nez.

Réponse juste : on appuie sur le rond

Réponse erronée : on appuie sur le triangle (et normalement, le critère d'arrêt automatique est après 3 réponses erronées)

Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5
Le genou	L'ongle	Les lèvres	Le sourcil	Le poignet
Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10
La cuisse	La narine	La cheville	Le cou	Le mollet

NUMERATIE

Reconnaitre un chiffre en écriture normale (CCEN)

« Appuie sur le chiffre 1 ». » L'enfant appuie sur le chiffre demandé parmi 6 chiffres proposés. On arrête après 3 réponses erronées. (Si l'application ne s'arrête pas)

Item d'exemple : chiffre 1.

<i>Item 1</i>	<i>Item 2</i>	<i>Item 3</i>
cinq	zéro	huit
<i>Item 4</i>	<i>Item 5</i>	<i>Item 6</i>
sept	neuf	six
<i>Item 7</i>	<i>Item 8</i>	<i>Item 9</i>
treize	vingt-cinq	dix
<i>Item 10</i>	<i>Item 11</i>	<i>Item 12</i>
onze	trente	trente-sept

Dénommer des chiffres / nombres (CCDC)

« Comment s'appelle ce chiffre ? L'enfant nomme le chiffre proposé.

Item d'exemple : chiffre 1.

Réponse juste : on appuie sur le rond

Réponse erronée : on appuie sur le triangle (et normalement, le critère d'arrêt automatique est après 3 réponses erronées)

<i>Item 1</i>	<i>Item 2</i>	<i>Item 3</i>	<i>Item 4</i>	<i>Item 5</i>
0	6	9	10	25
<i>Item 6</i>	<i>Item 7</i>	<i>Item 8</i>	<i>Item 9</i>	<i>Item 10</i>
22	12	30	18	31

Récitation de la chaîne numérique (RCN)

« Essaie de compter le plus loin possible ». Cliquer sur le rond pour entendre une nouvelle fois la consigne.

Essai 1	RCN1 =	Essai 2	RCN 2 =
---------	--------	---------	---------

Dénombrer une collection (DDC)

Item 1 : « Compte avec ton doigt et à haute voix... »

Item 2 (cardinal) « Est-ce que tu te souviens combien il y avait d'éléphants ? »

Attention : L'application s'arrête quand on clique 3 fois sur le triangle, donc appuyer sur le rond à chaque fois et s'arrêter après 3 erreurs au moment du dénombrement avec des images (item 1, 3, 5...)

<i>Item 1</i>	<i>Item 2</i>	<i>Item 3</i>	<i>Item 4</i>	<i>Item 5</i>	<i>Item 6</i>
6 éléphants	Cardinal	7 baleines	Cardinal	12 chiens	Cardinal
<i>Item 7</i>	<i>Item 8</i>	<i>Item 9</i>	<i>Item 10</i>	<i>Item 11</i>	<i>Item 12</i>
9 animaux	Cardinal	11 escargots	Cardinal	12 animaux	Cardinal

Protocole expérimental à destination des enseignants – AppLINOU +

La recherche se déroulera avec une cinquantaine d'enfants. Le recrutement se fera au mois d'octobre. Les élèves seront scolarisés dans des classes de moyenne et grande section de l'académie de Nancy-Metz, en inclusion.

Un entraînement régulier est nécessaire. Aussi, **4 séances de 10 minutes sont prévues par semaine.** L'entraînement s'effectuera sur **3 périodes de 4 semaines d'expérimentation**, soit un entraînement aux 8 activités de littératie et aux 8 activités de numératie pendant 12 semaines.

L'enfant commence avec son accompagnant scolaire (AESH) par une activité de littératie (environ 5 min), puis cette même activité est reprise avec l'enfant porteur d'autisme et un enfant de la classe d'inclusion. Dans la mesure du possible, il s'agira toujours du même élève ou d'élèves qui ont des affinités avec l'enfant porteur d'autisme.

Le lendemain, une activité de numératie sera proposée dans les mêmes conditions.

L'évaluation initiale que nous proposerons permettra de savoir quel niveau sera travaillé par l'enfant pour chacune des 3 périodes de l'année. **Nous souhaitons individualiser les apprentissages.** Ce qui est important de respecter, c'est le temps et l'activité.

L'application propose 5 niveaux différents : les 2 premiers niveaux travaillent les compétences de MS et les niveaux 3, 4 et 5 sont particulièrement axés sur les programmes de GS.

8 activités sont proposées, 4 en littératie et 4 en numératie.

Concernant les activités en numératie, le domaine numérique commence à 3 et augmente progressivement jusque 10 (il ne dépasse pas 6 au niveau 3 par exemple).

NA1 : **L'enclos des animaux.** Les objectifs sont de quantifier des collections et de lire des nombres.

NA2 : **Le château.** Les objectifs sont de dénombrer une collection et de donner le cardinal d'une collection.

NA3 : **Retour à la ferme.** L'objectif est de constituer une collection d'une taille donnée.

NA4 : **La balade en voiture.** L'objectif est de comparer des quantités.

Concernant les activités en littératie, la complexité augmente progressivement au niveau des syllabes (uniquement des mots de 2 syllabes au niveau 1 par exemple), de la longueur des mots à écrire, au niveau du vocabulaire par exemple.

LA1 : **Le tambour.** L'objectif est de scander des syllabes.

LA2 : **Lettres en folie.** L'objectif est de reconnaître les lettres de l'alphabet.

LA3 : **Les mots.** L'objectif est de travailler sur le vocabulaire

LA4 : **Syllarobot (Niveaux 1 et 2) – La maison des rimes (Niveaux 3,4 et 5)** L'objectif est de manipuler des syllabes.

L'évaluation initiale (test LINUMEN) permettra de savoir quel niveau de départ sera travaillé par l'enfant. Trois niveaux différents sont envisagés pendant la période d'expérimentation.

EX 1, élève de MS, niveaux → 1, 2 et 3

EX 2 : élève de GS mais qui rencontre des difficultés → niveau, 2, 3 et 4

EX 3 : élève de GS → niveau 3, 4 et 5

Si l'enfant progresse rapidement, il peut changer de niveau à chaque fois. Les deux dernières semaines, il reprendra le niveau 5.

Il n'est pas nécessaire de travailler des niveaux similaires en littérature et numération.

EX : un enfant en semaine 3 peut être au niveau 2 en numération mais rester sur le niveau 1 en littérature. De la même manière, le niveau peut être différent selon les activités.

Ex : un enfant peut être en semaine 3, au niveau 2 de l'activité de « l'enclos des animaux » et rester au niveau 1 pour l'activité du « château » moins bien réalisée en semaine 1.

L'AESH adaptera le niveau de l'enfant au niveau de l'activité.

	Activités à travailler par période			
	Semaines de l'expérimentation			
	1	2	3	4
LUNDI	NA1. L'enclos des animaux	NA3. Retour vers la ferme	NA1. L'enclos des animaux	NA3. Retour vers la ferme
MARDI	LA1. Le tambour des syllabes	LA3. Les mots	LA1. Le tambour des syllabes	LA3. Les mots
JEUDI	NA2. Le château	NA4. La balade en voiture	NA2. Le château	NA4. La balade en voiture
VENDREDI	LA2. Les lettres en folie	LA4. Syllarobot	LA2. Les lettres en folie	LA4. Syllarobot

Selon le niveau de l'élève, en semaine 3, il peut refaire le même niveau qu'en semaine 1 ou passer au niveau supérieur. C'est l'AESH qui décide du choix niveau en fonction des réussites ou difficultés de l'élève.

Les données de chaque enfant sont envoyées sur un serveur ; cela nous permettra de suivre le parcours individualisé de chaque enfant.

Pour les deux périodes suivantes, 4 semaines d'expérimentation sont à nouveau proposées. De la même manière, l'enfant peut passer à un niveau supérieur si cela est nécessaire.

Calendrier prévisionnel

Une formation facultative de 3 heures sera proposée à l'enseignant(e) et à l'AESH avant le début de l'expérimentation.

Période 1 : du 4 janvier au 19 février (4 semaines à choisir sur les 7 semaines)

Période 2 : du 8 mars au 23 avril 2021 (4 semaines à choisir sur les 7 semaines)

Période 3 : 13 mai au 11 juin (4 semaines sur les 5 semaines)

Des évaluations finales auront lieu au mois de juin.

NOUS VOUS REMERCIONS POUR VOTRE COLLABORATION !!!



AppLINOU +

Apprendre avec LINOU en maternelle Pour un accrochage scolaire de tous les élèves

Protocole expérimental de Neals

Avec.....

Activités de Numératie

NA1 : L'enclos des animaux

NA2 : Le château

NA3 : Retour vers l'enclos

NA4 : La balade en voiture

Activités de littérature

LA1 : Le tambour des syllabes

LA2 : Les lettres en folie

LA3 : Les mots

LA4 : Syllarobot / La maison des rimes

Activités à travailler – Période 1 (janvier / février)				
	Semaines de l'expérimentation			
	1	2	3	4
LUNDI	NA1, niveau 2	NA3, niveau 2	NA1, niveau 3	NA3, niveau 3
MARDI	LA1, niveau 2	LA3, niveau 1	LA1, niveau 3	LA3, niveau 2
JEUDI	NA2, niveau 1	NA4, niveau 1	NA2, niveau 2	NA4, niveau 2
VENDREDI	LA2, niveau 2	LA4, niveau 1	LA2, niveau 2/3	LA4, niveau 1/2

Remarques :

1. Pour la première prise en main de l'activité, le niveau peut être en dessous du niveau de l'élève. Il s'agira davantage de lui montrer comment fonctionne l'activité plutôt que de développer ses compétences.
2. C'est l'AESH ou l'enseignant(e) qui décide d'ajuster les niveaux : lors de la 3ème semaine de l'expérimentation, on peut refaire le même niveau que la première semaine ou augmenter selon la réussite ou les difficultés de l'enfant.
3. Après l'entraînement de 5 minutes, l'enfant refait le même niveau qu'il vient de réaliser avec un autre élève de la classe. Le son peut alors être coupé et le casque retiré.

Annexe 10 : Questionnaire rempli par les enseignants du groupe expérimental

		Je suis	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni d'accord, ni en désaccord	D'accord	Tout à fait d'accord
62,5 %	1. Les relations avec les pairs se sont améliorées		5 %	5 %	27,5 %	32,5 %	30 %
62,5 %	2. L'interaction avec un pair est nécessaire à chaque utilisation d'AppLINOU+		12,5 %	15 %	10 %	35 %	27,5 %
57,5 %	3. La relation pédagogique s'est améliorée		5 %	5 %	32,5 %	42,5 %	15 %
75 %	4. L'écran de concentration est une aide pour l'attention et la concentration		2,5 %	7,5 %	15 %	37,5 %	37,5 %
75 %	5. Le casque est nécessaire/utile pour réaliser les activités avec la tablette en classe		2,5 %	7,5 %	15 %	37,5 %	37,5 %
37,5 %	6. L'intérêt pour les autres activités de la classe s'est développé		5 %	22,5 %	35 %	27,5 %	10%
77,5 %	7. L'application numérique adaptée a permis à l'élève avec TSA de développer de nouvelles compétences.		5 %	7,5 %	10%	40 %	37,5 %
85 %	8. Le temps d'activité (10min) est suffisant.		0 %	2,5 %	12,5 %	20 %	65 %
82,5 %	9. L'élève avec TSA a apprécié le travail sur l'application		2,5 %	2,5 %	12,5 %	10 %	72,5 %
25 %	10. La famille a constaté des changements dans l'attitude de l'élève avec TSA		5 %	5 %	65 %	22,5 %	2,5 %