GLOSSA

Revue Scientifique en Orthophonie Logopédie

Numéro 141, 2024

Directrice de publication :
Sylvia Topouzkhanian

Équipe de rédaction :
Rédactrice en chef :
Agnès Witko
agnes.witko@univ-lyon1.fr

Directrice de production et administratrice web :
Lydie Batilly-Gonin

Secrétaires de rédaction :
Florence Baldy-Moulinier
Bénédicte Bordet-Boullet
Marianne Le Floch-Bazin
Mathilde Oudry

e-ISSN : 2117-7155

Site web :
https://www.glossa.fr

Licence :
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Editorial Glossa 141
AGNES WITKO & NATACHA TRUDEAU

Évaluer la compréhension verbale d'enfants avec TSA et déficience intellectuelle : impact du support tablette vs papier.

Assessing the verbal comprehension of children with ASD and intellectual disabilities: impact of the tablet vs paper format.

CHARLINE GROSSARD

Étude de validité de la batterie Examath 5-8 chez les enfants en fin de MSM.

Validity of the Examath 5-8 battery in 4-5-year-old children.

HERMINE VILLALARD, MARIE CHRISTEL HELLOIN & ANNE LAFAY

Est-ce qu'écrire sur un clavier aide les élèves présentant un Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Écrit à améliorer leur orthographe ?

Does writing on a keyboard help students with a Specific Written Language Learning Disability to improve their spelling?

LUCIE BROC & MARIE CAILLET

Editorial Glossa 141.

Autrices :
Agnès Witko[1,2]
Natacha Trudeau[3,4,5,6]

Affiliations :
[1] UCBL - Laboratoire DDL, Lyon,France
[2] Rédactrice en chef de Glossa
[3] Orthophoniste, PhD, Professeure titulaire
[4] École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal Canada
[5] Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), Canada
[6] Institut universitaire de réadaptation en déficience physique de l'université de Montréal (IURDPM), Canada

Autrice de correspondance :
Agnès Witko
agnes.witko@univ-lyon1.fr

Comment citer cet article :
Witko, A., Trudeau, N. (2024). Editorial Glossa 141. *Glossa*, 141, 2-5. https://doi.org/10.61989/hnafgq13

e-ISSN : 2117-7155

Licence :
© Copyright Agnès Witko, Natacha Trudeau, 2024
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

AGNÈS WITKO, RÉDACTRICE EN CHEF

Glossa poursuit sa feuille de route sur les chemins de la diffusion scientifique pour l'orthophonie et avec les orthophonistes, et bien plus encore, sur le projet de prendre sa place dans le vaste panorama de la Science ouverte.

Concernant le premier objectif, les idées ne manquent pas et vont se concentrer sur trois points :

- Tout d'abord, diffuser des recherches sur des thématiques de prévention, d'évaluation, d'intervention, et de promotion en orthophonie logopédie.

- Ensuite, mieux comprendre comment des mesures appliquées sur des collections de données bien décrites aideront les orthophonistes à trouver les bonnes méthodes pour documenter l'efficacité et l'efficience des suivis thérapeutiques sur le terrain clinique.

- Et par répercussion, éclairer les différents types de décisions cliniques grâce et par la recherche.

Dans la deuxième partie de cet éditorial confiée à Natacha Trudeau, ces différents points vont être développés dans une démonstration pointue et très bien illustrée des liens entre la recherche et l'orthophonie de demain…

Concernant le second objectif, l'équipe éditoriale passe à la vitesse supérieure en dirigeant sa politique éditoriale avec un impératif : prendre soin des trois piliers qui guident le projet de Glossa : le lectorat, les autrices et les auteurs, ainsi que les évaluatrices et les évaluateurs des articles soumis.

- Pour le premier pilier, faciliter l'accès des cliniciennes et des cliniciens à des recherches fiables, documentées, et reproductibles en totalité ou en partie, pour développer des passerelles avec le soin courant reste un objectif au cœur des enjeux éditoriaux.

- Pour le second, elles et ils publient dans Glossa en disposant dorénavant d'un statut clarifié et sans ambiguïté, à la hauteur des perspectives de la Science ouverte.

- Quant au comité de lecture, il s'enrichit au fil des soumissions en privilégiant des évaluatrices et des évaluateurs externes, détenant une ou des expertises centrées sur les thématiques traitées dans les articles soumis.

Revenons aux trois articles publiés dans le numéro 141 de Glossa, dont voici les thématiques.

Evaluer la compréhension verbale d'enfants avec TSA et déficience intellectuelle : impact du support tablette vs papier,

par Charline Grossard.

En rappelant que la compréhension verbale est une composante-clé du développement du langage, Charline Grossard a étudié cette composante chez les enfants avec Trouble du Spectre Autistique (TSA) et déficience intellectuelle (DI). Afin de mieux connaître les particularités cognitives et sensorielles de ces enfants, cette étude compare la passation d'un test de compréhension lexicale et syntaxique présenté sur papier ou sur tablette, auprès de 12 enfants ayant un niveau de compréhension verbale situé entre 18 et 36 mois. Il ressort que le support n'influence pas les résultats des enfants aux deux épreuves. Cependant, la passation sur tablette est significativement plus courte que celle sur papier. De plus, les scores à la grille comportementale sont meilleurs quand les enfants sont évalués sur tablette, montrant une meilleure adaptation à la situation et une diminution des comportements sensoriels spécifiques des patients avec TSA. Le lien avec les conditions cliniques est évident : l'utilisation d'un support numérique, motivant et accessible, peut favoriser la participation des enfants avec TSA à une évaluation du langage.

Etude de validité de la batterie Examath 5-8 chez les enfants en fin de MSM,

par Hermine Villalard, Marie Christel Helloin, et Anne Lafay.

Partant du fait que des prédicteurs du développement des habiletés mathématiques sont connus dès la fin de MSM, une évaluation des compétences mathématiques chez les enfants de cette classe d'âge pourrait conduire à un diagnostic précoce d'un trouble, ou d'un risque de trouble spécifique des apprentissages en mathématiques en cas de suspicion de difficultés. Dans l'objectif de réaliser une évaluation approfondie chez les enfants de cet âge, la recherche menée par Hermine Villalard, Marie-Christel Helloin, et Anne Lafay vise à évaluer l'acceptabilité, l'accessibilité et la validité de construit d'une sélection d'épreuves de la batterie Examath 5-8, sur un échantillon de 36 enfants en fin de MSM, sans suivi orthophonique pour des difficultés en mathématiques ou langagières. Les résultats sont encourageants du fait d'une bonne acceptabilité par les enfants pour le niveau MSM, et d'une bonne validité de construit en lien avec le niveau scolaire de MSM en comparaison avec les GSM. Avant de donner la main aux orthophonistes pour compléter l'évaluation diagnostique grâce à cette batterie, cette première étape devra être complétée par des études de sensibilité et de validité discriminante de ces épreuves, afin de garantir le pouvoir diagnostique de la batterie pour cette classe d'âge.

Est-ce qu'écrire sur un clavier aide les élèves présentant un Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Ecrit à améliorer leur orthographe ?

par Lucie Broc et Marie Caillet.

Caractérisé par des difficultés d'apprentissage de la lecture et de l'expression écrite, le trouble spécifique d'apprentissage du langage écrit (TSApp-LE) peut impacter les performances scolaires. Dans ce contexte, l'outil informatique peut être proposé comme moyen de compensation au quotidien. Aujourd'hui, il est souvent mis en œuvre en ergothérapie pour apprendre à écrire sur un clavier et à maitriser les logiciels d'aide à l'écriture. L'étude conçue par Lucie Broc vise à évaluer les performances orthographiques de 11 élèves âgés de 10 à 14 ans et présentant un TSApp-LE. Deux narrations écrites ont été comparées en condition manuscrite et tapuscrite, sur la longueur et la précision orthographique des productions, sans différence significative entre les deux modalités. Globalement, les participants de cet échantillon ne produisent pas plus d'erreurs d'orthographe dans les deux conditions. Par ailleurs ces participants produisent plus d'erreurs d'orthographe morphologique (flexionnelle et dérivationnelle) que d'erreurs lexicales et que d'erreurs phonologiques, et cela quelle que soit la modalité de production. La recherche montre que, face à un échantillon de petite taille, une analyse qualitative apporte des éléments pour nuancer les résultats, ici, par des informations sur la comorbidité des troubles du langage écrit avec les troubles de l'attention, sur la motivation des participants et sur les conditions des suivis en ergothérapie en termes de durée et de régularité. En clinique orthophonique, l'utilisation de l'ordinateur comme outil de compensation des difficultés orthographiques dans le contexte du TSApp-LE est à questionner individuellement pour chaque enfant présentant ce type de trouble.

La technologie devient donc une question essentielle en orthophonie ! Natacha Trudeau nous livre sa réflexion sur le sujet…

ORTHOPHONIE ET TECHNOLOGIE : QUAND LA RECHERCHE PRÉPARE LA PRATIQUE DE DEMAIN.

Natacha Trudeau, Orthophoniste, PhD, Professeure titulaire

J'ai grandi dans un monde sans ordinateurs personnels, sans internet, sans cellulaires… Un monde qui fait bien rire mes enfants quand je l'évoque aujourd'hui ! Une véritable révolution technologique a transformé le monde où l'on vit et le domaine de l'orthophonie n'y a pas échappé.

La technologie a transformé notre pratique[1]. L'accès à l'information, notamment aux données probantes a un effet indéniable sur le maintien à jour de nos connaissances. Les communautés de pratique virtuelles et autres activités en ligne nourrissent notre raisonnement clinique, facilitent l'échange de ressources et brisent l'isolement professionnel.

Il existe une multitude de manières d'innover dans nos domaines grâce aux nouvelles technologies. De plus en plus de chercheurs s'intéressent aux pratiques cliniques s'appuyant sur la technologie, tant en évaluation qu'en intervention. J'ai récemment demandé à mes collègues à l'université de Montréal de me raconter leurs projets technologiques. Voici, en guise de mise en bouche, un aperçu de leurs réponses (et quelques liens en référence pour en apprendre davantage)…

Dans le contexte d'évaluation, les technologies de fines pointes permettent de mettre en relation des données (acoustiques, électrophysiologiques ou autres) et des mesures comportementales pour approfondir notre compréhension des mécanismes sous-tendant la parole, le langage et l'interaction.

Par exemple, l'équipe de la professeure Royle[2] a créé des paradigmes expérimentaux permettant d'utiliser les potentiels évoqués pour explorer l'évolution des processus électrophysiologiques lors du développement du langage, permettant de comparer ces processus chez des adultes apprenant une langue seconde, des enfants, et des adolescents avec ou sans troubles de langage. Le doctorant Bisaillon-Rossier et ses directeurs ont, quant à eux, intégré des mesures oculométriques à des tâches de lecture à voix haute[3]. Leur équipe élargie a depuis adapté plusieurs tâches de lecture et d'écriture en utilisant l'oculométrie, afin d'établir un lien entre certaines habiletés cognitives nécessaires à la lecture et des comportements oculomoteurs chez des populations de tous âges, avec ou sans trouble du langage écrit.

La combinaison de mesures physiologiques normalement étudiées de manière indépendante peut également soutenir l'étude de comportements communicatifs complexes. Par exemple, afin de mieux caractériser la synchronie mère-enfant, souvent difficile à mesurer dans une approche strictement comportementale, McFarland et ses collaborateurs utilisent la pléthysmographie respiratoire par inductance. Combinée à des électrodes mesurant le rythme cardiaque et de l'équipement audiovisuel, il devient possible de mesurer la synchronie respiratoire mère-enfant et de déterminer son alignement temporel avec une mesure cardiaque de l'attention chez l'enfant et la contingence vocale mère-enfant[4].

Récemment, les avancées en intelligence artificielle (IA) ont suscité de nouvelles avenues de recherche. Par exemple, le professeur Güven et son équipe tentent de développer un modèle d'apprentissage automatique pour l'identification précoce des troubles du développement de la parole et du langage chez les enfants[5].

Ces exemples illustrent comment en utilisant des technologies de pointe, il est possible d'enrichir à la fois notre compréhension de comportements complexes et notre capacité diagnostique. Par ailleurs, la technologie a aussi changé nos modalités

[1] Lin Y, Neuschaefer-Rube C. Digital Learning in Speech-Language Pathology, Phoniatrics, and Otolaryngology: Interdisciplinary and Exploratory Analysis of Content, Organizing Structures, and Formats. JMIR Med Educ. 2021 Jul 27;7(3):e27901. https://doi.org/10.2196/27901

[2] https://labo-langage.surge.sh

[3] Bisaillon-Rossier, A. (2020) Liens entre les habiletés rythmiques et les compétences de décodage en lecture : associer les périodicités oculaires au chunking perceptif en parole lue https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/24340 consulté le 18 septembre 2024.

[4] McFarland, David & Fortin, Annie Joelle & Polka, Linda. (2019). Physiological measures of mother–infant interactional synchrony. Developmental Psychobiology. 62. 10.1002/dev.21913. https://doi.org/10.1002/dev.21913

[5] Computational Speech-Language Pathology Laboratory (COALab): www.coalab.org.

d'intervention. D'entrée de jeu, la technologie peut multiplier les occasions de communication et la rééducation hors séance, comme c'est le cas dans un projet de circuit d'activités « Parler plus », mené par la professeure Croteau, qui permet à des personnes aphasiques en centre de réadaptation de réaliser de façon autonome des activités ciblant leur communication[6]. Mais les possibilités ne s'arrêtent pas là. De récentes revues de la littérature[7][8] ont documenté dans notre domaine l'utilisation de la réalité virtuelle, la réalité augmentée, l'intelligence artificielle et l'apprentissage machine de même que de robots.

Ces nouvelles technologies peuvent être mises à profit pour soutenir la participation sociale des personnes ayant des troubles de communication. La professeure Moïse-Richard utilise un avatar animable en temps réel pour simuler des situations stressantes pour ses patients. Par exemple, un jeune qui bégaie peut, dans un environnement sécuritaire, simuler l'annonce de son bégaiement et discuter des adaptations en classe avec un professeur virtuel contrôlé par l'orthophoniste[9].

La professeure Anglade, quant à elle explore comment l'intelligence artificielle couplée à la réalité virtuelle pourrait permettre aux orthophonistes et aux personnes ayant une aphasie de mieux préparer la reprise d'interactions de service (ex. dans les commerces) lors de la réadaptation post-AVC[10]. Toujours auprès de la clientèle adulte, la professeure Martineau a collaboré avec une équipe multidisciplinaire pour le développement d'une thérapie de la paralysie faciale s'appuyant sur une technologie de réalité augmentée basée sur le principe de l'effet miroir[11].

À terme, les nouvelles technologies pourraient aider les cliniciens dans leur raisonnement clinique. C'est ce qu'espère accomplir le Professeur Güven en élaborant un modèle qui apprend des décisions cliniques des orthophonistes avant, pendant et après la thérapie afin de créer un outil d'aide à la décision clinique.

Bien entendu, l'intelligence artificielle, la réalité virtuelle, et les plates-formes d'apprentissage interactives s'installent aussi de plus en plus dans la formation initiale des orthophonistes[12] générant d'innombrables possibilités d'approches pédagogiques qui étayent le développement des compétences des futurs professionnels. À titre d'exemple, au sein de notre programme en orthophonie, et avec la collaboration d'étudiantes, les professeurs Marcotte et Anglade ont créé une clinique artificielle pour permettre aux étudiants d'exercer leur raisonnement clinique[13].

Dans un contexte social où la technologie est parfois montrée du doigt pour expliquer l'isolement social, la désinformation, et autres maux de la société contemporaine, il faut savoir se rappeler qu'elle peut aussi servir à (re)bâtir les ponts entre les personnes qui vivent avec un trouble de la communication et le monde qui les entoure. À nous, comme communauté de combiner l'expertise clinique et le savoir scientifique pour utiliser au bénéfice de nos clients ce que la technologie a de positif à offrir. Les idées ne manquent pas, comme vous pouvez le constater !

6 Circuit Parler Plus : https://iurdpm.ca/fr/circuit-parler-plus

7 Lin, C. J., Mubarok, H., Ramadhana A.B., R., Gasperius, S., Liu, C. Y., Sawettanun, S., … Zheng, L. R. (2024). Trends in technology-enhanced learning strategies in speech-language pathology solutions: a systematic review of journal publications from 2004 to 2023. Interactive Learning Environments, 1–21. https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2300011

8 Toki, E.I., Papadopoulou, S., Pange, J. (2024). Utilizing New Technologies for Children with Communication and Swallowing Disorders: A Systematic Review. In: Auer, M.E., Tsiatsos, T. (eds) Smart Mobile Communication & Artificial Intelligence. IMCL 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 937. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56075-0_19

9 https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/les-annees-lumiere/segments/entrevue/356507/begaiement-enfant-avatar-simulation-realite-virtuelle-parole, consulté le 18 septembre 2024.

10 MarRIane est seRVie : https://inven-t.umontreal.ca/actualites/nouvelle/news/detail/News/resultats-de-lappel-a-projets-realiser-inven-t-apporte-un-soutien-a-six-projets-dimplantations-e/, consulté le 19 septembre 2024

11 Protocole MEPP : https://mirroreffectplus.org

12 Dudding, C.C, Zraick, R.I., Dudding, S.M. (2024) The Use of Simulation in Communication Sciences and Disorders: A Follow-Up Survey. https://doi.org/10.1044/2024_AJSLP-23-00307

13 Clinique artificielle : https://laborenato.ca/clinique-artificielle/

Évaluer la compréhension verbale d'enfants avec TSA et déficience intellectuelle : impact du support tablette vs papier.

Autrice :
Charline Grossard[1]

Affiliation :
[1]Orthophoniste, Service de psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent, Hôpital Pitié Salpêtrière, Paris, France

Autrice de correspondance :
Charline Grossard
charline.grossard@aphp.fr

Dates :
Soumission : 15/05/2023
Acceptation : 01/05/2024
Publication : 24/10/2024

Comment citer cet article :
Grossard, C. (2024). Évaluer la compréhension verbale d'enfants avec TSA et déficience intellectuelle : impact du support tablette vs papier. *Glossa*, 141, 6-28. https://doi.org/10.61989/n7p5dk44

e-ISSN : 2117-7155

Licence :
© Copyright Charline Grossard, 2024
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Contexte : La compréhension verbale est une composante clé du développement du langage. Or, cette composante est particulièrement déficitaire chez les enfants avec Trouble du Spectre Autistique (TSA) et déficience intellectuelle (DI). Actuellement, son évaluation est compliquée, notamment car les tests existants ne sont pas adaptés aux particularités cognitives et sensorielles des enfants avec TSA et DI. Les récentes recherches montrent que les outils numériques sont des supports motivants et simples à utiliser avec ces enfants. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du support sur la passation d'un test de compréhension du langage oral présenté sur papier ou sur tablette.

Méthode : Dans cette étude, 12 enfants avec TSA et DI ayant un niveau de compréhension verbale situé entre 18 et 36 mois, ont été évalués sur tablette et sur papier grâce à une épreuve de compréhension lexicale et une épreuve de compréhension syntaxique.

Résultats : Bien que le support n'influence pas les résultats des enfants aux deux épreuves, la passation sur tablette est significativement plus courte que celle sur papier. De plus, les scores à la grille comportementale sont meilleurs quand les enfants sont évalués sur tablette, mettant en avant une meilleure adaptation à la situation et une diminution des comportements sensoriels spécifiques des patients avec TSA.

Conclusion : Ces observations mettent en avant que l'utilisation d'un support numérique pour l'évaluation des enfants avec TSA peut favoriser leur participation aux épreuves proposées.

Mots-clés : Trouble du Spectre Autistique, déficience intellectuelle, compréhension verbale, évaluation, tablette numérique.

Assessing the verbal comprehension of children with ASD and intellectual disabilities: impact of the tablet vs paper format.

Context: Verbal comprehension is a key component of language development. However, this component is particularly deficient in children with Autism Spectrum Disorder (ASD) and intellectual disability (ID). Currently, its evaluation is complicated, especially because existing tests are not adapted to the cognitive and sensory particularities of children with ASD and ID. Recent research shows that digital tools are motivating and easy to use with these children. In this study, we aimed to assess the impact of the support tablet vs paper on the passation of a verbal comprehension test.

Methods: In this study, 12 children with ASD and ID with a level of verbal comprehension between 18 and 36 months of age were evaluated on a tablet and on paper with a lexical comprehension test and a syntactic comprehension test.

Results: Although the medium did not influence the children's scores on the two tests, the tablet test was significantly shorter than the paper test. In addition, the scores on the behavioral grid were better when the children were evaluated on the tablet, highlighting a better adaptation to the situation and a decrease in the specific sensory behaviors of patients with ASD.

Conclusion: These observations show that the use of a digital support for the evaluation of children with ASD can encourage their participation in the proposed tests.

Keywords: Autism Spectrum Disorder, intellectual disability, verbal comprehension, assessment, digital tablet.

INTRODUCTION

La compréhension verbale est une composante clé du développement du langage. Or, cette dernière est particulièrement touchée chez les enfants avec Trouble du Spectre Autistique (TSA). La communication verbale des enfants avec TSA est marquée par des déficits plus importants dans le langage réceptif que dans le langage expressif ce qui amène l'entourage à surévaluer leur niveau de compréhension (Howlin et al., 2014 ; Maljaars et al., 2012). De plus, 40 à 70% des patients avec TSA présentent une déficience intellectuelle (DI) associée (McKinney et al., 2021). La communication dans la DI isolée est également déficitaire en compréhension et en expression (Inserm, 2016). Ainsi, la DI associée aux TSA induit une symptomatologie plus sévère que dans le cadre du TSA isolé ou de la DI isolée avec des troubles de la communication, des difficultés dans les interactions sociales, des comportements restreints et répétitifs, avec une capacité de communication sociale inférieure à celle attendue pour le niveau développemental général (HAS, 2022). Les profils des personnes avec TSA et DI sont particulièrement hétérogènes, cette hétérogénéité pouvant être considérée comme un marqueur développemental du TSA (Bernard Paulais et al., 2019). Ainsi, les compétences non verbales sont globalement mieux préservées que les compétences langagières, parmi lesquelles les compétences d'imitation vocale et de langage en production semblent les plus touchées (Bernard Paulais et al., 2019). Les apprentissages sont impactés selon la sévérité des troubles cognitifs associés aux TSA et à la DI.

La Haute Autorité de Santé recommande la mise en place d'une prise en charge précoce de ces enfants, dès 18 mois, construite grâce à une évaluation de leurs compétences linguistiques, en utilisant des tests standardisés (HAS, 2018).

L'évaluation des patients avec TSA et DI présentant de faibles compétences verbales repose dans la littérature scientifique sur différentes approches : les évaluations standardisées auprès de l'enfant, les questionnaires parentaux, les mesures automatiques comme l'eye tracking ou encore les tâches sur tablette (Trembath et al., 2019). En pratique, les évaluations standardisées et les questionnaires parentaux sont couramment utilisés (Garié, 2021).

Actuellement, le seul test standardisé recommandé pour l'évaluation de la communication chez les enfants avec TSA très jeunes et/ou peu verbaux est l'ECSP (Guidetti & Tourette, 1993 ; HAS, 2018). Cet outil présente l'avantage de proposer des activités semi-dirigées permettant une observation des compétences interactionnelles, d'adaptation et d'attention conjointe de l'enfant de 3 à 30 mois. Cependant, il n'est pas spécifique au langage et est plutôt destiné à l'évaluation de ses précurseurs. Ainsi, il ne permet pas d'évaluer finement le vocabulaire connu de l'enfant, les items s'y intéressant reposant avant tout sur une évaluation quantitative – le nombre de mots compris – mais pas sur une évaluation qualitative – type de mots connus. De même les tournures syntaxiques comprises par l'enfant sont évaluées quantitativement par le nombre d'exécutions correctes d'une consigne donnée à l'enfant. Les consignes données varient essentiellement sur le plan sémantique (verbe/nom) mais peu sur le plan des tournures syntaxiques ; l'évaluation ne permet donc pas d'évaluer quelles sont les tournures syntaxiques comprises par l'enfant. Le VB-MAPP (Sundberg, 2008) est également un outil couramment utilisé pour évaluer les comportements de communication et langagiers chez l'enfant avec TSA ; cependant, cet outil vise à évaluer les comportements langagiers plus que la constitution des différents versants langagiers (lexical et syntaxique notamment). Ainsi, il ne permet pas par exemple d'évaluer la composition du lexique passif de l'enfant. De plus, l'accord inter-observateur est modéré concernant l'évaluation des compétences et pauvre lorsqu'il s'agit d'évaluer les barrières des apprentissages (Montallana et al., 2019). Enfin, Padilla et Akers (2021) notent que le contenu des domaines s'intéressant à la structure linguistique est évalué comme non suffisant par leur panel d'experts et devrait être complété par d'autres évaluations du langage de l'enfant. Il existe également des outils d'évaluation du langage chez le jeune enfant, mais qui ne sont pas spécifiques à l'évaluation de l'enfant avec TSA tels que Evalo 2-6 (Coquet et al., 2007 ; 2009), qui ne permet d'évaluer le langage qu'à partir de 2 ans 3 mois, et Evalo BB (Coquet et al., 2010), dont l'étalonnage est restreint et le nombre d'items faible (Grossard et al., 2015). D'autres tests présentent des limitations méthodologiques, comme le Reynell Developmental Language Scales (Edwards et al., 1997), connu des orthophonistes mais sans normes françaises disponibles ou encore le Nelly-Carole (Abadie et al., 1990) dont les normes sont très anciennes. Citons également Le Bain des

Poupées ou BEPL (Chevrie-Muller et al., 1997), qui permet d'évaluer le langage en situation de jeu, mais pas en situation contrainte et standardisée. Enfin, le test *Antoine et Caroline* (Grossard et al., 2015) permet une évaluation du lexique et de la syntaxe en compréhension et en expression. Son étalonnage sur 152 enfants de 18 à 36 mois en tranches de 6 mois permet une évaluation précise du langage. De plus, cet outil a déjà été utilisé auprès d'enfants avec DI. Cependant, il n'a pas été utilisé auprès d'une population avec TSA.

Les questionnaires parentaux comme les questionnaires d'Evalo BB (Coquet et al., 2010) ou de Dialogoris (Antheunis et al., 2005 ; 2007) permettent de rendre compte du développement global de l'enfant sans pour autant permettre une évaluation spécifique du langage. Les IFDC (Bovet et al., 2005) permettent une approche du développement du langage plus précise de l'enfant de 12, 18 et 24 mois. Ils ne sont cependant pas spécifiques à l'enfant avec TSA.

Actuellement, la meilleure façon d'évaluer les enfants avec TSA peu verbaux semble encore de coupler différents moyens d'évaluation, notamment tests standardisés et questionnaires parentaux (Trembath et al., 2019). Cependant, les tests standardisés existants, notamment ceux évaluant la compréhension verbale, ne sont pas adaptés aux particularités sensorielles et cognitives des patients avec TSA (Courtois-du Passage & Galloux, 2004 ; Trembath et al., 2019). En effet, outre les difficultés de communication, une majorité des enfants avec TSA présente des troubles du comportement tels que des stéréotypies, des comportements auto ou hétéro-agressifs ou encore une intolérance à la frustration (Inoue, 2019 ; Rivard et al., 2013). De plus, ils sont gênés face aux interactions sociales et aux règles qui les régissent, ce qui complique la passation des tests dès qu'il faut interagir avec l'examinateur (Courtois-du Passage & Galloux, 2004). Ainsi, les procédures de passation de tests standardisés sont souvent modifiées pour s'adapter au comportement du patient, ce qui peut entrainer un écart dans la cotation et donc l'interprétation des résultats (Trembath et al., 2019).

Actuellement, de nombreux chercheurs s'intéressent à l'utilisation d'outils numériques auprès d'enfants avec trouble du neurodéveloppement aussi bien dans le domaine de la rééducation que de l'évaluation (Valentine et al., 2020). Ainsi plusieurs auteurs suggèrent que l'utilisation de ces supports améliorerait l'intérêt et l'attention des patients avec TSA (Grossard & Grynszpan, 2015 ; Serret et al., 2017 ; Zakari et al., 2014). Ces technologies numériques sont notamment utilisées aujourd'hui comme des technologies d'assistance pour offrir des outils d'aide dans la vie quotidienne ou encore pour entrainer des compétences (Grossard & Grynszpan, 2015). Ceci explique que de plus en plus d'applications soient créées à leur intention (Bourgueil et al., 2015 ; Neely et al., 2013). Sur le plan moteur, la tablette est une interface aisément utilisable, plus facile d'utilisation qu'un ordinateur, qui nécessite d'apprendre à se servir du clavier et de la souris (Garnier, 2017). La tablette permet également d'augmenter la motivation des enfants avec TSA pour des tâches académiques, que celle-ci ait été utilisée ou non comme renforçateur positif auprès de l'enfant, du fait de l'intérêt des enfants pour ces supports (Neely et al., 2013). Le feedback immédiat procuré par cet outil les motive plus mais permet également de maintenir leur attention (Garnier, 2017) ; effectivement, la tablette réagit immédiatement lorsque l'utilisateur agit sur elle, ce qui permet à l'enfant de faire un lien direct entre ses actions et leur effet. Par ailleurs, Neely et son équipe (2013) ont noté une forte diminution des troubles du comportement présentés par deux enfants avec TSA en présence de la tablette, contrairement à du matériel classique. Ces deux enfants, un verbal et un non verbal, se sont montrés moins agressifs, ont produit moins de protestations verbales. Elle permet également à ces deux enfants d'entrer plus facilement dans la tâche demandée, diminuant ainsi leurs comportements d'évitement. Ces observations sont également rapportées par l'équipe de Plesa Skwerer et al. (2016) qui ont pu évaluer la compréhension lexicale sur tablette des enfants TSA peu verbaux qui n'avaient pas pu être évalués sur support papier. L'équipe conclut que, pour certains enfants avec TSA, une évaluation sur tablette pourrait s'avérer plus adaptée qu'une évaluation classique sur papier. Cependant, les auteurs ne peuvent, grâce à leur étude, assurer l'intérêt d'une méthode d'évaluation plutôt qu'une autre.

Ce constat nous a donc amenées à proposer un protocole d'évaluation de la compréhension verbale comparant le comportement d'enfants avec TSA et DI dans deux situations d'évaluation différentes : l'une sur papier, l'autre sur tablette. Pour ce faire, nous avons adapté un test de compréhension verbale (Grossard et al., 2015) sur tablette numérique afin d'évaluer 12 enfants ayant un niveau de compréhension verbale compris

entre 18 et 36 mois. L'objectif de cette étude est d'observer l'influence du support papier et tablette sur le comportement de ces enfants durant la passation. Nous nous attendons à ce que la passation du test sur support numérique crée des conditions de passation plus motivantes et adaptées réduisant ainsi la fréquence et la durée des troubles du comportement des patients et favorisant l'apparition de comportements adaptés qui seront évalués grâce à une grille d'observation. Nous supposons également que le test sur tablette permettrait de réduire le temps de passation et d'améliorer les scores des enfants TSA par rapport à la version sur papier.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Participants

Nous avons recruté 12 enfants porteurs d'un diagnostic de TSA avec DI associée au sein de deux hôpitaux de jour et d'un institut médico-éducatif situés en Ile de France. Ces enfants, dont l'âge chronologique varie entre 4 ans 8 mois et 10 ans, ont un âge développemental compris entre 18 et 36 mois pour la compréhension du langage oral, évaluée grâce à la sous-échelle « Compréhension verbale » du PEP-III (Schopler et al., 2021) ou un test de langage oral, et au moins un an de retard par rapport au développement intellectuel des enfants du même âge chronologique, évalué grâce à la sous-échelle « cognition verbale-préverbale » du PEP-III. Afin de s'assurer que les items proposés convenaient aux enfants, nous avons inclus dans notre étude des enfants exposés au français depuis au moins un an. Tous les enfants sauf un sont nés en France et la moitié d'entre eux évolue dans un milieu bilingue. Les enfants porteurs d'une déficience auditive et/ou visuelle non corrigée ont été exclus de l'étude.

Le recueil des données utilisées pour cet article a fait l'objet d'une déclaration préalable auprès de la CNIL (formulaire MR-003, s.d.). Le protocole s'inscrit dans une démarche de soin habituelle en orthophonie, l'évaluation du langage oral. Ainsi, les passations se sont déroulées en majorité lors des séances d'orthophonie des enfants ou bien sur un autre créneau horaire dans une salle dédiée aux évaluations sur leur lieu d'accueil. Une fois les dossiers sélectionnés, nous avons informé les parents du déroulé du protocole et recueilli leur consentement écrit pour la participation à notre étude et l'enregistrement vidéo des passations. En amont du test, un questionnaire sur le comportement de l'enfant a été rempli soit par les parents soit par l'orthophoniste, afin de pouvoir analyser plus précisément les vidéos. Ce questionnaire créé spécifiquement pour l'étude portait sur la capacité ou non de l'enfant à utiliser la tablette, les rituels habituels de l'enfant, ses stéréotypies, sa façon de se comporter dans des situations qu'il vit comme positives et dans des situations qu'il vit comme négatives. Ce questionnaire n'a pas fait l'objet d'une validation mais visait uniquement à obtenir des renseignements sur les comportements habituels de l'enfant.

Le matériel utilisé lors des passations a été inspiré du test *Antoine et Caroline* (Grossard et al., 2015). Ce test présente l'intérêt d'avoir été étalonné sur une population d'enfants tout-venant âgés de 18 à 36 mois et de proposer des épreuves classiques de désignation lexicale et de désignation syntaxique. De plus, les pourcentages de réussite à chaque item sont disponibles, nous permettant d'élaborer deux épreuves de désignation lexicale et deux épreuves de désignation syntaxique de difficulté équivalente pour obtenir 2 paires d'épreuves (Annexe A). Nous obtenons donc 2 modalités d'épreuves de même difficulté à savoir le bloc A (désignation lexicale A et désignation syntaxique A) et le bloc B (désignation lexicale B et désignation syntaxique B).

Sur les 21 patients contactés, 12 familles ont donné leur accord. Les enfants ont ensuite été répartis en 4 groupes de même taille, selon l'ordre de présentation des supports (tablette versus papier) et l'ordre de présentation des épreuves (épreuves A ou B), afin d'éviter un biais lié à l'ordre des passations.

La répartition des enfants a été réalisée en fonction de l'âge développemental, de l'âge chronologique et de l'établissement fréquenté. Les enfants ont été répartis selon deux tranches d'âge chronologique : de 4 ans 8 mois à 6 ans et de 9 ans à 10 ans ; et selon 3 tranches d'âge développemental de compréhension du langage oral : 18 à 23 mois, 24 à 29 mois et 30 à 36 mois. Nous n'avons pas pris en compte le sexe des enfants, car il n'y avait qu'une seule participante. La répartition des enfants est récapitulée dans le tableau 1.

Adaptation sur tablette

Chaque épreuve a ensuite été adaptée pour la tablette numérique. Les images d'*Antoine*

TABLEAU 1 : Répartition des enfants selon la modalité et l'ordre de présentation des supports.

	Tranche d'âge	Groupe Papier puis Tablette	Groupe Tablette puis Papier
Bloc d'épreuves A puis B	18-23 mois	1	1
	24-29 mois	1*	1*
	30-36 mois	1	1*
Bloc d'épreuves B puis A	18-23 mois	1	1
	24-29 mois	0	1
	30-36 mois	2	1*

* = enfants verbaux

et Caroline ont été scannées et incluses dans un diaporama (logiciel PowerPoint 2010 version 14.0.4760.1000 (32 bits), sous Windows 7). Les passations sur tablette ont été réalisées avec une tablette Samsung Galaxy Tab4 (10.1) qui fonctionne avec Android, et le diaporama des épreuves a été lu avec le logiciel Hancom Office (Hshow) version 9.50.0.9516, compatible avec PowerPoint.

Pour chaque item, une diapositive incluant les 4 cartes présentées lors de l'item a été créée (Annexe B). Les images étaient chacune de la même taille et présentées de la même façon sur chaque diapositive. Lorsque l'enfant appuie sur le bon item, un lien hypertexte est activé, qui le conduit à une diapositive de récompense. Après chaque récompense, il suffit de cliquer n'importe où pour passer à l'item suivant. Lorsque l'enfant appuie sur un item erroné, l'image sur laquelle l'enfant a appuyé mène à une autre diapositive où cette image a disparu, mais où les autres images sont encore présentes et où la bonne image lui permettra toujours d'accéder à la récompense. Ainsi, s'il y a 4 images au début et que l'enfant se trompe à chaque fois, il aura accès successivement à 3, 2 puis une seule image (la bonne) et accèdera automatiquement à la récompense. Pour un item de 4 images, nous avons donc réalisé la diapositive avec les 4 images puis nous l'avons copiée plusieurs fois en enlevant des items sur chaque diapositive. Par item, cela donne donc une diapositive avec 4 images, 3 diapositives avec 3 images, 3 diapositives avec 2 images et une diapositive avec la bonne image (Annexe C).

Nous avons pris en compte le cas où l'enfant appuierait à côté des images : normalement, le diaporama passerait à la diapositive suivante. Pour éviter cela, les liens hypertextes n'ont pas été inclus dans les images. En revanche, nous avons divisé chaque diapositive en autant de zones que d'images, puis nous avons recouvert chaque zone d'un rectangle transparent et intégré un lien hypertexte à chacun de ces rectangles. Ainsi, si l'enfant clique à côté d'une image, le diaporama répondra comme si l'item le plus proche avait été sélectionné.

Nous avons également pris en compte que des enfants pourraient être hypersensibles aux bruits (Degenne-Richard et al., 2014) et que certains enfants détournent l'usage de la tablette afin d'entendre le son qui leur plait (Garnier, 2017) ; c'est pourquoi nous n'avons pas inclus de récompense sonore ni enregistré de voix donnant la consigne.

Enfin, nous avons réparti équitablement entre les items de chaque épreuve les emplacements des réponses positives, afin d'éviter qu'un enfant qui appuierait toujours au même endroit n'obtienne que des bonnes réponses.

Déroulement des passations

L'une des examinatrices était régulièrement en contact avec certains enfants pendant l'année, dans le cadre d'un stage clinique. Pour éviter un biais dû au fait que l'enfant connaissait ou non l'adulte, nous avons fait en sorte que ces enfants soient vus par l'autre examinatrice.

Les passations se sont déroulées au sein de l'établissement qui accueille l'enfant. Pour éviter un biais lié à l'attention, chacune des passations d'un même enfant s'est déroulée sur un même créneau horaire à une semaine d'intervalle sauf pour un enfant pour lequel les deux passations ont été espacées d'un mois. Chaque passation a été filmée à l'aide d'un appareil photo Canon EOS D3300.

Dans un premier temps, pour les deux types de supports, un déroulé des temps de la passation, réalisé à l'aide de pictogrammes posés sur une

bande scratch, a été présenté à l'enfant. Avant chaque exercice, une consigne visuelle a été présentée à l'enfant, accompagnée d'une brève explication à l'oral. Pour maintenir la motivation de l'enfant tout au long de l'épreuve, l'examinatrice l'a félicité après chaque item, quelle que soit la réponse donnée. Après chaque étape, le pictogramme correspondant à l'activité terminée a été retiré de la bande scratch, cela faisant l'objet d'un commentaire auprès de l'enfant.

Spécificités de la passation sur tablette

La version originale d'*Antoine et Caroline* permettait de proposer à l'enfant une mascotte (lapin en bois) pour l'accompagner le long du test. Nous avons voulu tenir compte des spécificités des personnes avec TSA et de leurs centres d'intérêt, en proposant à l'enfant une image de train, qui resterait statique lors de l'épreuve (Winter-Messiers, 2007). Ainsi, l'exercice est disponible en deux versions : avec et sans le train. Nous avons ajouté une barre en haut de chaque diapositive, afin de matérialiser le nombre d'items restants et l'avancée dans l'exercice. Cela fournit un repère temporel à l'enfant et augmente la prévisibilité de l'épreuve. Pour maintenir la motivation de l'enfant, nous avons inclus des récompenses après chaque item. À partir des centres d'intérêts habituels des personnes TSA, tels que les moyens de transports, les animaux, les technologies numériques (Koegel et al., 2010 ; Winter-Messiers, 2007), nous avons trouvé des images libres de droit sur le site www.pixabay.com/fr. Nous avons animé ces images selon les effets proposés par le logiciel PowerPoint. Certains objets tournent sur eux-mêmes, mais la plupart d'entre eux se déplacent d'un bout à l'autre de l'écran. Pour maintenir l'attention de l'enfant sur la totalité de l'écran de la tablette, les trajectoires des objets varient d'un item à l'autre. Chaque animation dure environ 3 secondes. Les animations sont déclenchées dès que l'on arrive sur la diapositive d'animation. Il suffit d'appuyer sur l'écran de la diapositive de récompense pour passer à l'item suivant.

Spécificités de la passation sur papier

Pour maintenir la motivation des enfants au long de la passation et éviter un biais, des récompenses ont été prévues également en version papier. L'enfant était félicité verbalement et gestuellement (applaudissement par exemple) après chaque réponse. Un temps de jeu avec des bulles de savon a donc été proposé à l'enfant à la fin de chaque épreuve.

Par ailleurs, certains enfants ont apporté un jouet avec eux durant le temps de passation (camion de pompier, pieuvre en lego…). Nous avons alors proposé à l'enfant ce jouet pendant le temps de récompense à la place des bulles de savon afin de nous rapprocher au maximum de la situation de bilan courante dans laquelle l'orthophoniste s'adapte à l'enfant.

Analyse des vidéos et temps de passation

Chaque vidéo a été retranscrite pour permettre d'analyser finement le comportement des enfants. Le temps du début et de la fin de chaque activité a été noté, ainsi que chaque nouvelle action et le moment où chaque item commençait. Pour recueillir le temps de passation, nous avons compté le temps entre le début du premier item et la fin du dernier item de chaque épreuve. Ainsi, les temps de mise en route et de jeu n'ont pas été décomptés. De plus, d'éventuels problèmes techniques ont été retirés du temps de passation.

Cotation des passations

Les grilles de passation des épreuves ont été inspirées de celles d'*Antoine et Caroline*. Un point a été accordé pour chaque item correct (0 pour toute réponse fausse). Chaque épreuve de désignation lexicale était sur 17 points et chaque épreuve de désignation syntaxique sur 16 points.

Pour déterminer si le comportement des enfants était différent en fonction de la modalité du test, nous avons élaboré une grille comportementale (Annexe D). Pour ce faire, nous avons repris des items du PEP-III (Schopler et al., 2021) correspondant à ce que nous nous attendions à rencontrer lors des passations. Dans un second temps, après avoir réalisé plusieurs passations et analysé les vidéos correspondantes, nous avons remanié la grille en ajoutant des comportements auxquels nous avions été confrontées et en enlevant des éléments qui n'étaient pas pertinents au vu de notre situation.

La grille comportementale est divisée en trois parties : comportements positifs, comportements négatifs, comportements spécifiques aux personnes avec TSA. Les comportements sont considérés comme positifs lorsqu'ils sont socialement adaptés à la situation et démontrent chez l'enfant un plaisir dans l'interaction (regard/

sourire adressé à l'adulte, émotion positive, …). Les comportements négatifs correspondent aux comportements inadaptés socialement (ex : auto ou hétéro-agressivité, cris, jets d'objets) ou démontrant un désintérêt voire un rejet de la tâche par l'enfant (émotion négative, évitement du regard…). Les comportements spécifiques aux personnes avec TSA recouvrent essentiellement les comportements restreints et stéréotypés (ex : flapping) ainsi que les stimulations sensorielles (ex : stimulation visuelle). Nous pondérons la cotation des comportements observés en fonction de leur gravité et de leur fréquence. Ainsi, nous avons considéré comme grave un trouble du comportement qui « met en danger, réellement ou potentiellement, l'intégrité physique ou psychologique de la personne, d'autrui ou de l'environnement ou qui compromet sa liberté, son intégration ou ses liens sociaux » (d'après la définition de Tassé et al., 2010, citée par Rivard et al., 2013). Il peut s'agir de comportements auto ou hétéro-agressifs de la part de l'enfant, ou bien du non-respect du matériel. Pour chaque comportement, une note de 0 à 3 est attribuée : 0 si le comportement est absent, 1 si le comportement est peu fréquent ou peu grave, 2 si le comportement est observé fréquemment ou est grave, 3 si le comportement est très fréquent ou très grave. Ainsi, un comportement apparu une fois mais étant considéré comme grave sera coté de façon plus élevée qu'un comportement apparu une fois mais peu grave. De même, un comportement apparu fréquemment mais peu grave sera coté de façon moins élevée qu'un comportement apparu aussi fréquemment mais plus grave. Un score élevé à la sous-échelle évaluant les comportements positifs signifie une bonne adaptation de l'enfant à la situation de test. En revanche, un score élevé pour les sous-échelles évaluant les comportements négatifs et spécifiques des TSA signifie que l'enfant est peu adapté à la situation de test. Dans nos résultats, nous avons regroupé les comportements négatifs et TSA ensemble sous le label comportements inadaptés.

Une colonne « commentaires » a été incluse afin de noter les observations sur les comportements rencontrés et de justifier nos choix de cotation.

Nous avons réalisé les cotations de la grille comportementale à l'aide des vidéos et de leur transcription. L'entièreté de chaque vidéo (incluant la mise en route, les consignes et les temps de jeu) a été cotée. Afin de diminuer la variabilité inter-juges, les premières cotations ont été réalisées par les deux juges. Nous n'avons cependant pas réalisé de corrélation inter-juge.

RÉSULTATS

Effet du support

Nous avons analysé l'effet du support (tablette vs papier) sur les scores aux épreuves de lexique et de syntaxe, sur le comportement et sur le temps de passation. Les statistiques ont été réalisées avec le logiciel JMP. Nos variables ne suivant pas une loi normale, nous avons donc réalisé un test de Wilcoxon pour données appariées (tableau 2).

Nous retrouvons un effet significatif du support sur le temps *(p = 0.004)*, le score de comportements inadaptés *(p = 0.004)* et le score de comportements TSA *(p = 0.02)* qui diminuent sur tablette. Nous observons également un effet du support sur le score de comportements positifs *(p =0.021)* qui augmente sur le support tablette.

Aucun effet significatif du support n'a été retrouvé sur les scores obtenus aux épreuves de compréhension syntaxique *(p = 0.366)*, de compréhension lexicale *(p = 0.059)* ou au score global *(p = 0.366)*.

TABLEAU 2 : Effet du support sur le temps de passation et les scores à l'échelle de comportement.

	Delta (T-P) support	p-value
Temps de passation	- 215.17	0.004
Comportements positifs	4.33	0.021
Comportements négatifs	- 4.58	0.058
Comportements TSA	-1.08	0.020
Comportements inadaptés (TSA+négatifs)	-6	0.004

Effet de la modalité

Nous avons analysé l'influence de la modalité (Bloc A ou bloc B) sur les scores obtenus au test *Antoine et Caroline* et à la grille comportementale, ainsi que sur le temps de passation. Aucun effet significatif n'a été mis en avant pour les scores de compréhension lexicale *(p = 0.257)*, de compréhension syntaxique *(p = 0.763)* ou le score global *(p = 0.763)*. Nous ne retrouvons pas non plus d'effet de la modalité sur les comportements positifs *(p = 1)*, les comportements négatifs *(p = 0.206)*, les comportements spécifiques TSA *(p = 0.317)*. Le temps de passation est également identique entre les deux modalités *(p = 0.564)*

Effet de la date de passation

Nous avons analysé l'effet de la date (passation à T1 ou T0) sur les scores (tableau 3). Nos variables ne suivent pas une loi normale, nous avons donc réalisé un test des rangs de Wilcoxon, pour des données appariées.

Nous remarquons un effet significatif de la date de la passation sur les scores en compréhension syntaxique *(p = 0.035)* et sur le score global au test d'*Antoine et Caroline (p = 0.035)*. Pour ces deux scores, il y a une meilleure réussite à T1 qu'à T0.

En revanche, il n'y a pas d'effet significatif de la date de passation sur le score à l'épreuve de compréhension lexicale *(p = 0.705)*, le temps de passation *(p = 1)* ou les scores à l'échelle de comportement.

Effet du niveau de compréhension verbale des enfants avec TSA

Nous avons analysé l'influence du niveau de compréhension verbale des enfants sur les scores obtenus aux tests et à la grille comportementale mais aussi sur le temps de passation (tableau 4). Nos variables ne suivent pas une loi normale, nous avons donc réalisé une corrélation de Spearman.

TABLEAU 3 : Effet de la date de la passation sur le temps de passation, les scores aux épreuves du test *Antoine et Caroline* et à la grille de comportement.

	Delta (T-P) support	p-value
Temps de passation	- 136.33	1
Compréhension syntaxique	1.33	0.035
Compréhension lexicale	0.5	0.705
Score global *Antoine et Caroline*	2.08	0.035
Comportements positifs	2.00	0.564
Comportements négatifs	-2.58	0.527
Comportements spécifiques TSA	-0.42	0.739
Comportements inadaptés	-3.33	0.248

TABLEAU 4 : Effet du niveau de compréhension verbale sur les scores et le temps de passation.

	Rho	p-value
Temps de passation	-0.60	0.002
Compréhension Lexicale	0.68	0.002
Compréhension syntaxique	0.68	0.002
Score global *Antoine et Caroline*	0.76	0.001
Comportements positifs	0.63	0.001
Comportements négatifs	0.50	0.013
Comportements spécifiques TSA	- 0.13	0.549
Comportements inadaptés	- 0.39	0.057

L'analyse montre un effet significatif de l'âge sur la durée des passations *(p = 0.002)* et les comportements négatifs. Ils diminuent lorsque l'enfant avance en âge développemental.

De plus, les scores au test *Antoine et Caroline*, en lexique, en syntaxe et la présence de comportements positifs augmentent avec l'âge.

Effet du niveau d'expression verbale

Nous avons vérifié si le fait que l'enfant soit verbal ou non influençait les résultats aux scores aux épreuves d'*Antoine et Caroline*, le temps de passation et les scores obtenus à la grille de comportement. Nous avons donc réalisé un test de Wilcoxon pour données appariées. L'analyse ne montre aucun effet significatif du niveau d'expression verbale sur les scores à la compréhension lexicale *(p = 0.332)*, la compréhension syntaxique *(p = 0.572)* ou le score global au test *Antoine et Caroline (p = 0.240)*. Aucun effet n'est observé à l'échelle de comportement que cela soit pour les comportements positifs *(p = 0.128)* ou les comportements négatifs *(p = 0.521)*. Nous ne retrouvons pas non plus d'effet sur le temps de passation *(p = 0.310)*.

Effet de l'examinateur

Afin de s'assurer de la fiabilité inter-juge, nous avons vérifié l'influence de l'examinatrice sur les scores obtenus par les enfants aux épreuves d'*Antoine et Caroline* et à la grille de comportement, ainsi que sur la durée de passation. Aucun effet significatif n'a été relevé.

DISCUSSION

Au travers de cette étude, nous avons cherché à évaluer l'impact du support de passation (tablette vs papier) sur les résultats et les comportements de 12 enfants avec TSA et DI ayant un niveau de compréhension verbale situé entre 18 et 36 mois.

Notre hypothèse principale était que les enfants avec TSA présenteraient moins de troubles du comportement et plus de comportements adaptés/d'intérêt lors de l'évaluation sur tablette comparée à l'évaluation sur papier. Cette hypothèse se vérifie dans nos résultats : les enfants avec TSA ont présenté significativement moins de comportements négatifs tels que de l'opposition, des comportements auto ou hétéro-agressifs, de l'inattention. Contrairement au support papier, aucun n'enfant ne s'est levé ou n'a montré d'agressivité lors de la passation sur tablette.

On retrouve également moins de comportements spécifiquement retrouvés chez les enfants avec TSA comme des hyperstimulations, de l'écholalie ou des comportements répétitifs lors de la passation sur tablette. Ceci pourrait s'expliquer car leur survenue est majorée dans les situations d'excitation, d'anxiété, d'ennui, d'isolement sensoriel ou de demandes sociales (Goldman et al., 2009). Or, un environnement riche (proposant des stimulations visuelles, auditives, des images en mouvement) comme celui proposé par la tablette est moins propice à l'apparition de stéréotypies (Thommen & Chastellain, 2009). De plus, pour certains individus, les stéréotypies peuvent avoir une fonction de protection contre le stress lié à l'ennui ou à une trop grande quantité d'informations à traiter ; elles permettent à la personne avec TSA de se rassurer à partir d'un comportement qu'elle maitrise (Thommen & Chastellain, 2009). La tablette, en proposant un environnement structuré et rassurant, produit des réponses répétitives (Grossard & Grynszpan, 2015). De plus, l'insertion d'une bande permettant de représenter le nombre d'items restants permet à l'enfant d'anticiper la durée de la tâche, ce qui n'est pas le cas en format papier. Ce format aurait été rendu difficile sur papier, chaque tâche comportant 16 items qu'il aurait fallu systématiquement, à la main, notifier comme fini, rendant la passation plus laborieuse.

De même, les comportements positifs comme la mise en place de regards, la recherche appropriée d'aide ou l'expression des émotions étaient meilleurs quand les enfants étaient évalués sur tablette.

Sur le plan attentionnel, l'analyse qualitative des résultats montre que la tablette a permis aux enfants d'être plus attentifs à l'examinateur et à la tâche en cours. Effectivement, les enfants écoutaient plus l'examinateur et avaient moins souvent besoin d'un rappel verbal ou non verbal pour se concentrer. À titre d'exemple, un enfant a eu besoin de passer le test en deux fois avec la version papier mais pas avec la tablette, alors que les conditions de passation étaient par ailleurs identiques et qu'aucune information sur une dégradation spécifique de son état ne nous avait été communiquée le jour de la passation sur papier par l'équipe du service qui l'accueille. En outre, le support tablette a permis d'observer plus fréquemment une exploration appropriée de l'environnement et une meilleure utilisation des informations visuelles. Cette observation

peut être liée au format de la tablette : Virole (2014) recommande l'utilisation d'un écran de 10 pouces, taille la plus confortable visuellement. Cette taille d'écran permet d'avoir rapidement une vue d'ensemble des objets présentés et évite une trop longue poursuite oculaire. De plus, le fait que les animations parcourent la totalité de l'écran a pu inciter les enfants à mieux diriger leur regard sur celui-ci. Ces résultats vont dans le sens d'études précédentes (Bourgueil et al., 2015 ; Garnier, 2017) montrant que les enfants sont plus attentifs sur tablette.

Concernant la motivation, plus de la moitié des enfants ont manifesté plus d'intérêt pour les animations sur tablette que pour les récompenses proposées en format papier (bulles, félicitations…) ; cet intérêt a contribué à maintenir leur intérêt tout au long de la passation sur tablette. En revanche, lors de la passation sur papier, les enfants montraient des signes de lassitude, étaient moins investis ou ont demandé quand la passation se terminerait. D'autre part, parmi les enfants ayant commencé par l'évaluation sur tablette, trois d'entre eux ont demandé à « faire la tablette » lors du rendez-vous suivant et/ou ont spontanément déclaré préférer la tablette. Deux d'entre eux ont demandé si la tablette permettrait d'écouter de la musique ou regarder des vidéos mais aucun n'a été déçu que cela ne soit pas le cas. Ces observations cliniques vont dans le sens d'une préférence des enfants avec TSA pour les supports numériques comme le montrait la littérature (Bourgueil et al., 2015 ; Garnier, 2017 ; Grossard & Grynszpan, 2015). Ces résultats restent cependant à nuancer, les enfants pouvant avoir associé avant les passations la tablette à une situation plaisante.

Durant les passations, les enfants ont accepté de coopérer pour les deux types de supports. Certains détournaient l'utilisation des cartes papiers ou de la tablette. Cependant, le diaporama sur tablette est moins facile à détourner que l'utilisation des cartes papiers. L'utilisation de la tablette a donc permis à l'examinateur d'être moins focalisé sur les difficultés comportementales et donc d'être plus disponible pour soutenir l'enfant lors des passations. En revanche, la tablette favorise parfois certains comportements liés à l'excitation des enfants : cris, réactions excessives à la récompense… La réaction excessive à la récompense pourrait être due aux animations choisies : elles sont des « effets formels saillants » au même titre que les flashs visuels et les variations sonores présentes dans les dessins animés par exemple, qui captent l'attention exogène de l'enfant et la relancent (Valkenburg, 2004). Parmi les 12 enfants recrutés, un enfant s'est montré très excité par la tablette malgré une utilisation correcte de celle-ci sur la première moitié de la passation. L'utilisation de ces animations pourrait ainsi produire un effet excitateur sur certains enfants.

Les interactions sociales sont également modifiées selon le support. Sur format papier, les enfants communiquaient de manière plus adaptée à leur âge développemental et se montraient plus sensibles aux félicitations sociales ; cela pourrait s'expliquer car, contrairement à la tablette, l'enfant ne recevait pas de récompenses concrètes entre deux items, augmentant ainsi l'impact des félicitations de l'examinateur. En revanche, les enfants répondaient plus souvent sans avoir écouté la consigne. Ils utilisaient également plus de jargon, abordaient plus fréquemment leur sujet de prédilection de façon inadaptée et avaient plus d'expressions faciales et de gestes de communications inhabituels que sur tablette. Sur support numérique, les enfants prenaient plus en compte l'examinatrice, initiaient plus d'interactions sociales et recherchaient de l'aide de façon adaptée. Ils partageaient plus de plaisir et montraient plus de fierté quand ils avaient réussi. En revanche, ils établissent moins de contacts visuels et avaient plus tendance à établir le contact de façon inappropriée comme en essayant de toucher les lunettes d'une examinatrice. La tablette semble donc faciliter certains aspects des interactions sociales. La diminution de l'anxiété grâce à ce support permettrait aux enfants d'initier plus d'interactions ; cependant, ces initiations ne seraient pas toujours réalisées de façon adaptée du fait des difficultés de ces enfants à intégrer des normes sociales (Courtois du Passage & Galloux, 2004).

Notre deuxième hypothèse était que les passations sur tablettes seraient plus courtes que celles sur support papier. Effectivement, les passations sur tablette sont en moyenne plus courtes de 3 minutes et 30 secondes que les passations sur support papier. Cette diminution est d'autant plus importante que sur la tablette, les enfants ont bénéficié entre chaque item d'une animation comme récompense, qui a été comptabilisée dans le temps de passation. En revanche, il existe en format papier des temps de manipulation inexistants sur le format tablette. Ces moments de transition favorisent en outre un décrochage attentionnel chez les enfants.

Celui-ci s'intéresse alors à autre chose, obligeant l'examinateur à le ramener sur la tâche en cours, ce qui augmente le temps de passation. De plus, le format papier reposant sur l'utilisation de cartes, l'enfant peut présenter plus de comportements de manipulations : certains préfèrent déposer l'image dans la main de l'examinatrice plutôt que simplement la désigner ou d'autres détournent l'utilisation des cartes pour jouer avec par exemple. La tablette réunit plusieurs conditions à une passation présentant moins d'interruptions et donc réalisée dans un temps raisonnable. La diminution des comportements inadaptés ainsi que l'amélioration de l'attention de l'enfant favorisent des réponses plus rapides. L'examinateur a moins besoin d'intervenir physiquement ou verbalement. Néanmoins, des problèmes techniques peuvent survenir et ralentir la passation. Lors de nos passations, il nous a parfois fallu redémarrer la présentation. Un appui trop rapide de l'enfant ou de l'examinatrice entrainait également tout de suite le passage à une autre diapositive. Ces temps de réglages n'ont pas été comptabilisés dans les temps de passation.

Notre troisième hypothèse était que les scores aux épreuves de compréhension lexicale et syntaxique seraient meilleurs lors de la passation sur tablette que sur papier. Or, malgré une tendance à de meilleurs résultats sur support tablette pour l'épreuve de compréhension lexicale, les enfants semblent performer de façon globalement équivalente quel que soit le support. Ces observations rejoignent la littérature qui met en avant que les tests normés existants (donc sur format papier) évaluent plutôt bien les performances des enfants avec TSA (Tager-Flusberg, 1999).

Beaucoup d'enfants ont répondu au hasard quand ils ne connaissaient pas la réponse au lieu de demander de l'aide, quel que soit le support utilisé. Pourtant, l'étude de Garnier (2017) mettait en avant que les enfants avaient plus tendance à répondre au hasard sur tablette. Cela peut s'expliquer par le fait que l'étude de Garnier portait sur l'utilisation de l'application Bitsboard, qui permet à l'enfant de faire des exercices interactifs et qui produit des sons (Garnier, 2017). Dans notre cas, le diaporama reste statique en dehors des moments où l'enfant appuie sur l'écran, et ne présente pas de sons. Ainsi, le support tablette en tant que tel n'inciterait pas les enfants à répondre plus au hasard que sur un support papier : cela serait plutôt lié à la forme du programme présenté. En revanche, nous notons que les enfants avaient plus tendance à nommer spontanément les images sur support papier que sur tablette.

Par ailleurs, nous observons de meilleurs résultats en fonction de la date de la passation : peu importe le support, les enfants obtiennent de meilleurs résultats à l'épreuve de compréhension syntaxique et pour le score total au test *Antoine et Caroline*. Cette différence pourrait être due au fait que l'enfant s'est familiarisé avec la consigne entre la première et la deuxième passation et se montre donc plus performant pour répondre à la tâche.

Nous avons également vérifié si les variables contrebalancées que sont la modalité de l'épreuve et le niveau de compréhension du langage oral de l'enfant n'influençaient pas les résultats des enfants. Comme attendu, les résultats montrent que la modalité de l'épreuve n'entraîne aucune différence significative, démontrant que les deux épreuves construites sont d'un niveau de difficulté équivalent.

Également, les résultats obtenus ont montré que plus le niveau de compréhension verbale était avancé, plus les scores en compréhension lexicale et syntaxique étaient élevés, quel que soit le support utilisé. De même, nous retrouvons des scores de comportements positifs plus élevés et des scores en comportements négatifs plus bas, avec l'augmentation du niveau de compréhension verbale. En effet, les enfants avec TSA sont plus enclins à mettre en place des stratégies d'auto-régulation du comportement au fur et à mesure de leur développement, ce qui diminue les effets négatifs de la dysrégulation (Nader-Grosbois, 2007). En revanche, le niveau de compréhension verbale n'a pas eu d'influence significative sur les comportements de type TSA. Nous aurions pu nous attendre à ce que le niveau de compréhension verbale diminue la présence de stéréotypies : en effet, lorsqu'une personne avec TSA est face à une situation complexe, la fréquence des stéréotypies augmente (Thommen & Chastellain, 2009). Ainsi, des enfants ayant un meilleur niveau de compréhension verbale ne devraient pas être mis en difficulté par les tâches de notre protocole et donc présenter moins de comportements stéréotypés. Néanmoins, nous n'avons pas relevé d'impact de leur niveau de compréhension verbale. Cela pourrait s'expliquer par la grande hétérogénéité des profils des personnes avec TSA pour qui les comportements stéréotypés revêtent des fonctions différentes (Thommen &

Chastellain, 2009). De plus, d'autres compétences pourraient entrer ici en jeu, comme le niveau de compréhension non verbale ou la capacité à tirer du sens du contexte. Concernant les réponses sensorielles anormales, celles-ci sont présentes chez les personnes avec TSA tout au long de leur vie ; elles peuvent varier mais ne diminuent pas avec l'âge (Degenne-Richard et al., 2014). Cela explique que la fréquence des comportements liés à la recherche sensorielle n'ait pas diminué avec l'âge développemental et donc le niveau de compréhension verbale des participants.

Notre étude comporte certaines limites. Tout d'abord, la taille de l'échantillon est réduite, ce qui ne permet pas de généraliser nos résultats à la totalité de la population d'enfants avec TSA et DI. De plus, il manque des informations sur l'échantillon recruté, comme la sévérité du TSA ou le degré d'exposition aux différentes langues. Également, des variations inter-individuelles ont été observées dans l'impact du type de support sur le comportement des enfants, tous les enfants ne répondant pas de façon identique à l'introduction de la tablette en termes de motivation ou de production de comportements adaptés. En outre, l'absence de récompenses concrètes après chaque item sur format papier a pu favoriser la motivation des enfants sur le format tablette. Pour certains enfants, l'utilisation de la tablette peut apparaitre comme contre-productive. De plus, son utilisation pourrait être contre-indiquée dans certains cas, comme par exemple d'importants troubles praxiques qui nécessiteraient d'abord un apprentissage de l'utilisation de la tablette (Virole, 2014). En outre, les tests proposés sur tablette ne pourront pas remplacer la totalité des évaluations proposées lors d'un bilan orthophonique. La tablette a essentiellement pour but d'aider à canaliser le comportement de l'enfant lors de la passation des épreuves de compréhension verbale. En revanche, son utilisation modifie les comportements d'interaction de l'enfant. La tablette ne permet donc pas d'évaluer les aptitudes communicationnelles de l'enfant en situation de vie quotidienne sans la présence d'un support numérique. Or, il est important de recueillir ces informations lors du bilan pour construire un plan de prise en soin au plus proche des besoins du patient (Courtois du Passage & Galloux, 2004).

CONCLUSION

À travers cette étude, nous avons montré que la création d'une évaluation de la compréhension du langage oral sur support tablette, destinée à des enfants avec TSA et DI pourrait permettre de créer un contexte de passation plus adapté à leurs difficultés. En effet, dans notre protocole, les enfants évalués présentent moins de troubles du comportement et davantage de comportements adaptés lors de la passation sur tablette, et les temps de passation des épreuves sont raccourcis sur support numérique. La tablette semble donc aider l'enfant à mieux réguler l'interaction avec l'examinateur. Elle lui permet d'entrer plus facilement dans la tâche demandée, améliore la demande d'aide et diminue les comportements d'évitement. Le feedback visuel immédiat et la présence de renforçateurs positifs inclus dans notre outil motivent les enfants et permettent de maintenir leur attention. L'utilisation des supports numériques semble donc offrir de réelles opportunités pour l'évaluation des enfants avec TSA et DI. Nous notons cependant que la tablette modifie les interactions avec l'enfant qui fait preuve de moins de comportements sociaux adaptés que sur support papier. Ainsi, si la tablette permet de canaliser les comportements de l'enfant, elle ne permet pas d'apprécier le fonctionnement communicationnel de l'enfant dans un contexte social et son utilisation doit donc être complétée par d'autres formes d'évaluation. Enfin, le faible échantillon de notre étude ne permet pas de généraliser nos résultats à l'ensemble de la population d'enfants avec TSA et DI. Il conviendrait désormais de tester l'intérêt de la tablette sur une population plus large mais aussi d'autres types de population présentant des troubles du neurodéveloppement. Enfin, la création d'un test de langage étalonné sur tablette apporterait une plus-value dans l'évaluation de ces enfants, par rapport à l'évaluation sur papier en permettant aux orthophonistes de choisir l'outil le plus adapté selon les préférences du patient.

DECLARATION D'INTÉRETS

L'autrice a déclaré n'avoir aucun lien d'intérêt en relation avec cet article.

RÉFÉRENCES

Abadie, C., Aimard, P., & Bazin, F. (1990). Une épreuve de langage pour les enfants de moins de 3 ans – épreuve de Nelly Carole. *Glossa*, 17, 40-43. https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/544

Antheunis, P., Ercolani-Bertrand, F., & Roy, S. (2007). L'accompagnement parental au cœur des objectifs de prévention de l'orthophoniste. *Contraste, 1*(26), 303-320. https://doi.org/10.3917/cont.026.0303

Antheunis, P., Ercolani-Bertrand, F., & Roy, S. (2005). *Dialogoris 0/4 ans orthophoniste*. Com-médic.

Bernard Paulais, M.-A., Mazetto, C., Thiébaut, E., Nassif, M. C., Costa Coelho de Souza, M. T., Stefani, A. P., Blanc, R., Gattegno, M. P., Aïad, F., Sam, N., Belal, L., Fekih, L., Kaye, K., Contejean, Y., Wendland, J., Barthélémy, C., Bonnet-Brilhaut, F., & Adrien, J.-L. (2019). Heterogeneities in cognitive and socio-emotional development in children with autism spectrum disorder and severe intellectual disability as a comorbidity. *Frontiers in Psychiatry, 10*, 508. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2019.00508

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, 111-126. https://doi.org/10.4074/S001375451500107X

Bovet, F., Danjou, G., Langue, J., Moretto, M., Tockert, E., & Kern, S. (2005). Les inventaires français du développement communicatif (IFDC) : un nouvel outil pour évaluer le développement communicatif du nourrisson. *Médecine et enfance, 25*(6), 327-332. http://www.ddl.cnrs.fr/Annuaires/Index.asp?Langue=FR&Page=Sophie%20KERN#Publication

Chevrie-Muller C., Simon, A.-M., Le Normand, M.-T., & Fournier, S. (1997). *BEPL. Batterie d'évaluation psycholinguistique*. ECPA.

CNIL (S.D.). *Méthodologie de référenceMR – 003. Recherches dans le domaine de la santé sans recueil du consentement*. https://www.cnil.fr/fr/declaration/mr-003-recherches-dans-le-domaine-de-la-sante-sans-recueil-du-consentement

Coquet, F. (2010). *EVALO BB. Évaluation du développement du langage oral du jeune enfant de moins de 36 mois ou sans langage*. Ortho Édition.

Coquet, F., Ferrand, P., & Roustit, J. (2009). *EVALO 2-6. Batterie d'évaluation de langage de l'enfant de 2 à 6,3 ans dont toutes les épreuves sont normées individuellement*. Ortho Édition.

Coquet, F., Roustit, J., & Jeunier, B. (2007). Batterie EVALO 2-6. Évaluation du développement du langage oral et des comportements non verbaux du jeune enfant. *Rééducation Orthophonique*, 231, 203-226.

Courtois-du Passage, N., & Galloux, A.-S. (2004). Langage oral et bilan orthophonique chez l'enfant atteint d'autisme. *Glossa*, 88, 46-61. https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/85

Degenne-Richard, C., Wolff, M., Fiard, D., & Adrien, J. L. (2014). Les spécificités sensorielles des personnes avec autisme de l'enfance à l'âge adulte. *A.N.A.E., 26*(128), 69-78. https://www.eadoc.fr/index.php?lvl=notice_display&id=70591

Edwards, S., Fletcher, P., Garman, M., Hughes, A., Letts, C., & Sinka, L. (1997). *The Reynell Developmental Language Scales III*. The University of Reading Edition. NFER-Nelson.

Garié, L. A. (2021). *Pratique orthophonique avec les enfants et adolescents présentant un TSA*. De Boeck Supérieur.

Garnier, P. (2017). Témoignages d'enseignantes 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. https://insei.hal.science/hal-01673860

Goldman, S., Wang, C., Salgado, M. W., Greene, P. E., Kim, M., & Rapin, I. (2009). Motor stereotypies in children with autism and other developmental disorders. *Developmental Medicine & Child Neurology, 51*(1), 30-38. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03178.x

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

Grossard, C., Pinabiaux, C., Charpentier, A., Lalande, A.-C., & Grosmaitre, C. (2015). Evaluation du langage de l'enfant de 18 à 36 mois : Adaptation d'*Antoine et Caroline*. *A.N.A.E., 134*, 73-92.

Guidetti, M., & Tourette, C. (1993). *L'ESCP ou l'Evaluation de la Communication Sociale Précoce*. EAP.

Haute Autorité de Santé-HAS (2018). *Trouble du Spectre de l'autisme, signes d'alerte, repérage, diagnostic et évaluation chez l'enfant et l'adolescent. Recommandation de bonne pratique*. https://www.has-sante.fr/jcms/c_468812/fr/trouble-du-spectre-de-l-autisme-signes-d-alerte-reperage-diagnostic-et-evaluation-chez-l-enfant-et-l-adolescent

Haute Autorité de Santé-HAS (2022). *L'accompagnement de la personne présentant un trouble du développement intellectuel (TDI) - Volet 1. Recommandation de bonne pratique*. https://www.has-sante.fr/jcms/p_3237847/fr/l-accompagnement-de-la-personne-presentant-un-trouble-du-developpement-intellectuel-tdi-volet-1

Howlin, P., Savage, S., Moss, P., Tempier, A., & Rutter, M. (2014). Cognitive and language skills in adults with autism: A 40-year follow-up. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 55*(1), 49-58. https://doi.org/10.1111/jcpp.12115

Inoue, M. (2019). Assessments and interventions to address challenging behavior in individuals with intellectual disability and autism spectrum disorder in Japan: A consolidated review. *Yonago Acta Medica, 62*(2), 169-181. https://doi.org/10.33160/yam.2019.06.001

Inserm (2016). *Déficiences intellectuelles. Expertise collective. Synthèse et recommandations*. https://www.inserm.fr/expertise-collective/deficiences-intellectuelles/

Koegel, L. K., Singh, A. K., & Koegel, R. L. (2010). Improving motivation for academics in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 40*(9), 1057-1066. https://doi.org/10.1007/s10803-010-0962-6

Maljaars, J., Noens, I., Scholte, E., & van Berckelaer-Onnes, I. (2012). Language in low-functioning children with autistic disorder: Differences between receptive and expressive skills and concurrent predictors of language. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 42*, 2181-2191. https://doi.org/10.1007/s10803-012-1476-1

McKinney, A., Weisblatt, E. J., Hotson, K. L., Bilal Ahmed, Z., Dias, C., BenShalom, D., Foster, J., Murphy, S., Villar, S. S., & Belmonte, M. K. (2021). Overcoming hurdles to intervention studies with autistic children with profound communication difficulties and their families. *Autism, 25*(6), 1627-1639. https://doi.org/10.1177/1362361321998916

Montallana, K. L., Gard, B. M., Lotfizadeh, A. D., & Poling, A. (2019). Inter-rater agreement for the milestones and barriers assessments of the Verbal Behavior Milestones Assessment and Placement Program (VB-MAPP). *Journal of Autism and Developmental Disorders, 49*(5), 2015–2023. https://doi.org/10.1007/s10803-019-03879-4

Nader-Grosbois, N. (2007). *Régulation, autorégulation, dysrégulation : pistes pour l'intervention et la recherche*. Mardaga.

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, 7*(4), 509-516. https://doi.org/10.1016/j.rasd.2012.12.004

Padilla, K. L., & Akers, J. S. (2021). Content validity evidence for the verbal behavior milestones assessment and placement program. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 51*(11), 4054-4066. https://doi.org/10.1007/s10803-020-04864-y

Plesa Skwerer, D., Jordan, S. E., Brukilacchio, B. H., & Tager-Flusberg, H. (2016). Comparing methods for assessing receptive language skills in minimally verbal children and adolescents with autism spectrum disorders. *Autism, 20*(5), 591-604. https://doi.org/10.1177/1362361315600146

Rivard, M., Dionne, C., Morin, D., & Gagnon, M.-A. (2013). Perceptions du personnel des centres de réadaptation en déficience intellectuelle et troubles envahissants du développement quant aux troubles du comportement chez les jeunes enfants. *Revue de psychoéducation, 42*(1), 115-133. https://doi.org/10.7202/1061726ar

Schopler, E., Lansing, M. D., Reichler, R. J., & Marcus, L. M. (2021). *PEP-3 : Profil psycho-éducatif. Évaluation psycho-éducative individualisée de la division TEACCH pour enfants présentant des troubles du spectre de l'autisme* (3e éd.). De Boeck Supérieur.

Serret, S., Hun, S., Thümmler, S., Pierron, P., Santos, A., Bourgeois, J., & Askenazy, F. (2017). Teaching literacy skills to French minimally verbal school-aged children with autism spectrum disorders with the serious game SEMA-TIC: An exploratory study. *Frontiers in Psychology, 8*, 1523. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01523

Sundberg, M.L. (2008). *Verbal Behavior Milestones Assessment and Placement Program: The VB-MAPP* (2e éd.). AVB Press

Tager-Flusberg, H. (1999). The challenge of studying language development in children with autism. In L. Menn et N. Berbstein Ratner (dir.), *Methods for studying language production* (p. 317-336). Psychology Press.

Thommen, E., & Chastellain, A. (2009). Les comportements stéréotypés chez trois personnes adultes atteintes d'autisme : une analyse de leur occurrence lors d'activités quotidiennes. *Revue Francophone de la Déficience Intellectuelle, 20*, 156-164. https://rfdi.org/index.php/1/article/view/171

Trembath, D., Paynter, J., Sutherland, R., & Tager-Flusberg, H. (2019). Assessing communication in children with autism spectrum disorder who are minimally verbal. *Current Developmental Disorders Reports, 6*(3), 103-110. https://doi.org/10.1007/s40474-019-00171-z

Valentine, A. Z., Brown, B. J., Groom, M. J., Young, E., Hollis, C., & Hall, C. L. (2020). A systematic review evaluating the implementation of technologies to assess, monitor and treat neurodevelopmental disorders: A map of the current evidence. *Clinical Psychology Review, 80*, 101870. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101870

Valkenburg, P. M. (2004). *Children's responses to the screen: A media psychological approach*. Routledge.

Virole, B. (2014). Autisme et tablettes numériques. *Enfances & Psy, 2*(63), 123-134. https://shs.cairn.info/revue-enfances-et-psy-2014-2-page-123?lang=fr

Winter-Messiers, M. A. (2007). From tarantulas to toilet brushes: Understanding the special interest areas of children and youth with Asperger syndrome. *Remedial and Special Education, 28*(3), 140-152. https://doi.org/10.1177/07419325070280030301

Zakari, H. M., Ma, M., Simmons, D. (2014). A Review of Serious Games for Children with Autism Spectrum Disorders (ASD). In M. Ma, M. F. Oliveira, et J. Baalsrud Hauge (dir.), *Serious Games Development and Applications. SGDA 2014. Lecture Notes in Computer Science* (vol 8778). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11623-5_9

ANNEXE A : RÉPARTITION DES ITEMS D'*ANTOINE ET CAROLINE* SELON DEUX BLOCS DE DIFFICULTÉ ÉQUIVALENTE

Désignation lexicale

Item A&C	Épreuve A	% de réussite	Item A&C	Épreuve B	% de réussite
1	Téléphone	96%	2	Chien	95%
4	Cheval	89%	3	Voiture	92%
6	Pomme	88%	5	Camion	89%
7	Chat	86%	8	Ballon	86%
9	Cochon	84%	10	Pied	82%
11	Carotte	81%	12	Ciseaux	80%
14	Soleil	78%	13	Chaussette	80%
15	Cuiller	76%	16	Train	76%
17	Pantalon	72%	18	Balai	72%
19	Clown	70%	20	Lune	70%
21	Lit	70%	22	Poire	70%
24	Main	70%	23	Canapé	70%
25	Bol	70%	26	Cubes	62%
27	Collier	61%	28	Verre	61%
30	Écureuil	55%	29	Doigt	61%
31	Cloche	55%	32	Tigre	54%
33	Roue	53%	34	Casserole	53%
TOTAL des % de réussite = 1254 %			TOTAL des % de réussite = 1253%		

Désignation syntaxique

Item A&C	Épreuve A	% de réussite	Item A&C	Épreuve B	% de réussite
1	Le garçon dort	89%	2	La fille est sale	69%
4	La fille dessine	63%	3	Le garçon n'est pas gentil	68%
6	Le garçon tombe	61%	5	La fille joue	63%
7	Le garçon marche	60%	8	La fille mange	59%
10	Le garçon a des voitures	53%	9	La fille danse	57%
12	Le garçon boit	51%	11	Le pantalon est mouillé	53%
13	La fille a chaud	48%	14	La fille se lave	48%
16	La fille est assise sous la table	42%	15	La fille est debout	44%
17	Elle pleure	42%	18	Le garçon est en haut	42%
19	Le garçon a un pull bleu	40%	20	La fille ferme	40%
22	Le garçon est assis dans le lit	35%	21	Le garçon ne regarde pas la télé	39%
23	La fille a une poupée	34%	24	Le garçon cueille des fleurs avec sa maman	33%

25	Elle se cache	33%	26	Le garçon a une bille	32%
27	La fille mange 2 gâteaux	32%	28	Le garçon a un petit nounours	31%
30	Le garçon est accroupi	29%	29	Le garçon montre	30%
32	Il se coiffe	19%	31	Il se déshabille	22%
TOTAL des % de réussite = 731 %			TOTAL des % de réussite = 730%		

ANNEXE B : CAPTURE D'ÉCRAN DE L'APPLICATION : LEXIQUE BLOC A

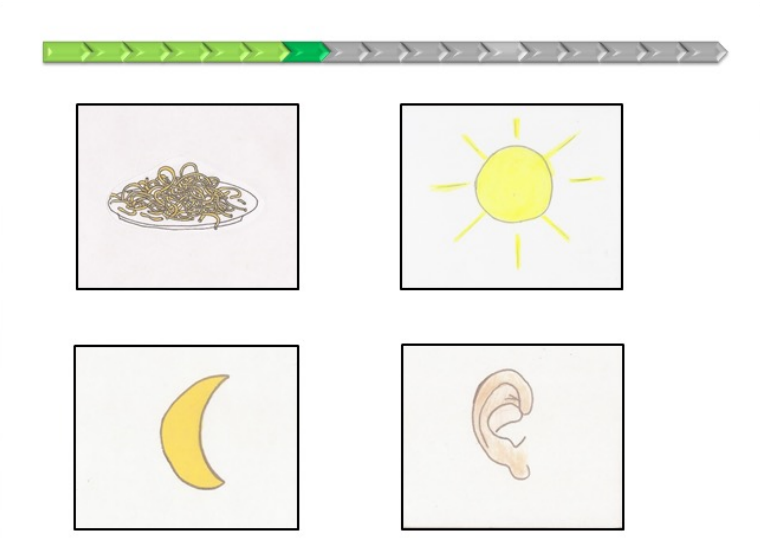


FIGURE 1 : Item n°7 du lexique bloc A sur tablette.

ANNEXE C : ILLUSTRATION DU FONCTIONNEMENT DE L'APPLICATION

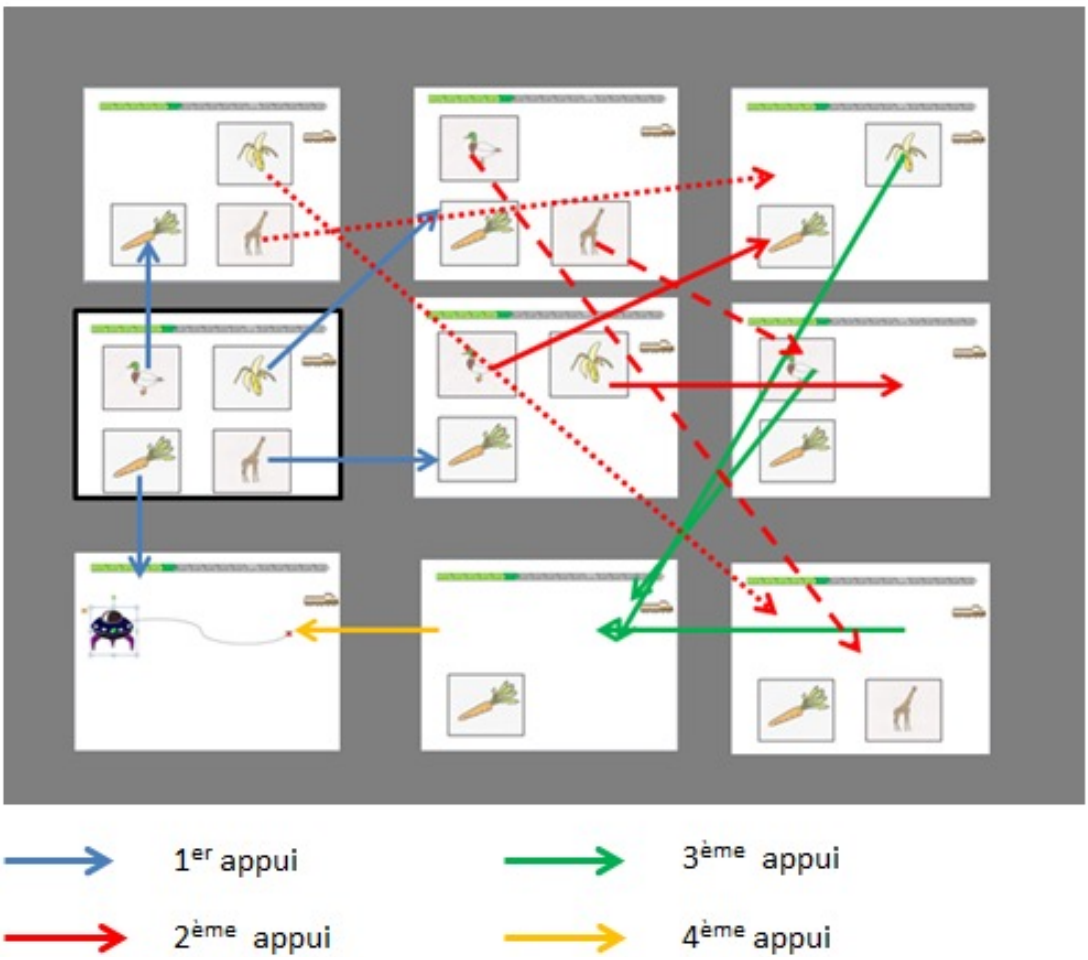


FIGURE 2 : Schéma du fonctionnement de l'application.

ANNEXE D : EXEMPLE DE COTATION À PARTIR DE LA GRILLE D'ÉVALUATION DU COMPORTEMENT ÉLABORÉE À PARTIR DU PEP-III

Nom de l'enfant :
Établissement :
Âge chronologique de l'enfant :
Âge développemental (PEP-III) :
Passation n° : □ 1 □ 2
Bloc : □ A □ B
Version : □ Papier □ Tablette

0 = Comportement absent ; 1 = Peu fréquent/peu grave ; 2 =Fréquent/grave ; 3 = Très fréquent/très grave

Comportement	**Cotation**	**Observations**
Comportements positifs		
Manifeste un temps d'attention correspondant à son âge développemental		
Réajuste spontanément son comportement	0	*Que lorsqu'on lui parle*
Communication		
A conscience de la présence de l'examinateur	2	*Pas pendant les transitions*
Communication spontanée adaptée à son âge développemental	1	*Parle peu*
Initie des interactions sociales	1	*Rarement*
Réagit au langage en regardant directement le visage de l'examinateur	1	*Rarement*
Coopère avec l'examinateur		
Tolère les interruptions	2	*Oui mais n'en tient pas toujours compte*
Attire, recherche l'aide de l'examinateur de manière appropriée	0	*Est en difficulté mais ne demande pas d'aide*
Émotions		
Exprime des émotions appropriées au cours de l'évaluation	1	*Rit souvent de façon immotivée*
Manifeste un niveau de peur approprié pendant l'évaluation	2	*Anxieux de façon générale, non spécifique au test*
Prise d'informations		

Explore l'environnement de façon appropriée (n'est pas « happé » par un élément de l'environnement)	2	*Regarde beaucoup la feuille de cotation*
Regarde la totalité des cartes présentées / de l'écran de la tablette		
Utilise les informations visuelles de façon appropriée	3	*Regarde tout et se sert de toutes les informations trouvées*
Réactions à la récompense		
Montre qu'il est fier d'avoir réussi	1	*Quelques sourires quand on le félicite*
La performance de l'enfant est influencée par des récompenses (bulles ou animations de la tablette)	3	*Nomme spontanément l'objet animé avec un sourire*
La performance de l'enfant est influencée par les récompenses sociales (félicitations de l'examinateur)	1	*Sourit parfois lorsqu'on le félicite*
Comportements négatifs		
N'entravant pas la passation		
Regarde ailleurs		
Dénomme spontanément un autre item	2	*Train, lunettes*
Répond au hasard		
Recherche le contact de façon inappropriée	2	*Essaie de prendre les lunettes de l'examinateur*
Recherche de l'aide de façon inefficace		
Ne s'intéresse pas à la récompense		
Entravant la passation		
N'a pas compris la consigne	3	*Répète les mots, ne pointe pas*
Répond avant d'écouter la consigne	2	*Pendant la syntaxe*
S'intéresse excessivement à un élément de l'environnement	2	*Regarde une affiche au mur pendant chaque transition*
Détourne l'utilisation des cartes /de la tablette	2	*Joue avec les cartes lexique*
N'écoute pas l'examinateur		
L'examinateur doit intervenir verbalement pour recentrer l'enfant sur la tâche	3	*Absorbé pendant les transitions ; se désintéresse en cours de tâche*

L'examinateur doit utiliser une guidance physique pour aider l'enfant/ le recentrer sur la tâche	2	*Il faut parfois mettre la tablette hors de portée pour l'empêcher d'appuyer avant d'entendre la consigne.*
Crie		
Essaie de se lever/ se lève	2	*A essayé deux fois de sortir de la salle*
Comportements auto-agressifs (se frappe, se mord…)	0	*Non observé*
Comportements hétéro-agressifs contre l'examinateur (mord, frappe, crache…)	1	*A fait le geste de lancer une carte sur l'examinateur*
Comportements hétéro-agressifs contre le matériel (jette ou renverse le matériel, frappe un objet ou une surface)	1	*A tapé une carte sur la table*
Réaction excessivement positive à la récompense	1	*A tendance à crier de joie face aux bulles*
Réaction négative à la récompense	0	*Non observé*
Comportements liés spécifiquement aux personnes avec TSA		
Comportements relevant des actions répétitives et restreintes		
Est attaché à des routines ou des rituels spécifiques sans but apparent	1	*A besoin d'appuyer sur le bouton de l'ascenseur sur le chemin de la salle*
Stéréotypies (balancement du corps, flapping, etc. ; jargon non-adressé)	3	*Dit des choses incompréhensibles et non adressées quand il regarde ses mains*
Comportements sensoriels		
Hypersensibilité		
Auditive (se couvre les oreilles…)	2	*Le bruit des cartes sur la table lui fait tourner la tête*
Visuelle (se cache les yeux…)	0	*Non observé*
Recherche de sensations		
Visuelles (se passe la main ou un objet devant les yeux…)	3	*Secoue un morceau de papier devant ses yeux*

Auditives	1	*Froisse un morceau de papier près de son oreille*
Tactiles	2	*Tripote des lamelles de papier*
Olfactives (renifle quelque chose ou l'examinateur)	0	*Non observé*
Gustatives (porte un objet à sa bouche ou le lèche)	2	*Se lèche les doigts*
Vestibulaires		
Comportements verbaux		
Jargon (si adressé à l'examinateur)		
Écholalie	3	*Répète les consignes*
Aborde son sujet de prédilection de façon inadaptée	1	*Parle de nourriture entre les deux parties de la passation*
Communication non-verbale		
Absence de contact visuel	2	*Regarde rarement dans les yeux*
Expressions du visage et gestes de communication inhabituels	2	*Sourires immotivés, réactions sans lien avec la situation*
N'utilise pas ses expressions faciales pour communiquer ses sentiments	3	*Amimie complète/ Mimiques inadaptées tout au long de la passation*
N'utilise pas les positions de son corps pour communiquer ses sentiments	1	*Croise les bras quand il s'ennuie*

Durée de la passation	**Total scores positifs**	**Total scores négatifs**	**Total scores spécifiques des TSA**	**Total scores négatifs + scores TSA**

Observations supplémentaires :

GLOSSA

Étude de validité de la batterie Examath 5-8 chez les enfants en fin de MSM.

Autrices :
Hermine Villalard[1]
Marie Christel Helloin[1,2]
Anne Lafay[1,3,4]

Affiliations :
[1] Orthophoniste, France
[2] Professeure associée des universités au Département d'Orthophonie de l'Université de Rouen Normandie, France
[3] Maîtresse de conférences universitaire, département de psychologie de l'Université Savoie Mont Blanc, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition du CNRS (LPNC-UMR CNRS 5105), Chambéry, France
[4] Chercheuse associée, département d'éducation, Concordia University, Montréal, QC, Canada

Autrice de correspondance :
Hermine Villalard
hermine.villalard@gmail.com

Dates :
Soumission : 09/02/2024
Acceptation : 25/07/2024
Publication : 24/10/2024

Comment citer cet article :
Villalard, H., Helloin, M. C. & Lafay, A. (2024). Étude de validité de la batterie Examath 5-8 chez les enfants en fin de MSM. *Glossa*, 141, 29-49. https://doi.org/10.61989/91jpmc48

e-ISSN : 2117-7155

Licence :
© Copyright Hermine Villalard, Marie Christel Helloin, Anne Lafay, 2024
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Contexte : Des prédicteurs du développement des habiletés mathématiques sont présents dès la fin de MSM. Ainsi, une évaluation des compétences mathématiques chez les enfants de cette classe d'âge est utile afin de diagnostiquer précocement un trouble ou dépister un risque de trouble spécifique des apprentissages en mathématiques en cas de suspicion de difficultés. À l'heure actuelle, il n'existe pas de tests récents permettant une évaluation approfondie des compétences chez les enfants de cet âge. Par ailleurs, la batterie informatisée Examath 5-8 démontre de bonnes qualités psychométriques chez les enfants de la GSM au CE2 et montre des scores saturés dès la fin de GSM pour des tâches correspondant à des compétences développementales précoces.

Objectif : L'objectif de cette recherche était d'évaluer l'acceptabilité, l'accessibilité et la validité de construit d'une sélection d'épreuves de la batterie Examath 5-8 en fin de MSM.

Méthode : L'échantillon était composé de 36 enfants en fin de MSM sans suivi orthophonique pour des difficultés en mathématiques ou langagières.

Résultats : Les résultats ont montré une bonne acceptabilité par les enfants, une bonne accessibilité pour le niveau MSM et une bonne validité de construit en lien avec le niveau scolaire (comparaison avec les GSM). D'autres études seront nécessaires pour évaluer la sensibilité et la validité discriminante de ces épreuves afin de garantir le pouvoir diagnostique de la batterie pour cette classe d'âge.

Mots-clefs : évaluation précoce, prédicteurs numériques, Trouble spécifique des apprentissages mathématiques, Examath 5-8.

Validity of the Examath 5-8 battery in 4-5-year-old children.

Context: Predictors of mathematical skill development are present before the kindergarten at 4-5 years old. Therefore, an assessment of mathematical skills in children of this age is useful in order to diagnose a specific learning disability or to screen a risk of such a disability in mathematics at an early stage in case of suspected difficulties. Currently, there are no recent test allowing for a thorough evaluation of skills in children of this age. Moreover, the Examath 5-8 battery demonstrates good psychometric properties in children from kindergarten to third grade and shows saturated scores at the end of kindergarten on tasks corresponding to early developmental skills.

Objective: The objective of this research was therefore to investigate the acceptability, the accessibility, and the construct validity of a selection of tests from the Examath 5-8 battery in 4-5-year-old children.

Method: The sample was 36 4-5-year-old children without speech-and-language therapy for mathematical or language difficulties.

Results: The results showed good acceptability by children, good accessibility for the 4-5-year-old children, and good construct validity linked to the grade level (in comparison with 5-6-year-old children). Further studies will be needed to evaluate the sensitivity and discriminant validity of these tests to guarantee the diagnosis power of the battery for this age group.

Key-words: early assessment, numerical predictors, Mathematics Learning Disability, Examath 5-8.

INTRODUCTION

Les prédicteurs du développement mathématique en fin de MSM

Il existe plusieurs prédicteurs numériques nécessaires au bon développement des mathématiques.

D'après le modèle du triple code, il existe trois systèmes de représentation du nombre nécessaires au traitement cognitif numérique chez l'adulte (Dehaene, 1992) qui se développent en quatre phases (Von Aster & Shalev, 2007). Le premier système, dit système analogique, est inné. Il est dit asymbolique et sémantique, il permet de traiter les quantités et porte le sens du nombre. Le sens du nombre repose sur deux systèmes intuitifs et indépendants au sein de ce système : le système numérique précis et le système numérique approximatif. Ces deux systèmes permettent une perception précise de petites quantités et l'estimation approximative de grandes quantités (Feigenson et al., 2004). Le fonctionnement du **sens du nombre** est encore à ce jour sujet à débat : alors que certains clament que la numérosité est traitée pour elle-même, d'autres suggèrent que ce traitement reposerait sur le traitement de variables continues comme la surface ou la densité (voir Wilkey & Ansari, 2020 pour une revue).

Spécifiquement, le système numérique précis (SNP) permet le **subitizing**, capacité innée à percevoir rapidement et exactement des petites quantités sans recours au comptage. Le subitizing naturel permet d'appréhender des quantités allant de 1 à 3 (Fayol et al., 2004) et pouvant aller jusqu'à 4 (Krajcsi et al., 2013). Le rang du subitizing peut s'étendre jusqu'à six éléments pour un nombre de patterns limité par exposition répétée (Mandler & Shebo, 1982). Le subitizing s'étend entre 4 et 6 ans, la différence de performance entre ces deux classes d'âge est significative à partir de quatre éléments à subitiser (Formoso et al., 2017). La capacité à subitiser quatre éléments pourrait ainsi constituer une étape importante puisque l'étendue du rang de subitizing est significativement associée aux performances mathématiques en maternelle, c'est-à-dire que le subitizing est fondamental pour le développement des compétences mathématiques dans la petite enfance (Yun et al., 2011).

Le système numérique approximatif (SNA) permet l'**estimation** des quantités afin de comparer deux quantités. Un enfant de 4 ans est en moyenne capable de discriminer deux quantités dont le ratio weber est .383, correspondant approximativement à la comparaison des quantités 9 et 12 [1] (Halberda & Feigenson, 2008). L'acuité numérique se développe avec l'âge. Le SNA mesuré à l'âge préscolaire prédit les performances en mathématiques à l'école à l'âge de 6 ans (Mazzocco et al., 2011). Toutefois, la nature de la relation entre les performances liées au SNA et les performances arithmétiques est encore débattue (voir Vogel & de Smedt, 2021).

Les deux autres systèmes de représentation du nombre, le système auditif oral et le système visuel indo-arabe, sont symboliques et asémantiques, c'est-à-dire qu'ils ne portent pas de sens en tant que tel, mais réfèrent à une quantité analogique mentale (Dehaene, 1992). Le système auditif oral s'acquiert dans la petite enfance en apprenant la **comptine numérique orale** et en faisant le lien entre les petites quantités et les étiquettes mots-nombres. La comptine numérique orale est la suite de mots-nombres dans l'ordre que l'enfant peut mémoriser et énoncer. Elle se développe entre 4 et 8 ans selon quatre stades (Fuson, 1988). À 3 ans, l'enfant peut réciter la comptine numérique depuis 1 sans coupure. À partir de 4-5 ans, il peut individualiser les termes et les associer aux objets. En langue française, pour une utilisation aboutie des nombres dans la comptine, les enfants doivent connaître par cœur les chiffres de 1 à 9, puis les mots-nombres de 11 à 16. Ensuite, les enfants doivent connaître les règles nécessaires à l'élaboration et à l'apprentissage des nombres plus grands que 16 afin de limiter le coût mnésique (Lecointre et al., 2005). Selon Carey (2004), la comptine numérique orale joue un rôle d'agent du développement du nombre et de son sens, elle permet d'associer la quantité perçue avec le mot-nombre. La comptine numérique permet à l'enfant de comprendre la notion de succession (Schneider et al., 2020) qui est nécessaire à la mise en place du dénombrement et des capacités arithmétiques d'addition et de soustraction.

Le système visuel arabe est le dernier système à se mettre en place : l'enfant apprend à l'école les **symboles arabes** (c'est-à-dire les chiffres) et le fonctionnement du système de numération. Il apprend ainsi à faire le lien entre la numérosité perçue, les étiquettes mots-nombres et le code arabe. En effet, les compétences numériques

1 Le ratio de Weber (ou fraction de Weber) est égal à la différence entre les deux nombres divisée par le plus petit nombre, par exemple pour calculer le ratio de Weber 9:12, on fera (12-9)/9≈ .333.

asymboliques et les connaissances symboliques s'influencent mutuellement. L'influence des compétences numériques symboliques est prédominante sur l'accroissement de la précision numérique (c'est-à-dire acuité numérique ; Goffin & Ansari, 2019). Le développement des codes numériques symboliques est important pour le développement mathématique ultérieur (Mononen & Niemivirta, 2023). Une fois ces systèmes mis en place, l'enfant devient capable de placer les nombres arabes sur une **ligne numérique**, manifestation de l'organisation de ses représentations mentales des nombres. Cette étape constitue la dernière phase de développement des représentations numériques (Von Aster & Shalev, 2007).

Un autre prédicteur important du développement mathématique est le **dénombrement**, à savoir l'action qui consiste à déterminer le nombre d'éléments d'une collection à partir du comptage ou des techniques de calculs combinatoires et de la cardinalité. Gelman et Gallistel (1978) ont décrit cinq principes nécessaires à sa mise en place. Le principe d'ordre stable de la comptine numérique consiste à énoncer la suite des étiquettes mots-nombres de manière ordonnée et fixe. Le principe de correspondance terme à terme consiste à associer chaque élément de la collection à une étiquette mot-nombre. Pour cela, l'enfant peut mettre en place une stratégie oro-manuelle avec le pointage digital ou une stratégie oro-visuelle avec le regard. Le principe de cardinalité revient à comprendre que le dernier mot-nombre énoncé représente le cardinal de la collection. Le principe de non-pertinence de l'ordre repose sur la compréhension que l'ordre du dénombrement n'a pas d'incidence sur le cardinal. Enfin, le principe d'abstraction consiste à pouvoir compter ensemble des ensembles différents. Van De Rijt et Van Luit (1998) décrivent le développement de ces principes. La première étape est le comptage acoustique : la comptine est perçue par l'enfant comme une suite de sons sans but apparent. Lors de la deuxième étape, se développe la comptine numérique asynchrone : l'enfant récite les mots-nombres sans association avec des objets (maîtrise du principe d'ordre stable de la comptine numérique). La troisième étape est le comptage synchrone : l'enfant peut associer les mots-nombres avec des objets grâce à la correspondance terme à terme. La quatrième étape est le comptage résultat : à ce stade, l'enfant comprend que le dernier mot-nombre correspond au nombre d'éléments de l'ensemble compté (maîtrise du principe de cardinalité). Il peut développer au cinquième stade le comptage raccourci qui lui permet de dénombrer plus rapidement et plus efficacement en subitisant un sous-ensemble et en surcomptant le reste des objets. Au sixième stade, les principes d'abstraction et de non-pertinence de l'ordre sont en place, l'enfant atteint un comptage fluide et flexible qui permet de compter n'importe quel ensemble d'objets dans n'importe quel ordre. Le principe d'abstraction se met en place tardivement. Il nécessite d'avoir acquis deux notions : le comptage résultat ainsi que la capacité à identifier et à se représenter l'unité (Wege et al., 2023). Ainsi, l'habileté en dénombrement en maternelle est prédictive du développement mathématique en CP (Jordan et al., 2007). Les stades d'acquisition des principes de dénombrement donnent des repères développementaux mais évaluer ces principes seulement par la production d'un dénombrement peut sous-estimer les capacités des enfants d'âge préscolaire entre 3 et 5 ans. Il est donc essentiel d'évaluer également leur compréhension (Johnson et al., 2019). En effet, la réussite en maternelle à une épreuve de jugement du respect des principes de dénombrement d'un personnage est prédictive du développement mathématique en fin de CP (Jordan et al., 2007).

Par ailleurs, les enfants de 4 ans montrent une **compréhension intuitive des opérations** d'ajout et de retrait. Ils sont capables de déterminer les résultats de ce type d'opération dans des problèmes non-verbaux. Cette capacité est observée précocement chez les bébés (Wynn, 1992), suggérant une certaine innéité de la compétence, mais elle est aussi basée sur des expériences de la vie quotidienne (Levine et al., 1992). Les enfants de 5 ans réussissent aussi bien les opérations additives que les tâches de comparaison de quantités. Ainsi, ces compétences précèdent et sont un appui pour l'enseignement symbolique des mathématiques (Barth et al., 2005).

De plus, les enfants de 2 à 6 ans utilisent déjà du **vocabulaire mathématique** dans la vie quotidienne (par exemple : cet arbre est très grand, j'ai beaucoup de petits pois dans mon assiette, le nuage a une forme de 5, etc.). À 4 ans, les enfants comprennent généralement les mots « premier », « deuxième », « dernier », « ensemble », « le moins », « le plus », « aucun », « chaque », « plusieurs » et « la moitié » (Boisseau, 2005). La compréhension du vocabulaire mathématique

est significativement associée à la plupart des compétences numériques et notamment le comptage verbal, la correspondance terme à terme, l'identification de chiffres, la cardinalité, la comparaison d'ensembles et/ou de nombres arabes ainsi que la connaissance de l'ordre des nombres (Hornburg et al., 2018 ; Lafay et al., 2023 ; Turan & de Smedt, 2023).

En résumé, les performances mathématiques des enfants sont prédites par les compétences en subitizing et en estimation de quantités, par la connaissance de la comptine numérique orale et les compétences en dénombrement, par la compréhension intuitive des opérations d'ajout et de retrait, par la compréhension et l'utilisation du vocabulaire mathématique en fin de MSM. Les repères d'âges indiqués dans les paragraphes précédents sont donnés à titre indicatif, à partir de la littérature scientifique, mais une hétérogénéité entre les jeunes enfants existe.

État des lieux des outils d'évaluation en fin de MSM

Des outils standardisés sont nécessaires pour évaluer les capacités mathématiques. Ces outils doivent permettre d'objectiver les difficultés mathématiques et un déficit des habiletés numériques de base pour identifier un trouble ou un risque de trouble cognitif numérique et envisager le diagnostic de TSAM (Lafay et al., 2014). Des outils standardisés, valides, fidèles et normés sont nécessaires pour la pratique d'évaluation (Lafay & Cattini, 2018). En particulier, la validité réfère au degré avec lequel un test mesure ce qu'il prétend mesurer. Il existe plusieurs types de validité. La validité de contenu, ou validité théorique, réfère à la pertinence du contenu du test, mais on ne peut pas affirmer qu'un test est valide pour toujours : la conception de l'outil et le choix des items qui le composent doivent reposer sur les modèles théoriques valides de la fonction cognitive évaluée. La validité de critère renvoie au fait que la batterie mesure bien la performance adéquate par rapport à un critère de référence. La validité de construit est le fait qu'un test mesure un construit théorique. La validité en lien avec les caractéristiques de l'individu réfère au fait que la mesure de ce construit doit être sensible à une relation comme l'âge, le sexe, la pathologie, etc.

À ce jour, quelques batteries permettent d'évaluer les capacités mathématiques générales chez les jeunes enfants de 4 ans et demi à 5 ans (voir Cattini & Lafay, 2024 ; Lafay & Cattini, 2018 ; Lafay et al., 2014 pour des recensions et des analyses systématiques). Les batteries de tests Exalang 3-6[2] (Helloin & Thibault, 2006), la NEE-L (Chevrie-Muller & Plaza, 2001) et l'UDN 2 (Meljac & Lemmel, 2007) permettent d'évaluer le vocabulaire mathématique par exemple. Tedi-MATH (Van Nieuwenhoven et al., 2001) et Exalang 3-6 permettent également d'évaluer le dénombrement, mais sur très peu d'items ou seulement en production. L'UDN 2 permet aussi d'évaluer la comptine numérique et le comptage. Néanmoins, ces batteries ne permettent pas d'identifier la cause des difficultés (Lafay et al., 2014) car elles évaluent les performances des enfants sans investiguer les compétences sous-jacentes à ces performances. Seule la batterie d'Évaluation Des fonctions cognitives et des Apprentissages (EDA ; Billard & Touzin, 2012) propose une évaluation du traitement des quantités dans cette tranche d'âge avec des tâches évaluant le traitement cognitif du nombre (Lafay & Cattini, 2018), un trouble du traitement des quantités étant une des causes éventuelles des difficultés en mathématiques (Butterworth, 1999 ; Dehaene, 2010 ; Rousselle & Noël, 2007 ; voir plus bas). Cette batterie n'est plus éditée et a été remplacée par la Batterie Modulable de Tests (BMT-i) en 2019 (Billard et al.). Il s'agit d'une batterie de dépistage, à destination des médecins par exemple, qui évalue plusieurs fonctions et qui permet d'orienter vers les orthophonistes qui réaliseront par la suite des tests destinés à préciser le diagnostic.

La présente étude s'intéresse à la batterie Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021) qui est initialement destinée aux enfants de la GSM au CE1 en début des apprentissages formels des mathématiques. Cette batterie évalue les habiletés numériques de base, le calcul, le raisonnement verbal et non-verbal ainsi que le lexique mathématique. La batterie informatisée Examath 5-8 permet d'établir un portrait global des habiletés mathématiques chez les enfants de 5 à 8 ans afin de mesurer l'ampleur d'éventuelles difficultés dans les habiletés mathématiques. Elle permet d'objectiver un TSAM ou d'émettre des hypothèses diagnostiques d'un risque de TSAM.

2 L'ensemble des batteries de tests citées est analysé au regard des compétences mathématiques ciblées dans la partie introductive. Ces batteries évaluent parfois d'autres compétences mathématiques.

L'étalonnage de la batterie a été réalisé chez les enfants de GSM, CP et CE1 de mars à juin 2021. D'après les données du manuel, certaines épreuves de la batterie sont saturées ou proches de la saturation pour au moins un de leurs scores dès la fin de GSM chez les enfants tout-venant et correspondent à des compétences développementales précoces en mathématiques. Ces épreuves ont cependant un réel intérêt dans l'évaluation ou le dépistage des enfants en difficultés. Dans une perspective développementale, évaluer les performances d'enfants en fin de MSM sur une sélection des tâches saturées ou globalement réussies en fin de GSM, concernant les habiletés numériques de base, le raisonnement numérique et non-numérique permettrait d'obtenir des données normatives dans cette tranche d'âge afin d'établir des repères développementaux à destination des orthophonistes cliniciens. Cela permettra par ailleurs d'envisager l'extension de l'utilisation de la batterie dans une version courte à une tranche d'âge inférieure à la cible d'âge initiale, afin de repérer le plus tôt possible les risques de TSAM.

La présente étude vise donc à évaluer si la batterie Examath 5-8 peut aussi être adaptée aux enfants de MSM. D'une part, la batterie Examath 5-8 a été choisie car elle propose des tâches pour une tranche d'âge proche de celle visée dans la présente étude. En effet, la batterie Examath 5-8 montre une bonne validité de surface de la GSM jusqu'au CE2, c'est-à-dire que le test est bien compris et bien accepté par les orthophonistes et par les enfants testés. D'autre part, la batterie Examath 5-8 a aussi été choisie car elle présente des propriétés psychométriques satisfaisantes (qualification de l'évaluateur, standardisation, validité de surface, validité de contenu théorique, validité de critère concomitante, validité prédictive, validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles de niveau scolaire, fidélité temporelle, fidélité interjuge, cohérence interne) que les tests doivent respecter (Lafay & Cattini, 2018). La batterie Examath 5-8 démontre une bonne validité de contenu en s'appuyant sur des modèles théoriques actuels en psychologie cognitive et neuropsychologie faisant état des connaissances du développement des habiletés mathématiques chez le jeune enfant. Elle montre également une bonne validité de critère et une bonne validité de construit en lien avec les caractéristiques des individus (la classe ou la présence d'un trouble par exemple) chez les GSM jusqu'au CE2.

Le trouble spécifique des apprentissages mathématiques (TSAM)

Le trouble spécifique des apprentissages mathématiques est défini par le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (5e édition) comme un « déficit du traitement du nombre ou du calcul » et/ou « un trouble du raisonnement mathématique » qui entravent le traitement des données numériques, l'apprentissage des faits arithmétiques, le calcul et la résolution de problèmes (American Psychiatric Association et al., 2015). Les difficultés apparaissent au cours de la scolarité et persistent pendant au moins six mois malgré la mise en place d'interventions ciblées. Le TSAM influence significativement les performances scolaires et les activités de la vie quotidienne. Les performances des personnes avec TSAM sont quantifiées comme nettement en dessous du niveau attendu pour leur âge chronologique ou niveau scolaire. Ces difficultés ne peuvent pas être mieux expliquées par un handicap intellectuel, un trouble sensoriel, neurologique, psychiatrique ou une carence environnementale. Selon les études, la prévalence du TSAM varie entre 1 et 10 % des enfants d'âge scolaire (Badian, 1999 ; Barbaresi et al., 2005 ; Devine et al., 2013 ; Dirks et al., 2008 ; Gross-Tsur et al., 1996 ; Lewis et al., 1994 ; Share et al., 1988).

La littérature propose deux hypothèses numériques prédominantes pour expliquer l'origine du TSAM avec trouble cognitif numérique. Il peut s'agir d'un déficit du *sens du nombre* (Dehaene, 2010) ou du *module nombre* (Butterworth, 1999) ou d'un déficit d'accès au sens du nombre via les codes oral et arabe (Rousselle & Noël, 2007) (voir Castaldi et al., 2020 pour une revue). Des hypothèses de déficit cognitif général ont également été posées, mais il ne s'agit pas du focus de ce présent article (voir Agostini et al., 2022 et Castaldi et al., 2020 pour une discussion à ce sujet).

Les enfants avec un TSAM ou avec un risque de TSAM montrent des compétences numériques inférieures dès la fin de MSM. Concernant le sens du nombre, Gray et Reeve (2014) montraient que les enfants de 4 ans étaient capables de subitiser la quantité 4, les plus rapides les subitisaient en 2284 ms quand les plus lents (à risque de TSAM) les subitisaient en 6026 ms. Les enfants les plus lents, à risque de TSAM, étaient significativement moins précis sur les additions lors d'une tâche arithmétique non-verbale. À 4 ans, un enfant tout-venant connaît la comptine numérique en

moyenne jusqu'à 17 +/- 9 (Van Rinsveld et al., 2020) alors que les enfants de 5 ans à risque de TSAM dans la cohorte de l'étude de Hinton et al. (2015) connaissent la comptine numérique seulement jusqu'à 10. La stratégie utilisée pour la correspondance terme à terme évolue avec l'âge. À 4-5 ans, les enfants tout-venant utilisent le plus souvent une stratégie digitale (Ginsburg & Russell, 1981) et leurs performances sont significativement meilleures avec le pointage digital qu'avec le pointage visuel (pointage non-manuel avec les yeux) (Saxe & Kaplan, 1981). Dans la cohorte de l'étude de Hinton et al. (2015), les enfants de 5 ans à risque de TSAM n'ont pas acquis le comptage synchrone, c'est-à-dire que seul l'ordre stable de la comptine numérique est acquis sur des quantités inférieures à 10 mais qu'ils n'arrivent pas à utiliser cette comptine, le pointage et leur coordination pour dénombrer. Concernant la compréhension des principes, Gelman et Meck (1983) ont démontré qu'à partir de 3 ans, les enfants sont capables de détecter des erreurs dans la comptine numérique ainsi que des erreurs de correspondance terme à terme lors du dénombrement, par exemple si une poupée compte deux fois un même objet.

OBJECTIFS

L'objectif général de cette étude est d'évaluer la validité d'une sélection de tâches (voir ci-après dans la partie Méthode) de la batterie informatisée Examath 5-8 pour les enfants de fin de MSM. Un objectif secondaire est d'établir des normes sur le niveau scolaire de fin de MSM. Les questions de recherche et les hypothèses sont les suivantes :

1. La sélection de tâches de la batterie Examath 5-8 est-elle **acceptable** pour des enfants en fin de MSM ? Nous supposons que le niveau de satisfaction moyen des enfants sur une échelle de Likert à 6 degrés devrait être supérieur ou égal au 3ème degré (hypothèse 1).

2. La sélection de tâches de la batterie Examath 5-8 est-elle **accessible** pour des enfants en fin de MSM ? Nous supposons que le niveau de réussite pour cette tranche d'âge devrait être satisfaisant ; autrement dit, la moyenne devrait se situer au-dessus du seuil de 50 % (hypothèse 2). Le seuil de 50% est utilisé pour s'assurer que les réponses des enfants ne sont pas données au hasard et que plus de la moitié des items sont réussis par la classe d'âge.

3. La sélection de tâches de la batterie Examath 5-8 montre-t-elle une bonne **validité de construit** en lien avec les caractéristiques individuelles liées au niveau scolaire ? Autrement dit, permet-elle de mettre en évidence des différences entre les enfants de MSM et de GSM ? Nous présentons ci-dessous une hypothèse générale (3a) et six hypothèses spécifiques opérationnelles (3b à 3g) qui concernent chaque tâche. Notons qu'il n'y a pas d'hypothèse spécifique pour les tâches Opération analogique et Estimation contextuelle.

a. De manière générale, nous supposons que les scores de réussite obtenus sur la sélection de tâches en MSM seront significativement inférieurs aux scores de réussite obtenus en GSM, et que les temps de traitement relevés en MSM seront significativement supérieurs aux temps relevés en GSM (hypothèse 3a).

b. Dans la tâche Comparaison symbolique arabe, nous supposons que les enfants de MSM se montreront moins précis que les enfants de GSM dans la discrimination de quantités. Autrement dit, les MSM seront plus en difficulté (score plus faible et temps de traitement plus long) que les GSM lorsqu'ils compareront des quantités dont le ratio est petit (en appui sur Halberda & Feigenson, 2008) (hypothèse 3b).

c. Dans la tâche de Subitizing naturel, nous supposons que les MSM et GSM obtiendront des scores et des temps similaires pour les rangs 1, 2 et 3 qui sont considérés comme innés (Fayol et al., 2004) et un score et un temps significativement différents pour le rang 4 qui est davantage dépendant de l'âge (Schleifer & Landerl, 2011). Dans la tâche de Subitizing exposition, nous supposons que les MSM et GSM obtiendront des scores et un temps similaires pour le rang 3 qui est considéré comme inné et des différences significatives, sur le score et le temps, pour les rangs 4, 5 et 6 qui sont davantage dépendants de l'exposition et de l'âge (hypothèse 3c).

d. Dans la tâche Comptine numérique orale, nous supposons que les enfants de MSM obtiendront un score significativement inférieur aux enfants de GSM et connaîtront en moyenne la comptine numérique au moins jusqu'à 17 (en appui sur Van Rinsveld et al., 2020) (hypothèse 3d).

e. Dans la tâche Dénombrement Compréhension, nous supposons que les MSM auront, pour chaque principe du dénombrement pris un à un, un taux de réussite significativement inférieur à celui des GSM et que les MSM auront au moins acquis le principe de la suite ordonnée stable des nombres, la

TABLEAU 1 : Âge et genre des deux cohortes.

Classe	Genre	Nombre	Pourcentage	Âge minimum	Âge maximum	Âge moyen	Écart-type (en mois)
MSM	Filles	22	61 %	4 ans 5 mois	5 ans 4 mois	4 ans 10 mois	3.96
	Garçons	14	39 %	4 ans 5 mois	5 ans 5 mois	4 ans 11 mois	3.89
	Total	36	100 %	4 ans 5 mois	5 ans 5 mois	4 ans 10 mois	3.89
GSM	Filles	60	51 %	5 ans 2 mois	6 ans 3 mois	5 ans 9 mois	3.33
	Garçons	58	49 %	4 ans 11 mois	6 ans 5 mois	5 ans 9 mois	3.99
	Total	118	100 %	4 ans 11 mois	6 ans 3 mois	5 ans 9 mois	3.66

comptine numérique en production étant acquise jusqu'à 17 en moyenne à 4 ans (Van Rinsveld et al., 2020) : le pourcentage de réussite pour le principe Comptine numérique ordre stable devrait être supérieur à 75 % en fin de MSM (hypothèse 3e).

f. Dans la tâche Dénombrement Production, nous supposons que les stratégies utilisées en MSM par principe de dénombrement seront qualitativement différentes de celles utilisées en GSM (hypothèse 3f).

g. Enfin, dans la tâche Vocabulaire mathématique (Vocabulaire en réception, désignation), nous supposons une progression dans l'acquisition du vocabulaire mathématique entre les MSM et les GSM. Autrement dit, les MSM auront acquis seulement certains mots, les plus fréquemment rencontrés à l'école (d'après Boisseau, 2005) et les scores de réussite des MSM seront significativement inférieurs à ceux obtenus en GSM pour certains items (hypothèse 3g).

MÉTHODE

Participants

Deux écoles privées aux alentours de Rouen ont accueilli le projet au sein de leurs établissements. Nous avons recruté 36 enfants de MSM dans ces établissements pour participer à l'étude (voir tableau 1). Les responsables légaux ont été informés au préalable de l'étude et ont signé une autorisation parentale attestant de leur accord quant à la participation de leur enfant. Les critères d'inclusion pour le recrutement des participants sont une scolarisation en classe de MSM pour l'année scolaire 2021-2022 et la maîtrise du français en première ou seconde langue. Les critères d'exclusion sont un redoublement ou une prise en soin actuelle ou antérieure en orthophonie concernant le langage oral ou la cognition mathématique.

Concernant le groupe des enfants de GSM, nous utilisons les résultats des 118 enfants ayant participé à l'étalonnage de la batterie Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021). Parmi ces enfants, 60 sont des filles, 80 sont des droitiers et ils ont en moyenne 69.08 mois (écart-type = 3.66).

L'ensemble de la cohorte parentale (sans distinction de sexe) a été comparé à la population française selon l'âge des parents et leurs catégories socioprofessionnelles (voir tableau 2) d'après les références INSEE (RP 2017, mise à jour 01/01/2020). Pour ce faire, nous avons sélectionné les données de la tranche d'âge 25-54 ans en cohérence avec une cohorte parentale d'enfants de 4 ans et demi à 5 ans. Notre cohorte parentale de MSM ne représente pas parfaitement la population nationale car nous observons une sous-représentation des catégories 1, 5, 6 et 8 et une sur-représentation des catégories 3 et 4. Concernant la cohorte de GSM, nous observons une sur-représentation des catégories 1, 2, 3 et 4 et une sous-représentation des catégories 5, 6 et 8.

Mesures

Huit épreuves issues de la batterie Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021) ont été sélectionnées. Ces huit épreuves ont été sélectionnées selon deux critères : premièrement, l'épreuve devait cibler une compétence mathématique reportée comme acquise en MSM (à 3-4 ans) et prédictrice du développement mathématique futur dans la littérature scientifique ; deuxièmement, ces épreuves ne devaient pas mettre les enfants plus âgés (GSM) en difficulté selon les normes obtenues à l'étalonnage de la batterie. Cette batterie est composée de 35 épreuves réparties en sept modules et d'une épreuve de dépistage indépendante. Nous décrivons par la suite uniquement les tâches concernées par l'étude. Pour chacune des épreuves, des exemples sont

TABLEAU 2 : Catégories socio-professionnelles des parents pour les cohortes de MSM et GSM par rapport à la répartition de l'INSEE des 25-54 ans en 2020.

Catégories	Répartition en pourcentage dans la cohorte parentale MSM	Répartition en pourcentage dans la cohorte parentale GSM	Répartition en % RP2017 25-54 ans Insee
(1) Agriculteurs exploitants	0.0 %	2.1 %	1.1 %
(2) Artisans, commerçants, chefs d'entreprise	5.8 %	9.0 %	5.6 %
(3) Cadres et professions intellectuelles supérieures	34.6 %	21.5 %	15.9 %
(4) Professions intermédiaires	30.8 %	40.3 %	23.6 %
(5) Employés	11.5 %	13.7 %	24.8 %
(6) Ouvriers	11.5 %	8.6 %	18.9 %
(7) Retraité	0.0 %	0.0 %	0.3 %
(8) Autres personnes sans activités professionnelles	5.8 %	4.7 %	9.8 %

donnés. De plus, une mesure d'appréciation par les enfants a été proposée (et ne fait pas partie de la batterie Examath 5-8).

Comparaison symbolique arabe (petits nombres)

La tâche Comparaison symbolique arabe teste le traitement numérique des nombres symboliques arabes et l'accès au sens du nombre via ce code. Elle se situe dans le module Sens des quantités et du nombre. Seule la partie Petits nombres a été utilisée. Il est demandé à l'enfant de comparer 10 paires de nombres en code arabe allant de 1 à 4 avec 5 ratios Weber différents allant de 0.33 à 3 (tâche isomorphique à la tâche de comparaison non-symbolique). Par exemple, pour un ratio Weber de 3, l'enfant compare 1 et 4 ; pour un ratio de 2, il compare 1 et 3 ; pour un ratio de 1, il compare 1 et 2 ou 2 et 4 ; pour un ratio de 0.5, il compare 2 et 3 et pour un ratio de 0.33, il compare 3 et 4. La paire est affichée pendant 1 seconde et l'enfant a 5 secondes pour répondre avant que l'item suivant n'apparaisse. Un score total sur 10 est attribué automatiquement avec 1 point par bonne réponse. Le plus petit ratio Weber identifié par l'enfant constitue le score Ratio Weber. Un temps moyen par item réussi est calculé automatiquement.

Subitizing

La tâche Subitizing permet d'évaluer l'accès au sens du nombre et plus précisément le système numérique précis (subitizing) via le code oral. Elle se situe dans le module Sens des quantités et du nombre et est composée de deux séries d'items. Dans la série Subitizing naturel, des quantités allant de 1 à 4 sont disposées de manière aléatoire sur l'écran. Huit nombres en code analogique (étoiles) sont présentés à l'enfant qui doit dire le plus vite possible combien il y a d'étoiles. Dans la série Subitizing exposition, des quantités allant de 3 à 6 sont organisées de manière ordonnée, selon des configurations canoniques fréquentes (celles du dé), dans l'espace de l'écran. Cette tâche permet l'évaluation du subitizing dit « conceptuel ». L'exercice est le même que dans la série précédente : huit nombres en code analogique (étoiles) sont présentés à l'enfant qui doit dire le plus vite possible combien il y a d'étoiles. Chaque item est affiché pendant 1 seconde, suivi d'un temps maximum de 5 secondes au-delà duquel l'item suivant apparaît. Pour chaque série, un score sur 8 est attribué automatiquement, avec 1 point par bonne réponse, et un temps moyen par item réussi est calculé automatiquement. Un score total sur 16 est automatiquement calculé.

Comptine numérique orale

La tâche Comptine numérique orale évalue la connaissance de la séquence conventionnelle des mots-nombres du français. Elle se situe dans le module Connaissance des nombres symboliques et comporte initialement 10 items donnant lieu à 2 scores indépendants. Pour la présente étude, seul le premier item correspondant au premier score est proposé à l'enfant. Il s'agit

de compter le plus loin possible. L'enfant récite verbalement ; l'expérimentatrice saisit le nombre atteint par l'enfant. Un score sur 100 est obtenu, correspondant au plus grand nombre atteint sans erreur. Si l'enfant atteint ou dépasse100, il obtient 100 points.

Dénombrement Compréhension

La tâche Dénombrement compréhension évalue la compréhension des principes de dénombrement par l'enfant. Dix items sont proposés à l'enfant. Celui-ci voit un personnage animé compter des objets et doit répondre à des questions sur le dénombrement effectué par le personnage ou juger de la justesse du dénombrement effectué par le personnage. L'enfant doit répondre à la question par vrai ou faux. Un item évalue l'ensemble des principes de dénombrement, deux items évaluent la compréhension du principe d'ordre stable de la comptine numérique, trois items évaluent la compréhension du principe de correspondance terme à terme, deux items évaluent la compréhension du principe de cardinalité et deux items évaluent la compréhension de la non-pertinence de l'ordre du comptage. Un score total sur 10 est attribué automatiquement, avec 1 point attribué pour chaque bonne réponse.

Dénombrement Production

La tâche Dénombrement production évalue les compétences de dénombrement en production. Elle se situe dans le module Dénombrement et est composée de deux séries d'items. Dans la série Combien ? six collections d'objets ou de personnages statiques allant de 4 à 13 sont proposées à l'enfant (les objets ou personnes sont à l'écran et non-manipulables par l'enfant). L'enfant doit dire combien il y en a. L'enfant n'a pas de contrainte temporelle pour répondre, ce qui lui permet d'appliquer une procédure de comptage. Dans la série Mouvement, six collections allant de 3 à 11 sont présentées en mouvement à l'enfant. Les stimuli arrivent de manière séquentielle : ils apparaissent, isolément ou par groupes, traversent l'écran puis disparaissent et l'enfant doit dire combien d'objets ou de personnages sont passés en tout. Le temps d'affichage est d'une seconde par élément (personnage, groupe ou objet) isolé, le temps d'affichage total de chaque item est proportionnel au nombre d'objets traversant l'écran en groupe. Chaque série s'arrête après deux échecs consécutifs de l'enfant. Pour chaque série, un score sur 6 est attribué automatiquement avec 1 point par bonne réponse. Un score total sur 12 est automatiquement calculé. Les principes du dénombrement ainsi que les stratégies utilisées sont évalués en direct par l'expérimentatrice au moyen d'une grille qualitative et sont notés sur le cahier de passation.

Opérations analogiques

La tâche Opérations analogiques évalue le sens intuitif des opérations d'ajout et de retrait sans intervention de codes symboliques pour la présentation des opérandes. Cette tâche se situe dans le module Raisonnement numérique et est composée de deux séries. Dans chaque série, six items (de type a+b ou a-b, a et b étant des ensembles non-symboliques, allant de 1 à 5) sont proposés à l'enfant dans chaque série. Une opération arithmétique est proposée dans un format non-verbal. Des clowns entrent ou sortent d'un chapiteau ; l'enfant doit déterminer, à la fin de l'animation, le nombre de clowns présents dans le chapiteau. Dans la série Réponse analogique, l'enfant doit pointer successivement le nombre de clowns dans une banque de clowns identiques. Dans la série Réponse orale, l'enfant doit donner oralement la réponse (code symbolique oral). Si l'enfant échoue aux trois premiers items, la série s'arrête automatiquement et passe à la suivante. Au cours de cette tâche, 2 points sont accordés pour une réponse exacte, 1 point est accordé si le sens de l'opération est respecté alors que la réponse est inexacte et aucun point n'est accordé si la réponse ne respecte pas le sens de l'opération. Un score sur 12 est calculé automatiquement pour chaque série. Un score total sur 24 est également calculé automatiquement.

Jugement de quantité en contexte

La tâche Jugement de quantité en contexte évalue la capacité d'estimation de quantité en contexte, mais aussi la qualité des représentations numériques dans des situations du quotidien ou relatives à des connaissances sémantiques de l'enfant. Cette tâche se situe dans le module Raisonnement numérique. Dix items sont proposés à l'enfant. Deux images sont présentées à l'enfant dont une avec une quantité non-contingente à la situation. L'enfant doit désigner l'image qu'il juge comme étant bizarre. Par exemple, l'enfant voit un cornet avec deux boules de glace et un cornet avec une vingtaine de boules de glace et il doit identifier celle qu'il juge étonnante. Dans cette épreuve, un score sur 10 est attribué automatiquement avec 1 point par bonne réponse.

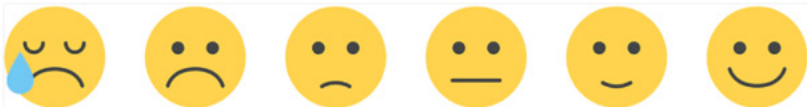


FIGURE 1 : Échelle d'évaluation de validité sociale

Vocabulaire en réception (désignation)

La tâche Vocabulaire mathématique en réception évalue la compréhension des termes relatifs au vocabulaire mathématique. Cette tâche se situe dans le module Raisonnement non-numérique et comporte deux séries. Seule la première série en désignation est administrée. Neuf items sont proposés à l'enfant. Les mots évalués sont « premier », « deuxième », « dernier », « ensemble », « la moitié », « le moins », « le plus », « aucun », « chaque » et « plusieurs ». Une image scénique est présentée à l'enfant qui entend une consigne et doit désigner la bonne réponse à l'écran. Par exemple, l'enfant voit des enfants faire une course et doit pointer le premier enfant. Dans cette tâche, un score sur 10 est attribué automatiquement, avec 1 point par bonne réponse.

Échelle d'évaluation de validité sociale

Une échelle de Likert à six degrés est présentée aux enfants à la fin du test sous forme de smileys (voir figure 1) pour évaluer le niveau de validité sociale. Les enfants sélectionnent le smiley qui correspond à leur ressenti global vis-à-vis du test. Un score sur 6 est attribué à l'enfant selon le smiley choisi, 6 étant le niveau de satisfaction maximum. La consigne donnée était « Montre-moi comment tu t'es senti durant nos petits jeux ».

Procédure générale

Les tests ont été administrés au sein des établissements scolaires et sur le temps scolaire. Une pièce isolée a été mise à disposition de la testeuse (la première autrice de cet article) en juin 2022. Les enfants de MSM ont été vus individuellement, une seule fois pendant environ 25 minutes. L'ordre des huit épreuves issues d'Examath 5-8 a été randomisé à l'aide du site randomizer.org car la batterie a vocation à être administrée de façon aléatoire. 36 séquences ont été aléatoirement générées au total (correspondant au nombre de participants). Les tâches ont été effectuées sur le logiciel Examath 5-8 et les stratégies utilisées par l'enfant ont été notées en direct sur le cahier de passation. L'échelle d'appréciation était administrée à la fin de la passation.

TABLEAU 3 : Résultats en MSM pour la sélection de tâches.

Épreuve	Moyenne	Écart-type
Comparaison arabe petits nombres	7.81/10	2.40
Subitizing total	11.97/16	3.29
Subitizing naturel	6.69/8	1.43
Subitizing exposition	5.19/8	2.21
Comptine numérique	23.53/100	13.47
Dénombrement production	8.83/12	1.40
Dénombrement combien	4.10/6	0.79
Dénombrement mouvement	4.67/6	1.03
Dénombrement compréhension	6.78/10	1.76
Opération analogique total	10.83/24*	1.87
Opération analogique - analogique	5.56/12*	1.40
Opération analogique - orale	5.30/12*	1.02
Jugement quantité en contexte	8.53/10	1.68
Vocabulaire mathématique	8.42/10	1.39

* = notes sous le seuil du hasard. Les résultats bruts obtenus par les GSM sont disponibles dans le manuel d'Examath 5-8.

RÉSULTATS

L'ensemble des résultats a été obtenu grâce au logiciel SPSS version 28.

Analyse de l'acceptabilité de la sélection de tâches (hypothèse 1)

Le taux de satisfaction des enfants de MSM sur l'échelle d'évaluation de validité sociale (échelle de Likert à six degrés) est strictement supérieur au niveau 3. La validité sociale moyenne est de 5.8 avec un écart-type (ET) de 0.5. Nous observons que 86.1 % des enfants ont choisi le niveau 6, que 8.3 % des enfants ont choisi le niveau 5 et que 5.6 % des enfants ont choisi le niveau 4.

Analyse de l'accessibilité de la sélection de tâches (hypothèse 2)

La sélection de tâches montre un niveau de réussite supérieur au seuil de 50 % de la note maximale possible pour toutes les tâches, à l'exception de la tâche Opérations analogiques en modalité analogique et orale (voir tableau 3). La tâche Comptine numérique orale est particulière car elle ne possède pas de note maximale en tant que telle (les enfants ont été arrêtés à 100 pour des raisons temporelles) : elle permet de constater que, en fin de MSM, les enfants comptent en moyenne jusqu'à 23. Cependant les scores varient considérablement d'un enfant à l'autre à cet âge, avec un écart-type à 13.5.

Analyse de la validité de construit en lien avec la caractéristique individuelle de la classe (hypothèse 3)

Comparaison des scores de réussite sur l'ensemble des tâches selon la classe (hypothèse 3a)

D'après les tests de Shapiro-Wilk, les données ne suivent pas la loi normale. De ce fait, des tests statistiques inférentiels de type non-paramétrique sont utilisés pour comparer les MSM et les GSM à la sélection de tâches d'Examath 5-8. Des analyses de variance de Mann-Whitney ont été réalisées avec le score total de chaque épreuve comme variables dépendantes et le niveau scolaire (classe) comme variable indépendante (voir tableau 4). Les résultats indiquent un effet de Classe pour toutes les tâches

TABLEAU 4 : Résultats de la comparaison interclasses pour la sélection de tâches.

		Moyenne (ET)		
Épreuve	**Variable dépendante**	**MSM**	**GSM**	***p* (Mann-Whitney)**
Comparaison arabe petits nombres	Score	7.81/10 (2.40)	9.54/10 (0.80)	< .001*
	Temps	1746.33 (394.32)	2126.70 (506.00)	< .001*
Subitizing	Score	11.97/16 (3.29)	14,89/16 (1.96)	< .001*
Subitizing naturel	Score	6.69/8 (1.43)	7.58/8 (0.98)	< .001*
	Temps	1554.69 (374.15)	1570.78 (281.60)	.353
Subitizing exposition	Score	5.19/8 (2.21)	7.32/8 (1.20)	< .001*
	Temps	1535.09 (288.43)	1694.46 (380.55)	.024*
Comptine numérique	Score	23.53/100 (13.47)	46.27/100 (23.66)	< .001*
Dénombrement production	Score	8.83/12 (1.40)	9.01/12 (2.13)	.460
Dénombrement combien	Score	4.10/6 (0.79)	4.22/6 (1.38)	.312
Dénombrement mouvement	Score	4.67/6 (1.03)	4.79/6 (1.38)	.305
Dénombrement compréhension	Score	6.78/10 (1.76)	8.74/10 (1.24)	< .001*
Opération analogique	Score	10.83/24 (1.87)	18.20/24 (5.39)	< .001*
Opération analogique -Analogique	Score	5.56/12 (1.40)	9.19/12 (2.75)	< .001*
Opération analogique -Oral	Score	5.30/12 (1.02)	9.07/12 (2.92)	< .001*
Estimation contextuelle	Score	8.53/10 (1.68)	9.59/10 (0.67)	< .001*
Vocabulaire math	Score	/10 (1.39)	8.65/10 (1.50)	.302

* = significatif à $p < .05$. Les scores sont des scores de réussite. Les temps sont en ms.

hormis pour les scores de la tâche Dénombrement Production, Vocabulaire Mathématique ainsi que sur les temps de traitement pour la tâche de Subitizing naturel.

Analyse de la réussite à la tâche Comparaison de quantités (hypothèse 3b)

Concernant la Comparaison de nombres arabes (partie Petits nombres), une analyse de variance (ANOVA) avec le score et le temps comme variables dépendantes et la classe et le ratio comme variables indépendantes, a été utilisée pour investiguer la précision numérique des enfants.

L'analyse des scores montre un effet de Classe, $F(1,144) = 44.298$, $p < .001$, $\eta^2_p = .235$, et un effet de Ratio, $F(4,141) = 5.198$, $p < .001$, $\eta^2_p = .129$. Plus important, une interaction Classe x Ratio est observée, $F(4,141) = 3.731$, $p < .05$, $\eta^2_p = .096$. Les comparaisons montrent que les enfants de GSM réussissent de façon équivalente la comparaison de nombres pour chacun des ratios, alors que les enfants de MSM sont plus performants pour comparer des paires de nombres dont le ratio est 3 que des paires de nombres dont le ratio est 0.33 ou 0.50 (voir graphique 1).

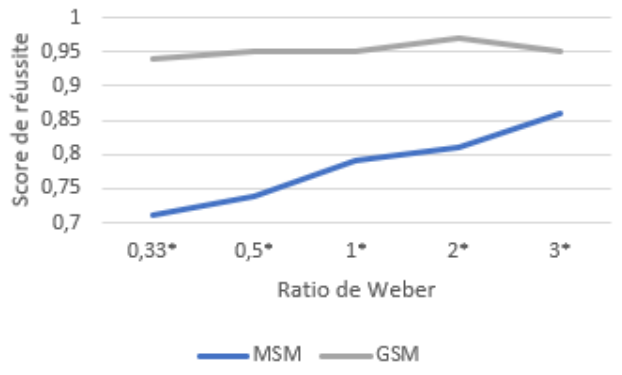
L'analyse des temps de traitement montre un effet de Classe, $F(1,135) = 9,090$, $p < .05$, $\eta^2_p = .063$ mais pas d'effet de Ratio, $F(4, 132) = 2, 305$, $p = .062$. Les enfants de GSM sont généralement plus lents que ceux de MSM. Une interaction Classe x Ratio est observée, $F(4, 132) = 4.986$, $p < .001$, $\eta^2_p = .131$. Les enfants de GSM sont significativement plus rapides pour comparer des nombres dont le ratio est 1, 2 ou 3 que des nombres dont le ratio est 0.5 de même que pour des nombres dont le ratio est 2 ou 3 par rapport à des nombres dont le ratio est 0.33. Les enfants de MSM sont significativement plus rapides pour comparer des nombres dont le ratio est 0.33 que des nombres dont le ratio est 3 (voir graphique 2).

Comparaison de la réussite à la tâche Subitizing (hypothèse 3c)

Concernant le Subitizing naturel et exposition, une ANOVA, avec le score et le temps comme variables dépendantes et la classe et le rang (nombre d'éléments à subitiser) comme variables indépendantes a été utilisée pour investiguer la capacité de subitizing des enfants.

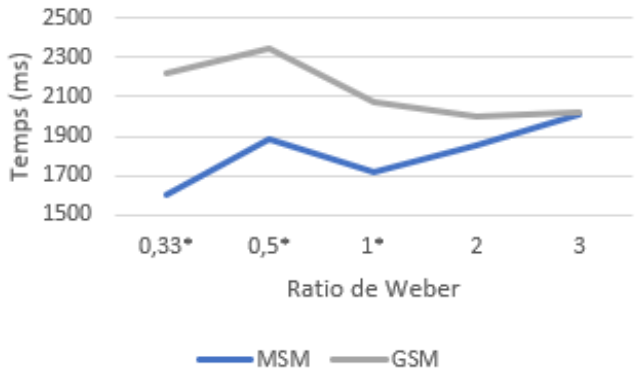
Analyse de la tâche Subitizing naturel

L'analyse des scores en subitizing naturel (voir graphique 3) montre un effet de Classe, $F(1,144) = 15.865$, $p < .001$, $\eta^2_p = .099$ et un effet de Rang, $F(3,142) = 14.953$, $p < .001$, $\eta^2_p = .242$. Une interaction Classe x Rang est observée, $F(3,142) = 8.462$, $p < .001$, $\eta^2_p = 0.152$. Les comparaisons montrent que les enfants de GSM réussissent de manière équivalente à subitiser 1, 2, 3 ou 4 éléments alors que les MSM montrent des résultats significativement inférieurs pour subitiser 4 éléments par rapport à 1, 2 ou 3 éléments ainsi que pour subitiser 3 éléments par rapport à 1 élément.



* = différence significative à $p < .05$ entre le score de MSM et de GSM

GRAPHIQUE 1 : Score de réussite par classe dans la tâche Comparaison de nombres arabes (petits nombres).



* = différence significative à $p < .05$ entre le temps de MSM et de GSM

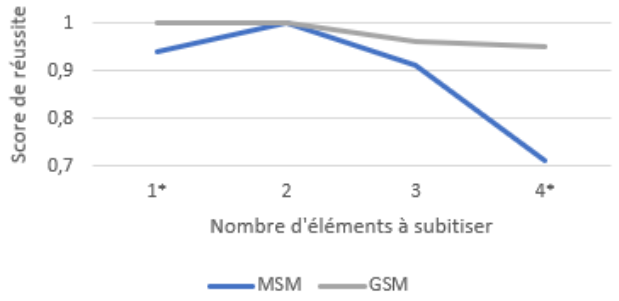
GRAPHIQUE 2 : Temps moyen (en ms) par ratio par classe dans la tâche Comparaison de nombres arabes (petits nombres).

L'analyse des temps de traitement en subitizing naturel (voir graphique 4) montre un effet de Rang, $F(3,123) = 255.193$, $p < .001$, $\eta^2_p = .862$ mais ne montre pas d'effet de Classe, $F(1,125) = 1.103$, $p = .296$, ni d'interaction Classe x Rang, $F(3,123) = 0.042$, $p = .988$. Les comparaisons montrent que les enfants de GSM et de MSM sont significativement plus rapides pour subitiser 2 éléments par rapport à 1, 3 ou 4 éléments, pour subitiser 1 élément par rapport à 3 ou 4 éléments et pour subitiser 3 éléments par rapport à 4 éléments.

Analyse de la tâche Subitizing exposition

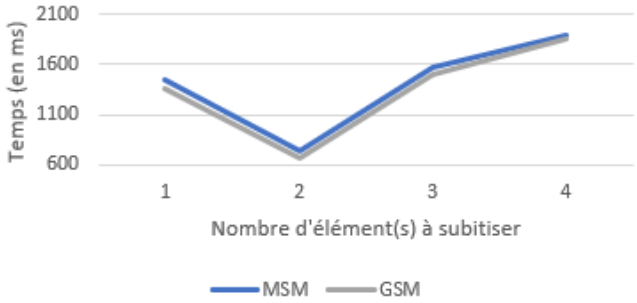
L'analyse des scores en subitizing exposition (voir graphique 5) montre un effet de Classe, $F(1, 145) = 34.207$, $p < .001$, $\eta^2_p = .955$ et un effet de Rang, $F(3,143) = 18.690$, $p < .001$, $\eta^2_p = .282$. Une interaction Classe x Rang est observée, $F(3,143) = 12.421$, $p < .001$, $\eta^2_p = .207$. Les comparaisons montrent que les enfants de GSM réussissent de manière équivalente à subitiser 3, 4, 5 ou 6 éléments tandis que les MSM présentent des résultats significativement inférieurs pour subitiser 6 éléments par rapport à 3, 4 ou 5 éléments ainsi que pour subitiser 4 ou 5 éléments par rapport à 3.

L'analyse des temps de traitement en subitizing exposition (voir graphique 6) montre un effet de rang, $F(3,116) = 10.086$, $p < .001$, $\eta^2_p = .207$ mais pas d'effet de Classe, $F(1,118) = .021$, $p = .885$, ni d'effet d'interaction Classe x Rang, $F(3,116) = .474$, $p = .701$. Les enfants (MSM et GSM) sont significativement plus rapides pour subitiser 3 éléments que pour subitiser 4, 5 ou 6 éléments ($p < .05$). Aucune différence significative de temps de traitement n'est observée entre le subitizing de 4, 5 ou 6 éléments.

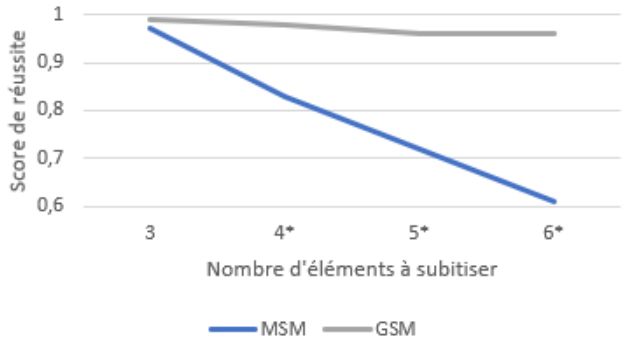


* = différence significative à $p < .05$ entre le score de MSM et de GSM

GRAPHIQUE 3 : Score de réussite en subitizing par rang et par classe dans la tâche Subitizing Naturel.

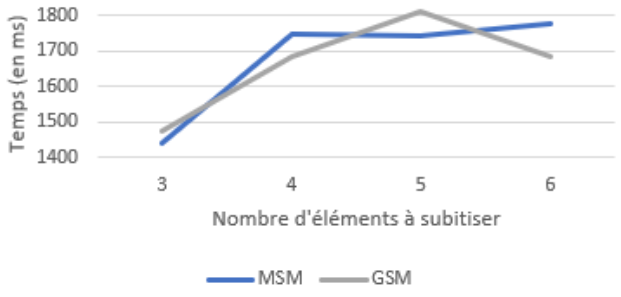


GRAPHIQUE 4 : Temps moyen par rang et par classe dans la tâche Subitizing Naturel.



* = différence significative à $p < .05$ entre le score de MSM et de GSM

GRAPHIQUE 5 : Score de réussite en subitizing par rang et par classe dans la tâche Subitizing exposition.



GRAPHIQUE 6 : Temps moyen par rang et par classe dans la tâche Subitizing exposition.

Analyse de la tâche Comptine numérique (hypothèse 3d)

Concernant la Comptine numérique, une analyse de variance de Mann-Whitney a été réalisée avec la moyenne des scores en Comptine numérique comme variable dépendante et la classe comme variable indépendante. Les enfants de MSM obtiennent des scores significativement inférieurs à ceux des GSM ($p < .001$). En moyenne, les MSM connaissent la comptine numérique jusqu'à 23 avec un écart-type de 13.5 tandis que les GSM connaissent la comptine numérique jusqu'à 46 avec un écart-type de 23.7.

Analyse de la tâche Dénombrement compréhension (hypothèse 3e)

Concernant le Dénombrement Compréhension, une analyse de variance de Mann-Whitney a été réalisée avec la moyenne des scores pour chaque principe de dénombrement comme variables dépendantes et la classe comme variable indépendante. Les résultats montrent un effet de Classe pour les 4 principes de dénombrement testés ($p < .05$; comptine numérique efficiente, correspondance terme à terme, non-pertinence de l'ordre, cardinalité).

Nous considérons qu'un principe est acquis lorsqu'il est maîtrisé par au moins 75 % de la population testée, en cours d'acquisition pour 50 à 75 % et non-acquis pour moins de 50 %. En fin de MSM, seul le principe Comptine numérique stable est acquis (76 %), alors que les principes Correspondance terme à terme (61 %), Non-pertinence de l'ordre (72 %) et Cardinalité (56 %) sont en cours d'acquisition. En fin de GSM, tous les principes sont acquis (Comptine numérique stable : 96 %, Correspondance terme à terme : 91 %, Non-pertinence de l'ordre : 85 %) excepté le principe de Cardinalité qui est en cours d'acquisition (70 %).

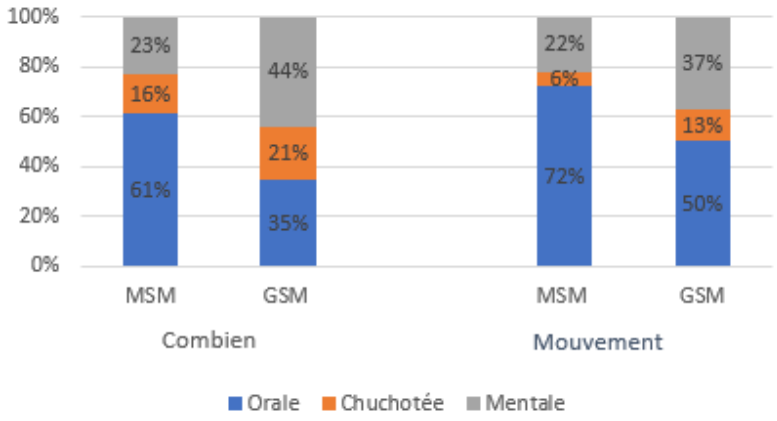
Analyse de la tâche Dénombrement production : stratégies utilisées pour les principes Comptine numérique efficiente et Correspondance terme à terme (hypothèse 3f)

Concernant le Dénombrement Production, une analyse qualitative des stratégies utilisées par classe a été effectuée. Un pourcentage d'utilisation des différentes stratégies pour les principes Comptine numérique efficiente et Correspondance terme à terme (observées par l'expérimentateur si l'enfant ne produit pas de double comptage ou de saut de comptage lorsqu'il énonce les mots-nombres et pointe les objets) a été calculé (voir graphiques 7 et 8). La comptine numérique orale et le pointage digital sont préférentiellement utilisés par les MSM dans la partie Combien. Dans cette même partie de la tâche, les GSM utilisent des stratégies caractérisées comme mentalisées car celles-ci sont non-observables, il pourrait s'agir de la comptine numérique mentale et du pointage visuel. Dans la partie Mouvement, les MSM et les GSM utilisent préférentiellement la comptine numérique orale et le pointage visuel.

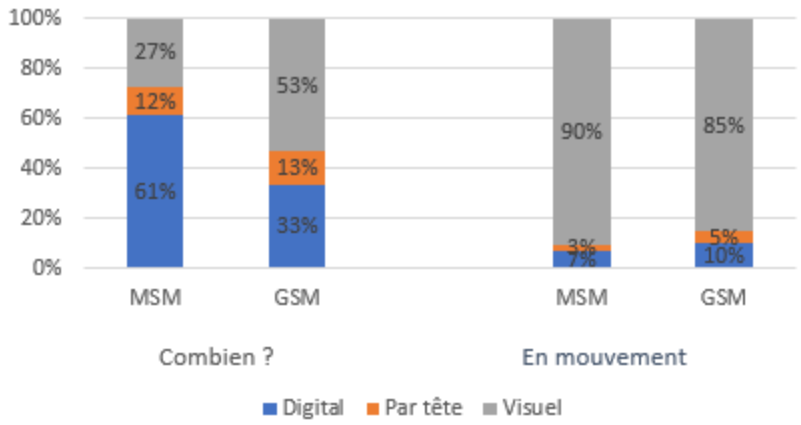
Analyse de la tâche vocabulaire mathématique (hypothèse 3g)

Concernant le vocabulaire mathématique, une analyse de variance de Mann-Whitney a été réalisée avec le score pour chaque item comme variables dépendantes et la classe comme variable indépendante (voir tableau 5).

Les enfants de MSM obtiennent des scores significativement inférieurs aux GSM pour les



GRAPHIQUE 7 : Stratégies utilisées pour la comptine numérique chez les MSM et les GSM dans les sous-tâches Combien et Mouvement du dénombrement.



GRAPHIQUE 8 : Stratégies utilisées pour la correspondance terme à terme chez les MSM et les GSM dans les sous-tâches Combien et Mouvement du dénombrement

TABLEAU 5 : Résultats (moyenne (ET) du score) de la tâche Vocabulaire mathématique.

Items	MSM	GSM	*p* (Mann-Whitney)
Premier	1,00 (0.00)	0.97 (0.16)	0.32
Deuxième	0.86 (0.35)	0.96 (0.19)	< .05*
Dernier	0.53 (0.51)	0.92 (0.28)	0.00*
Ensemble	0.51 (0.51)	0.57 (0.50)	0.55
La moitié	0.42 (0.50)	0.74 (0.44)	< .01*
Le moins	0.88 (0.33)	0.97 (0.16)	< .05*
Le plus	1.00 (0.00)	1.00 (0.00)	1.00
Aucun	0.92 (0.27)	0.98 (0.13)	0.11
Chaque / plusieurs	0.85 (0.25)	0.82 (0.37)	0.72

* = significatif à $p < .05$.

mots « deuxième », « dernier », « la moitié » et « le moins ». Cependant, nous ne notons pas de différence significative entre les MSM et les GSM pour les scores des items « premier », « ensemble », « le plus », « aucun », « chaque » et « plusieurs ».

Un mot de vocabulaire est considéré comme acquis lorsqu'il est compris par au moins 75 % de la population testée, en cours d'acquisition pour 50 à 75 % et non-acquis pour moins de 50 %. En fin de MSM, les enfants ont acquis les mots « premier », « deuxième », « le moins », « le plus », « aucun », « chaque » et « plusieurs ». Les mots « dernier » et « ensemble » sont en cours d'acquisition et le mot « la moitié » n'est pas encore acquis à cet âge. Tous les mots sont acquis en fin de GSM, excepté « ensemble » et « la moitié » qui sont encore en cours d'acquisition.

DISCUSSION

Interprétation des résultats

Acceptabilité

Le premier objectif était d'évaluer l'acceptabilité de la sélection de tâches informatisées de la batterie Examath 5-8 pour des enfants en fin de MSM. La batterie montre une très bonne acceptabilité par cette classe d'âge. Les enfants ont apprécié les tâches proposées ainsi que leurs présentations. Toutefois, il est possible que cette échelle ait capturé de manière plus générale un plaisir à réaliser des mathématiques. Nous pouvons affirmer que l'évaluation n'a pas provoqué d'émotions négatives chez les enfants.

Accessibilité

Le deuxième objectif était d'évaluer l'accessibilité de la sélection de tâches de la batterie Examath 5-8 pour les enfants en fin de MSM. Toutes les tâches montrent un niveau de réussite supérieur au seuil de 50% hormis la tâche Opérations analogiques. Cela nous permet de valider notre hypothèse pour toutes les tâches sauf celle-ci. Pourtant, Levine et al. (1992) obtenaient dans leur étude des résultats supérieurs au seuil de 50% pour cette classe d'âge dans des tâches similaires (somme jusqu'à 6 dans l'étude de Levine et jusqu'à 5 dans notre étude). Ils exprimaient néanmoins que cela n'était pas représentatif d'une compétence complètement acquise à cet âge. En effet, dans cette classe d'âge, certains enfants obtenaient de très bons résultats mais la plupart en obtenaient des mauvais. Dans cette tâche, les auteurs montraient que les performances augmentaient avec l'âge dans toutes les tranches d'âge testées. Cela suggère que cette compétence commence à se mettre en place en MSM mais pas de manière homogène chez tous les enfants. De plus, dans l'étude de Levine et al. (1992), les enfants voyaient des objets réels apparaître ou disparaître l'un après l'autre, ce qui pouvait leur permettre de les dénombrer plus facilement alors que, dans la présente étude, la tâche est informatisée, ce qui nécessite un niveau d'abstraction supérieur.

Validité de construit en lien avec la classe

Le troisième objectif était d'évaluer la validité de construit de la sélection de tâches de la batterie Examath 5-8 en lien avec les caractéristiques individuelles liées à la classe. Les enfants de MSM obtiennent des scores de réussite significativement inférieurs et présentent des temps de traitement significativement plus longs que les GSM pour toutes les tâches, hormis pour les tâches Dénombrement production et Vocabulaire mathématique ainsi que pour les temps de traitement en Subitizing naturel. Ces résultats nous permettent de valider notre hypothèse pour toutes les tâches sauf celles citées précédemment.

Les interprétations relatives aux hypothèses spécifiques à chaque tâche seront détaillées ci-dessous.

Dans la tâche **Comparaison symbolique arabe**, les enfants de GSM se montrent significativement plus performants que les MSM pour comparer des nombres dont les ratios sont 3, 2, 1, 0.5 ou 0.33. Ces résultats nous permettent de valider notre hypothèse, les MSM sont plus en difficulté que les GSM lorsqu'ils comparent des quantités dont le ratio est petit. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Halberda et Feigenson (2008) portant sur des quantités non-symboliques, les enfants de MSM sont capables de discriminer des quantités jusqu'au ratio de Weber de 0.33 et cette capacité s'améliore avec l'âge, accompagnée d'une accélération de la vitesse de traitement. Notons tout de même que le temps de traitement des GSM est généralement plus long que celui des MSM : il est possible que les MSM répondent pour certains au hasard, raccourcissant leur temps de réponse.

Dans la tâche **Subitizing naturel**, les enfants de GSM sont significativement plus performants en score que les enfants de MSM pour les rangs 1 et 4 mais ne le sont pas pour les rangs 2 et 3. En revanche, il n'y a pas de différence significative du temps de traitement entre ces deux classes d'âge pour les rangs 1, 2, 3 ou 4. Cependant, il convient de noter que le rang 1 n'apparaît qu'une fois et est le dernier item de la tâche. Il est possible qu'il y ait eu un effet de fatigabilité pour cet item chez les MSM. Ceux-ci obtiennent cependant un score de réussite de .93, ce score est abaissé par l'échec de seulement deux enfants de la cohorte à cet item. Il est possible qu'avec une taille d'échantillon plus importante en MSM, ce score serait apparu non-significativement différent du score des GSM. Ces résultats nous permettent de valider notre hypothèse. La différence significative de score pour le rang 4 est cohérente avec l'étude de Formoso et al. (2017) qui montrait une augmentation de l'étendue du subitizing entre 4 et 6 ans.

Dans la tâche **Subitizing exposition**, les enfants de GSM sont significativement plus performants en score que les enfants de MSM pour les rangs 4, 5 et 6 mais ne le sont pas pour le rang 3, ce qui nous permet de valider notre hypothèse. Les enfants de MSM et de GSM ne montrent pas de différence significative concernant le temps de traitement pour les rangs 3, 4, 5 et 6. Ce résultat montre que le subitizing s'étend au cours du développement aux patterns 4, 5 et 6 par exposition répétée, ce qui est concordant avec Mandler et Shebo (1982).

La tâche **Comptine numérique** montre que les enfants de MSM peuvent compter en moyenne jusqu'à 23, ce qui nous permet de valider notre hypothèse avec un score intermédiaire entre les résultats obtenus par Van Rinsveld et al. (2020) à 4 ans (17+/-9) et à 5 ans (28+/-3), sachant que la

moyenne d'âge de notre cohorte (4 ans 10 mois) se situe entre ces deux repères d'âge, bien que nos résultats montrent une grande dispersion (23+/-13.5). En revanche, cette dispersion persiste chez les enfants de GSM de la cohorte Examath 5-8 mais avec des scores plus élevés (46+/-23) alors que la dispersion était réduite à 5 ans dans l'étude de Van Rinsveld et al. (2020), ce qui peut aussi s'expliquer par le fait que, dans cette étude, les enfants étaient arrêtés dès qu'ils atteignaient 30.

Dans la tâche **Dénombrement compréhension**, les enfants de GSM sont significativement plus performants que les enfants de MSM pour détecter des erreurs sur les principes de dénombrement (ordre stable de la comptine numérique, correspondance terme à terme, non-pertinence de l'ordre et cardinalité). De plus, la compréhension du principe d'ordre stable de la comptine numérique est acquise en fin de MSM, comme attendu puisque la comptine numérique est acquise en production jusqu'à 17 à 4 ans d'après Van Rinsveld et al. (2020). Les autres principes sont encore en cours d'acquisition à ce stade. Ces résultats nous permettent de valider notre hypothèse. Néanmoins, ce résultat diffère de celui de l'étude plus ancienne de Gelman et Meck (1983) qui montrait que les enfants pouvaient détecter des erreurs dans la comptine numérique et de correspondance terme à terme à partir de 3 ans. Notre résultat peut s'expliquer par le fait que, dans l'étude de Gelman et Meck (1983), il était seulement demandé aux enfants de dire si une poupée avait bien compté. Or, dans notre étude, il est demandé de répondre par vrai ou faux à une question, qui implique une compétence langagière plus importante. De plus, il s'agit dans notre étude d'une tâche informatisée, cela implique une plus grande rigidité dans la cotation.

Dans la tâche **Dénombrement production**, les enfants de GSM et de MSM ne montrent pas de différence significative en termes de score de réussite. Néanmoins, les stratégies utilisées dans la sous-tâche Combien diffèrent entre les MSM et les GSM, ce qui nous permet de valider notre hypothèse. Les enfants de MSM utilisent préférentiellement une comptine numérique orale et le pointage digital, ce qui est en accord avec l'étude de Ginsburg et Russell (1981) chez des enfants de 4 ans et demi, alors que les GSM utilisent préférentiellement une comptine numérique mentale et le pointage visuel. Cela démontre une meilleure automatisation des principes du dénombrement chez les GSM, malgré une différence de score global non-significative entre ces deux classes d'âge.

Enfin, concernant le **vocabulaire mathématique**, les résultats montrent une progression significative entre les MSM et les GSM pour les items « deuxième », « la moitié » et « le moins » mais une absence de différence significative pour les autres mots. Cette progression nous permet de valider notre hypothèse. Dans cette tâche, nos résultats correspondent à l'âge d'acquisition proposée par Boisseau (2005) pour tous les mots, à l'exception de « dernier », « ensemble » et « la moitié ». Le lexique mathématique s'acquiert très jeune, les mots proposés seraient acquis dès 3 ans sauf « la moitié » qui serait acquis à 4 ans selon Boisseau (2005). Cette étude ainsi que celle de Boisseau montrent que le lexique mathématique s'enrichit progressivement au cours des années de maternelle et que l'on peut observer une progression du lexique mathématique sur certains mots spécifiques. Cependant cela n'entraîne pas de différence significative dans le score total entre les résultats des enfants de MSM et de GSM.

Synthèse

En résumé, le protocole d'évaluation mathématique proposé pour les enfants en fin de MSM, utilisant quelques épreuves d'Examath 5-8, présente une bonne acceptabilité pour l'ensemble des tâches et une bonne accessibilité pour toutes les tâches, à l'exception de la tâche Opération analogique où les enfants de MSM obtiennent un score moyen sous le seuil de 50%. Toutes les tâches montrent également une bonne validité de construit en lien avec la classe sauf les tâches Dénombrement production et Vocabulaire mathématique où les scores de réussite de l'épreuve complète ne montrent pas de progression significative entre les MSM et les GSM. Néanmoins, dans la tâche Dénombrement production, les stratégies utilisées sont qualitativement différentes entre ces deux classes d'âge, témoignant d'une automatisation de la compétence en fin de GSM qui n'est pas encore présente en fin de MSM. De plus, la tâche Vocabulaire mathématique permet de mettre en lumière une progression sur trois des dix items proposés, ce qui démontre une expansion du lexique entre la MSM et la GSM.

Limites et forces de l'étude

L'étude présente certaines limites. Tout d'abord, la population étudiée est scolarisée

dans le secteur privé et bénéficie pour une grande partie d'un niveau socio-économique élevé et donc insuffisamment représentatif de l'ensemble des enfants scolarisés en France. Si certains apprentissages à l'entrée à l'école maternelle sont indépendants de l'environnement (ex : arithmétique non-verbale, Jordan et al., 1992 ; 1994), il est aussi reconnu que le niveau socio-économique peut avoir une influence sur les apprentissages en fin de maternelle (Tazouti et al., 2012). Il est possible que le niveau socio-économique de cet échantillon ait un impact sur les résultats pour certaines tâches (notamment vocabulaire mathématique par exemple). De plus, le nombre de participants est insuffisant pour généraliser, avec assurance, nos résultats à l'ensemble de la population nationale. Il serait intéressant d'élargir cette étude à un plus grand nombre d'enfants de cette même classe d'âge, en particulier de niveaux socio-économiques différents et variés.

Par ailleurs, l'étude est originale et d'intérêt public. Elle permet de faire un état des lieux des compétences des enfants de MSM au développement typique au regard des données fournies par la littérature scientifique et des modèles théoriques pris en référence. Elle fournit désormais des repères développementaux utiles aux orthophonistes pour leurs actions de prévention, d'évaluation ou d'intervention auprès des jeunes enfants de 4 ans et demi, en fin de MSM, qui ont de plus apprécié les tâches proposées.

Perspectives

Cette étude ouvre des perspectives de recherches intéressantes. En particulier, d'autres propriétés psychométriques devront être évaluées. Par exemple, l'inclusion d'enfants porteurs ou à risque de Trouble des Apprentissages Mathématiques sera nécessaire dans de futures études pour déterminer la validité discriminante et la sensibilité de la sélection de tâches et ainsi garantir le pouvoir diagnostique de la batterie pour cette classe d'âge.

En conclusion, cette étude, en testant l'acceptabilité, l'accessibilité et la validité de construit d'une sélection de tâches de la batterie Examath 5-8 chez les enfants de fin de MSM, s'inscrit dans le développement d'un élargissement de l'étalonnage de la batterie Examath 5-8 à cette classe d'âge. Les tests actuellement publiés ne permettent pas d'évaluer le traitement cognitif du nombre chez les enfants en fin de MSM alors que certaines compétences sont déjà présentes à cet âge. Il s'agit ainsi d'une avancée notable pour la profession orthophonique. L'étude suggère qu'un protocole d'évaluation incluant les tâches Comparaison symbolique arabe (petits nombres), Subitizing, Comptine numérique orale (premier item : compter le plus loin possible), Dénombrement Compréhension, Dénombrement Production, Jugement de quantité en contexte et Vocabulaire en réception (mathématiques) est valide pour évaluer les compétences mathématiques des jeunes enfants de fin de MSM.

DECLARATION D'INTÉRETS

La deuxième et la troisième autrice de l'article sont co-autrices de la batterie Examath 5-8.

RÉFÉRENCES

Agostini, F., Zoccolotti, P., & Casagrande, M. (2022). Domain-general cognitive skills in children with mathematical difficulties and dyscalculia: A systematic review of the literature. *Brain Sciences, 12*(2), 239. https://doi.org/10.3390/brainsci12020239

American Psychiatric Association, Boyer, P., Crocq, M.-A., & Guelfi, J.-D. (2015). *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5e éd.). Elsevier Masson.

Badian, N. A. (1999). Persistent arithmetic, reading, or arithmetic and reading disability. *Annals of Dyslexia, 49*, 43-70. https://doi.org/10.1007/s11881-999-0019-8

Barbaresi, W. J., Katusic, S. K., Colligan, R. C., Weaver, A. L., & Jacobsen, S. J. (2005). Math learning disorder: Incidence in a population-based birth cohort 1976-82, Rochester, Minn. *Ambulatory Pediatrics, 5*(5), 281-289. https://doi.org/10.1367/A04-209R.1

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., & Spelke, E. S. (2005). Abstract number and arithmetic in preschool children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(39), 14116-14121. https://doi.org/10.1073/pnas.0505512102

Billard, C., & Touzin, M. (2012). *Evaluation Des fonctions cognitives et des Apprentissages de 4 à 11 ans (EDA).* Ortho Édition.

Billard, C., Mirassou, A., & Touzin, M. (2019). *Batterie Modulable de Tests informatisée (BMT-i).* Ortho Édition

Boisseau, P. (2005). *Enseigner la langue orale en maternelle.* RETZ.

Butterworth, B. (1999). *The Mathematical brain.* Macmillan.

Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus, 133*(1), 59-68. https://doi.org/10.1162/001152604772746701

Castaldi, E., Piazza, M., & Iuculano, T. (2020). Learning disabilities: Developmental dyscalculia. *Handbook of Clinical Neurology, 174*, 61-75. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64148-9.00005-3

Cattini, J., & Lafay, A. (2024). Analyse critique des qualités psychométriques des batteries de performances évaluant la cognition mathématique. *A.N.A.E., 36*(190), 280-290.

Chevrie Muller, C., & Plaza, M. (2001). *N-EEL - Nouvelles épreuves pour l'examen du Langage de 3 ans 7 mois à 8 ans 7 mois.* Pearson.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition, 44*(1-2), 1-42. https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N

Dehaene, S. (2010). *La Bosse des maths : Quinze ans après.* Odile Jacob.

Devine, A., Soltész, F., Nobes, A., Goswami, U., & Szűcs, D. (2013). Gender differences in developmental dyscalculia depend on diagnostic criteria. *Learning and Instruction, 27*, 31-39. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.02.004

Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E. C. D. M., & de Sonneville, L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 41*(5), 460-473. https://doi.org/10.1177/0022219408321128

Fayol, M., Perros, H., & Seron, X. (2004). Les représentations numériques : caractéristiques, troubles, développement. Dans M.-N. Metz-Lutz, E. Demont, C. Seegmuller, M. de Agostini, et N. Bruneau (dir.), *Développement cognitif et troubles des apprentissages* (p. 69-107). Solal. https://hal.science/hal-00115939

Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences, 8*(7), 307-314. https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002

Formoso, J., Barreyro, J. P., Jacubovich, S., & Injoque-Ricle, I. (2017). Possible associations between subitizing, estimation and visuospatial working memory (VSWM) in Children. *The Spanish Journal of Psychology, 20*, E27. https://doi.org/10.1017/sjp.2017.23

Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number.* Springer-Verlag Publishing.

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number.* Harvard University Press.

Gelman, R., & Meck, E. (1983). Preschoolers' counting: Principles before skill. *Cognition, 13*(3), 343-359. https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90014-8

Ginsburg, H. P., & Russell, R. L. (1981). Social class and racial influences on early mathematical thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 46*(6), 1-69. https://doi.org/10.2307/1165946

Goffin, C., & Ansari, D. (2019). How are symbols and nonsymbolic numerical magnitudes related? Exploring bidirectional relationships in early numeracy. *Mind, Brain, and Education, 13*(3), 143-156. https://doi.org/10.1111/mbe.12206

Gray, S. A., & Reeve, R. A. (2014). Preschoolers' dot enumeration abilities are markers of their arithmetic competence. *PLOS ONE, 9*(4), e94428. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094428

Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine & Child Neurology, 38*(1), 25-33. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1996.tb15029.x

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

Helloin, M. C., & Lafay, A. (2021). *Examath 5-8* [Logiciel]. HappyNeuron Pro.

Helloin, M. C., & Thibault, M. P. (2006). *Exalang 3-6* [Logiciel]. HappyNeuron Pro.

Hinton, V. M., Flores, M. M., Schweck, K., & Burton, M. E. (2015). The effects of a supplemental explicit counting intervention for preschool children. *Preventing School Failure: Alternative Education for Children and Youth, 60*(3), 183-193. https://doi.org/10.1080/1045988X.2015.1065400

Hornburg, C. B., Schmitt, S. A., & Purpura, D. J. (2018). Relations between preschoolers' mathematical language understanding and specific numeracy skills. *Journal of Experimental Child Psychology, 176*, 84-100. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.07.005

INSEE. (2020). *Évolution et structure de la population en 2017.* https://www.insee.fr/fr/statistiques/4515315?sommaire=4515349&geo=FE-1#ancre-POP_T6

Johnson, N. C., Turrou, A. C., McMillan, B. G., Raygoza, M. C., & Franke, M. L. (2019). « Can you help me count these pennies? »: Surfacing preschoolers' understandings of counting. *Mathematical Thinking and Learning: An International Journal, 21*(4), 237-264. https://doi.org/10.1080/10986065.2019.1588206

Jordan, N. C., Huttenlocher, J., & Levine, S. C. (1992). Differential calculation abilities in young children from middle- and low-income families. *Developmental Psychology, 28*(4), 644-653. https://doi.org/10.1037/0012-1649.28.4.644

Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 36-46. https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x

Jordan, N. C., Levine, S. C., & Huttenlocher, J. (1994). Development of calculation abilities in middle- and low-income children after formal instruction in school. *Journal of Applied Developmental Psychology, 15*(2), 223-240. https://doi.org/10.1016/0193-3973(94)90014-0

Krajcsi, A., Szabó, E., & Mórocz, I. Á. (2013). Subitizing is sensitive to the arrangement of objects. *Experimental Psychology, 60*(4), 227-234. https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000191

Lafay, A., & Cattini, J. (2018). Analyse psychométrique des outils d'évaluation mathématique utilisés auprès des enfants francophones. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology, 42*(2), 127-144.

Lafay, A., Cornet, N. M., & Barilaro, M. (2023). Le vocabulaire mathématique de l'enfant : revue de littérature systématique et synthèse narrative. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence, 71*(8), 399-410. https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2023.06.004

Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2014). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, 116, 33-58. https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/599

Lecointre, A., Lépine, R., & Camos, V. (2005). Développement et troubles des processus de quantification. Dans M.-P. Noël (dir.), *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant* (p. 41-75). Solal.

Levine, S. C., Jordan, N. C., & Huttenlocher, J. (1992). Development of calculation abilities in young children. *Journal of Experimental Child Psychology, 53*(1), 72-103. https://doi.org/10.1016/s0022-0965(05)80005-0

Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *The Journal of Child Psychology & Psychiatry, 35*(2), 283-292. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1994.tb01162.x

Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing : An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General, 111*(1), 1-22. https://doi.org/10.1037/0096-3445.111.1.1

Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *PLOS ONE, 6*(9), e23749. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023749

Meljac, C., & Lemmel, G. (2007). *UDN-II Construction et utilisation du nombre*. ECPA.

Mononen, R., & Niemivirta, M. (2023). Patterns of symbolic numerical magnitude processing and working memory as predictors of early mathematics performance. *European Journal of Psychology of Education, 38*(1), 311-332. https://doi.org/10.1007/s10212-021-00596-4

Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition, 102*(3), 361-395. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005

Saxe, G. B., & Kaplan, R. (1981). Gesture in early counting: A developmental analysis. *Perceptual and Motor Skills, 53*(3), 851-854. https://doi.org/10.2466/pms.1981.53.3.851

Schleifer, P., & Landerl, K. (2011). Subitizing and counting in typical and atypical development. *Developmental Science, 14*(2), 280-291. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00976.x

Schneider, R. M., Sullivan, J., Marušič, F., Žaucer, R., Biswas, P., Mišmaš, P., Plesničar, V., & Barner, D. (2020). Do children use language structure to discover the recursive rules of counting? *Cognitive Psychology, 117*, 101263. https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2019.101263

Share, D. L., Moffitt, T. E., & Silva, P. A. (1988). Factors associated with arithmetic-and-reading disability and specific arithmetic disability. *Journal of Learning Disabilities, 21*(5), 313-320. https://doi.org/10.1177/002221948802100515

Tazouti, Y., Viriot-Goeldel, C., Matter, C., Geiger-Jaillet, A., Carol, R., & Deviterne, D. (2012). Pratiques éducatives familiales et apprentissages premiers à l'école maternelle française et au Kindergarten allemand. *Éducation & formations*. https://hal.science/hal-01862886

Turan, E., & de Smedt, B. (2023). Understanding mathematical development in preschool children: The association between mathematical language and mathematical abilities. *Cognitive Development, 66*, 101318. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2023.101318

Van De Rijt, B. A. M., & Van Luit, J. E. H. (1998). Effectiveness of the Additional Early Mathematics program for teaching children early mathematics. *Instructional Science, 26*(5), 337-358. https://doi.org/10.1023/A:1003180411209

Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). *Tedi-MATH. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques de la MSM au CE2*. ECPA-Pearson.

Van Rinsveld, A., Schiltz, C., Majerus, S., & Fayol, M. (2020). When one-two-three beats two-one-three: Tracking the acquisition of the verbal number sequence. *Psychonomic Bulletin & Review, 27*(1), 122-129. https://doi.org/10.3758/s13423-019-01704-8

Vogel, S. E., & de Smedt, B. (2021). Developmental brain dynamics of numerical and arithmetic abilities. *Npj Science of Learning*, 6, 22. https://doi.org/10.1038/s41539-021-00099-3

Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology, 49*(11), 868-873. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x

Wege, T. E., de Smedt, B., Gilmore, C., & Inglis, M. (2023). Counting many as one: Young children can understand sets as units except when counting. *Journal of Experimental Child Psychology, 225*, 105533. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105533

Wilkey, E. D., & Ansari, D. (2020). Challenging the neurobiological link between number sense and symbolic numerical abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1464*(1), 76-98. https://doi.org/10.1111/nyas.14225

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358*(6389), 749-750. https://doi.org/10.1038/358749a0

Yun, C., Havard, A., Farran, D., Lipsey, M., Bilbrey, C., & Hofer, K. (2011). Subitizing and mathematics performance in early childhood. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 33*, 680-684. https://escholarship.org/uc/item/8hs5h4f2

Est-ce qu'écrire sur un clavier aide les élèves présentant un Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Écrit à améliorer leur orthographe ?

Autrices :
Lucie Broc[1]
Marie Caillet [2]

Affiliations :
[1] Laboratoire CeRCA (Centre de Recherche sur la Cognition et l'Apprentissage) UMR 7295 du CNRS & Université de Poitiers, France.
[2] Centre de Formation Universitaire en Orthophonie & Université de Poitiers, France.

Autrice de correspondance :
Lucie Broc
lucie.broc01@univ-poitiers.fr

Dates :
Soumission : 09/01/2024
Acceptation : 25/07/2024
Publication : 24/10/2024

Comment citer cet article :
Broc, L. & Caillet, M. (2024). Est-ce qu'écrire sur un clavier aide les élèves présentant un Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Écrit à améliorer leur orthographe ? *Glossa*, 141, 50-69. https://doi.org/10.61989/epzt0p92

e-ISSN : 2117-7155

Licence :
© Copyright Lucie Broc, Marie Caillet, 2024
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Contexte : Le Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Écrit (TSApp-LE) est caractérisé par des difficultés d'apprentissage de la lecture (dyslexie) et de l'expression écrite (dysorthographie) pouvant impacter les performances scolaires. Dans ce contexte, différents aménagements pédagogiques peuvent être mis en place. Cependant, lorsque les troubles sont trop importants, l'outil informatique peut être proposé. L'utilisation de cette aide comme moyen de compensation nécessite une prise en soin en ergothérapie notamment pour apprendre à écrire sur un clavier et à maitriser les logiciels d'aide à l'écriture.

Objectif : Cette étude vise à évaluer les performances orthographiques d'élèves TSApp-LE lorsqu'ils écrivent sur un clavier d'ordinateur. Le but principal est de définir les intérêts et les limites de la mise en place de l'outil informatique comme outil de compensation.

Hypothèses : Le déficit orthographique des élèves présentant un TSApp-LE devrait se manifester à la fois en condition manuscrite et tapuscrite. Cependant, la prise en soin régulière et sur du long terme en ergothérapie devrait augmenter l'autonomie des élèves dans la maitrise des outils de compensation et par conséquent leur précision orthographique, dans la modalité tapuscrite.

Méthode : 11 élèves de 10 à 14 ans, présentant un TSApp-LE et utilisant l'outil informatique comme moyen de compensation au quotidien ont participé à cette étude. Ils ont produit deux narrations écrites, une à la main (condition manuscrite) et une sur un clavier d'ordinateur (condition tapuscrite). La longueur des narrations ainsi que la précision orthographique et le type d'erreurs d'orthographe produites ont été relevés.

Résultats : Il n'y a pas de différence significative entre les deux modalités d'écriture sur les deux variables testées. Globalement, les participants TSApp-LE ne produisent pas plus d'erreurs d'orthographe en condition manuscrite qu'en condition tapuscrite. Par ailleurs, ils produisent plus d'erreurs d'orthographe morphologique (flexionnelle et dérivationnelle) que d'erreurs lexicales et phonologiques et ce, quelle que soit la modalité de production.

Une analyse qualitative permet de nuancer ces résultats globaux puisque les participants qui ont bénéficié d'un suivi long et régulier en ergothérapie utilisent plus les aides mises à leur disposition et produisent moins d'erreurs d'orthographe dans la condition tapuscrite que dans la condition manuscrite. Cependant, la maîtrise de l'ordinateur n'est pas seulement liée au suivi en ergothérapie. Elle dépendrait également des comorbidités que présente l'enfant, telle que l'existence d'un trouble du déficit de l'attention, et de sa motivation face à la tâche écrite.

Conclusion : L'utilisation de l'ordinateur comme outil de compensation des difficultés orthographiques dans le TSApp-LE est à questionner individuellement pour chaque enfant présentant un trouble spécifique des apprentissages.

Mots-clefs : Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Écrit (TSApp-LE), narration écrite, clavier d'ordinateur, orthophonie, ergothérapie.

Does writing on a keyboard help students with a Specific Written Language Learning Disability to improve their spelling?

Context: Specific Written Language Learning Disorder is characterised by difficulties in learning to read (dyslexia) and write (dysorthographia), which can have an impact on school performance. In this context, various pedagogical arrangements can be put in place. However, when difficulties are too important, the use of computer can be proposed. Using a computer as a means of compensation requires occupational therapy, in particular to learn how to write on a keyboard and to master writing software.

Objective: The aim of this study was to evaluate the spelling performance of students with a Specific Written Language Learning Disorder on a computer keyboard. The main aim is to define the interests and limitations of using the computer as a compensatory tool.

Hypothesis: The spelling disorder of students with Specific Written Language Learning Disorder should be apparent in both handwritten and typed form. However, regular, long-term occupational therapy treatment should increase pupils' autonomy in mastering compensatory tools and, consequently, their spelling accuracy in the typed mode.

Method: 11 students from 10 to 14 years old with Specific Written Language Learning Disorder who use computers as a means of daily compensation took part in this study. They produced two written narratives, one by hand (handwritten condition) and one on a computer keyboard (typed condition). The length of the narratives, as well as spelling accuracy and the type of spelling errors produced, were recorded.

Results: There was no significant difference between the two writing modes on the two variables tested. Overall, participants with Specific Written Language Learning Disorder made no more spelling errors in the handwritten condition than in the typed condition. Moreover, they produce more morphological spelling errors (inflectional and derivational) than lexical and phonological errors, whatever the mode of production.

A qualitative analysis qualifies these overall results, since the participants who received long and regular occupational therapy treatment made greater use of the aids made available to them and produced fewer spelling errors in the typed condition than in the handwritten condition. Nevertheless, computer proficiency is not only linked to occupational therapy follow-up. It also depends on the child's co-morbidities, such as attention deficit disorder, and his or her motivation to perform the written task.

Conclusion: The use of computers as a tool to compensate for spelling difficulties in children with Specific Written Language Learning Disorder needs to be considered individually for each child with a specific learning disability.

Key-words: Specific Written Language Learning Disorder, written narratives, keyboard, speech-language therapy, occupational therapy.

INTRODUCTION

L'usage des outils informatiques est de plus en plus fréquent dans notre quotidien. Ce phénomène a des répercussions dans le domaine de l'éducation et du soin. Il a été montré par exemple qu'en 2018, 65% des étudiants auraient pris leurs notes sur ordinateur (Barry, 2018) alors qu'ils n'étaient que 24% en 2015 (Roche, 2015). Côté soin, la loi du 11 février 2005 relative à « *l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées* » (JORF, 2005) a affirmé le droit à l'éducation pour tous en favorisant notamment l'inclusion des élèves en situations de handicap. À cet effet, différents outils de compensation peuvent être demandés auprès de la Maison Départementale des Personnes Handicapées (MDPH) par le biais du Plan Personnalisé de Scolarisation (Bacquelé, 2015). Parmi les aides techniques qui sont possibles, la MDPH peut notifier l'utilisation d'un matériel informatique pour des enfants présentant un trouble spécifique d'apprentissage du langage écrit (ex. dyslexie-dysorthographie) (Despres, 2010). L'objectif est de diminuer les difficultés au niveau du geste graphique et/ou de la conversion phono-graphémique, lors du passage à l'écrit mais aussi de la transcription orthographique notamment lexicale et morphologique.

La loi de 2005 a eu pour effet d'augmenter considérablement le nombre d'élèves déclarés en situation de handicap au sein des classes ordinaires, ce qui in fine a nécessité une adaptation des méthodes et supports. L'intégration d'outils informatiques dans la sphère scolaire représente à la fois une avancée révolutionnaire pour les élèves présentant un TSApp-LE, mais aussi un bouleversement majeur dans la représentation des attentes scolaires, traditionnellement évaluées par l'écriture « papier-crayon ». Il apparaît donc fondamental de s'intéresser aux bénéfices et aux limites de ce moyen de compensation afin de préconiser des adaptations optimales aux patients. En effet, on peut aisément se demander si le geste de frappe sur le clavier (écriture tapuscrite) facilite réellement la prise de notes comparativement à l'écriture manuscrite et si l'utilisation de logiciels d'aide à l'écriture, tel que le correcteur par exemple, apporte une aide efficace à la qualité orthographique finale d'une production écrite.

Interroger la pertinence de l'outil informatique comme moyen de compensation des difficultés rencontrées à l'écrit par les enfants et les adolescents présentant un TSApp-LE est né de ces questionnements. En effet, à ce jour, bien que l'ordinateur soit de plus en plus proposé et exploité comme moyen de compensation, peu d'études existent sur sa réelle efficacité. Cette étude a donc pour objectif d'évaluer quels sont les apports et les limites de l'outil informatique comme moyen de compensation lorsqu'il est proposé à des enfants et adolescents de 10 à 14 ans présentant un TSApp-LE.

Quelles différences entre écriture manuscrite et tapuscrite ?

Les deux modalités d'écriture diffèrent par leur support, l'une étant sur papier, l'autre sur clavier. Alors que le contrôle de la production manuscrite se fait sur la même unité spatiale, celui de l'écriture tapuscrite sépare l'espace de production motrice, le clavier (horizontal), et l'espace d'affichage de la rédaction, l'écran (vertical). Cette distinction de l'espace moteur et de l'espace visuel demande donc un partage attentionnel (Wollscheid et al., 2016). En effet, l'attention visuelle serait plus économique en écriture manuscrite puisque l'ordinateur impose des va-et-vient entre clavier et écran ce qui est coûteux chez le dactylographe débutant. De plus, lorsque l'on écrit sur un clavier d'ordinateur le feedback visuel n'est pas permanent, à moins que la frappe ne soit automatisée (Johansson et al., 2010).

Les processus cognitifs et mouvements grapho-moteurs mis en jeu diffèrent également. L'écriture manuscrite est un geste fin reposant sur des acquisitions soutenues par la mémoire procédurale (Puranik & Lonigan, 2011). Tracer une lettre repose sur l'association de celle-ci à la programmation motrice de ses caractères allographiques. L'écriture tapuscrite repose aussi sur un apprentissage procédural, cependant, ce ne sont pas les caractères allographiques de la lettre qui entrent en jeu mais leur position sur le clavier : le mouvement en écriture tapuscrite est une association entre la position d'une touche et le doigt le plus proche et le plus facilement mobilisable (Yamaguchi & Logan, 2014). Par ailleurs, écrire à la main génère une représentation motrice pour chaque lettre, ce qui permet une représentation multimodale des lettres en mémoire (Longcamp et al., 2005, Mayer et al., 2020). Écrire au clavier est plus rapide mais cette vitesse ne présenterait pas d'avantage au niveau de la production textuelle (Alves et

al., 2016 ; Horne et al., 2011). En effet une étude montre au contraire que ralentir la frappe au clavier augmente la diversité et la complexité du lexique utilisé (Medimorec et al., 2017 ; Medimorec & Risko, 2016).

Enfin, la transcription est fondamentalement différente selon l'outil d'écriture utilisé (crayon ou clavier) puisque les écritures manuscrite et tapuscrite requièrent des compétences motrices différentes. L'écriture manuscrite est une activité motrice fine de l'un des deux membres supérieurs. Pour une bonne réalisation des mouvements, elle nécessite un contrôle tonico-postural fonctionnel afin de maintenir la posture, la tonicité des muscles et ainsi libérer le geste graphique mais aussi la synchronisation entre le mouvement et la perception visuelle. Globalement, en écriture manuscrite, la coordination entre l'ensemble des fonctions cognitives sollicitées est primordiale puisqu'il est question de récupérer les programmes moteurs souhaités en mémoire à long terme afin de les exécuter (Vaivre-Douret & Lopez, 2021). Ainsi, la qualité du résultat obtenu est assurée par un contrôle musculaire et visuel. Concernant l'écriture dactylographiée, des compétences procédurales pour trouver les touches correspondant aux lettres voulues sont requises (Yamaguchi & Logan, 2014). Chaque lettre est associée à une touche, elle-même associée à un doigt qui effectue la frappe. Seul un contrôle de la génération de la frappe et de la sortie visuelle est effectué.

Le Trouble Spécifique d'Apprentissage du Langage Écrit (TSApp-LE)

Dans la 5e version du manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5 ; APA, 2013), le TSApp-LE s'inscrit dans les troubles neurodéveloppementaux. Ces troubles primaires et persistants touchent 5 à 7% des enfants d'âge scolaire et les comorbidités sont très fréquentes (INSERM, 2017, 2019). En effet, 40% des enfants diagnostiqués présentent plusieurs TSApp ou une autre comorbidité (trouble développemental du langage oral, trouble développemental de la coordination, déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité -TDA/H).

Le TSApp-LE impacte de façon négative et durable la vie sociale, scolaire et professionnelle des personnes qui en souffrent. L'atteinte de certains processus cognitifs implique une surcharge attentionnelle, une lenteur et une fatigabilité qui altèrent fortement les capacités d'apprentissage particulièrement au collège et au lycée où l'écrit est le support principal de l'évaluation (Graham et al., 2012). Ainsi, l'énergie des enfants présentant un TSApp-LE est principalement consacrée aux aspects formels du langage, en particulier à l'encodage orthographique des mots, possiblement associé à des constructions syntaxiques fragiles, aux dépens de l'expression des connaissances et de la démonstration du raisonnement, ce qui impacte négativement l'organisation de la pensée et la restitution des connaissances à l'écrit (Bacquelé, 2015). Ce sont ces mêmes difficultés qui, entraînant des hésitations et des rectifications permanentes, pourraient être à l'origine de troubles au niveau du graphisme et donc de la lisibilité. En effet, Graham et Perin (2007) ainsi que Peverly et al. (2012) s'accordent sur le fait que les productions académiques des enfants présentant des difficultés relatives aux aspects formels de l'écriture (orthographe, syntaxe), seraient également inférieures à celles de leurs pairs d'âge en termes de contenu.

Lyon et al. (2003) rappellent que le trouble de l'app*rentissage du langage écrit est caractérisé par « des difficultés dans la reconnaissance exacte et/ou fluente de mots ainsi que par une orthographe des mots et des capacités de décodage limitées ».* Ainsi, le TSApp-LE englobe un déficit en lecture et un déficit en orthographe. Un déficit de conscience phonologique est une des hypothèses explicatives de ce trouble : le déficit phonologique sous-jacent influencerait les compétences en conversion phono-graphémiques. Par ailleurs, les capacités de relecture plus ou moins déficitaires entravent la qualité de la révision du texte produit. En effet, les étudiants présentant un TSApp-LE parviendraient à détecter et corriger certaines erreurs orthographiques dans leurs textes mais cette révision serait moins efficace que celle de leurs pairs (Mazur-Palandre & Chenu, 2020). De plus, ces étudiants produiraient significativement plus d'erreurs phonologiques, lexicales et morphologiques (flexionnelles et dérivationnelles) que les étudiants typiques (Mazur-Palandre, 2018).

Le développement de l'orthographe

L'écriture du français repose sur la combinaison de lettres et de signes diacritiques (accents, cédille et tréma) de notre système alphabétique, qui représentent le langage oral (Treiman & Bourassa, 2000). L'apprentissage de l'orthographe en langue française est long en raison de l'opacité de la

langue (Hanner et al., 2021). En effet, en français la transcription phono-graphémique n'est pas toujours biunivoque et dans de nombreux cas, la transcription phonologique peut se faire avec plusieurs graphèmes. Le développement de l'orthographe s'appuie donc sur la conversion phono-graphémique et la constitution d'un lexique orthographique en mémoire. Cependant, ces connaissances ne suffisent pas à écrire sans erreur. En effet, les connaissances morphologiques flexionnelles et dérivationnelles améliorent la précision de l'orthographe lexicale par l'attribution de sens, réduisant alors les possibilités orthographiques (Benson-Goldberg, 2014).

La *Triple Word Form Theory of spelling development,* issue des travaux de Berninger et Abbott (2010), Garcia et al. (2010) et Richards et al. (2006) postule la coordination de la conscience phonologique, la conscience lexicale et la conscience morphologique dès le début de l'apprentissage du langage écrit. La composante phonologique correspond à l'application des règles de conversion phono-graphémique. La composante lexicale de l'orthographe correspond à l'acquisition de caractéristiques orthographiques spécifiques, et repose sur la construction d'un stock orthographique. Enfin, la composante morphologique correspond à la capacité de traitement des parties variables du mot, marquant une fonction grammaticale ou dérivant le sens même de la racine par l'ajout d'un affixe. Selon les auteurs, les trois composantes interviendraient simultanément dans les traitements nécessaires pour orthographier les mots, d'autant plus lorsque les mots sont complexes et dérivés (Benson-Goldberg, 2014). Ainsi, des difficultés sur une ou plusieurs de ces compétences impacteraient la qualité orthographique des mots (Zhao et al., 2017).

Grâce à la *Triple Word Form Theory of spelling development* (Berninger & Abbott, 2010 ; Garcia et al., 2010 ; Richards et al., 2006), on distingue trois catégories d'erreurs orthographiques : les erreurs phonologiques, lexicales et morphologiques. Les erreurs phonologiques sont liées à un déficit en conscience phonologique qui induit des difficultés de conversion phono-graphémique. Les erreurs lexicales sont liées à des difficultés de stockage ou d'accès au lexique orthographique. Enfin, les erreurs morphologiques sont liées à la conscience morphologique qui supervise la morphologie dérivationnelle et flexionnelle. Le *Phonological Orthographic Morphological Analysis of Spelling* (POMAS ; Bahr et al., 2012) permet de catégoriser les erreurs d'orthographe selon les trois grandes catégories identifiées dans la *Triple Word Form Theory of spelling development* (Berninger & Abbott, 2010 ; Garcia et al., 2010 ; Richards et al., 2006). Cette catégorisation s'appuie sur un système d'analyse qui permet d'évaluer les caractéristiques linguistiques sous-jacentes utilisées pour chaque tentative orthographique, indépendamment de la légalité des séquences de lettres. Une telle analyse permet de montrer qu'une production orthographique peut comporter plusieurs erreurs linguistiques différentes. En d'autres termes, un mot écrit peut comporter plusieurs erreurs. Joye et al. (2022) ont adapté le POMAS aux caractéristiques spécifiques de la langue française et créé le codage POMAS-FR.

Selon la sévérité des difficultés orthographiques des enfants qui présentent un TSApp-LE, des compensations spontanées peuvent s'imposer à l'enfant comme s'accorder davantage de temps pour les tâches écrites. Cette compensation temporelle devient difficilement possible lorsque le rythme scolaire s'intensifie, notamment au collège où l'on attend une automatisation rapide des aspects formels au service de l'apprentissage et de la restitution des nouvelles connaissances. La quantité d'informations à traiter simultanément dans le respect d'une contrainte temporelle tend alors à accentuer les troubles des enfants avec un TSApp-LE, les amenant à se concentrer sur la tâche d'écriture aux dépens, malgré eux, des apprentissages. Le recours à l'outil informatique peut être une solution. Bacquelé (2015) affirme que la réussite de l'utilisation de l'outil informatique repose à la fois sur les performances du matériel proposé, mais également sur l'implication des différents acteurs et la prise en compte du matériel au niveau logistique et pédagogique.

L'ordinateur comme moyen de compensation

L'utilisation de l'outil informatique au quotidien est, dans la plupart des cas, notifiée par la MDPH dans le cadre d'un projet de scolarisation individualisé. Cet outil répond très souvent à un double objectif : (1) simplifier la transcription du langage oral vers le langage écrit et (2) décharger l'enfant du geste graphique. Parmi les aides informatiques permettant de compenser les difficultés de transcription, on distingue les logiciels augmentatifs des logiciels prothétiques. D'après Benoit et Sagot (2008), les logiciels augmentatifs permettent de faciliter et d'optimiser

des facultés que les enfants utilisent de manière amoindrie. C'est notamment le cas des correcteurs orthographiques ou des logiciels de prédiction de mots. Les logiciels prothétiques permettent quant à eux de pallier une capacité déficiente. À titre d'exemple, les logiciels de synthèse vocale et de dictée vocale occupent cette fonction prothétique (Bacquelé, 2015).

Les correcteurs orthographiques mettent en évidence les erreurs d'orthographe en proposant une correction. Les prédicteurs de mots peuvent être utilisés selon deux procédés : le procédé de correspondance orthographique ou le principe de cooccurrence. Dans le premier procédé, le prédicteur orthographique soumet des mots en lien avec les premières lettres transcrites, permettant ainsi à l'enfant d'effectuer un choix parmi des termes correctement orthographiés. Dans le second, il présente des mots en lien avec la syntaxe de la phrase (Bélanger, 2020). Enfin, d'autres logiciels peuvent également être utilisés comme moyens de suppléance à la transcription tels que : SpeakKQ, Antidote, Cordial, Kurzweil 3000 ainsi que les logiciels directement intégrés dans les systèmes d'exploitation informatiques (Casalis et al., 2019).

L'utilisation de l'ordinateur et la mise en place des logiciels d'aide ont pour objectif de soulager l'élève mais l'écriture au clavier doit faire l'objet d'un apprentissage préalable spécifique en ergothérapie. En effet, un des principaux freins à la mise en place d'un ordinateur est l'absence de maîtrise initiale du clavier. L'outil informatique, tant qu'il n'est pas maîtrisé, est cognitivement très coûteux pour le dactylographe débutant. Cependant, malgré le suivi d'un programme d'apprentissage aboutissant à l'automatisation de la frappe, certaines études menées auprès de populations au développement typique - jeunes enfants en début d'apprentissage du langage écrit (Alves et al., 2016) et étudiants en début de cursus universitaire (Kellogg & Mueller, 1993) - s'accordent sur le fait que l'écriture dactylographique reste plus coûteuse que l'écriture manuscrite et ne présenterait pas de bénéfice sur le plan cognitif. A contrario, trois méta-analyses (Bangert-Drowns, 1993 ; Goldberg et al., 2003 ; Morphy & Graham, 2012), mettent en avant que les narrations écrites sont plus longues et de meilleures qualités orthographiques en condition tapuscrite qu'en condition manuscrite.

Par ailleurs, quelques auteurs se sont intéressés à l'effet de l'écriture au clavier sur la qualité des textes produits par des enfants. Connelly et al. (2007) ont notamment observé qu'en l'absence d'apprentissage de l'écriture au clavier, les enfants de 9 ans et 10 ans qui ne présentent pas de TSApp-LE ont une plus grande fluidité rédactionnelle et rédigent des textes de meilleure qualité avec l'écriture manuscrite. Van Weerdenburg et al. (2019) ont également montré qu'augmenter la fluidité de frappe des enfants de 8 à 10 ans qui ne présentent pas de TSApp-LE par un apprentissage explicite permet d'améliorer la qualité globale et orthographique des rédactions. Cependant, à 7 ans et demi si l'écriture manuscrite est entraînée en parallèle de l'écriture tapuscrite chez les enfants qui ne présentent pas de TSApp-LE, c'est la première qui aboutit à une rédaction de textes de meilleure qualité globale (Alves et al., 2016).

Concernant le déficit orthographique, on s'attend à ce que l'aide d'un correcteur soulage le processus de révision puisque davantage de ressources cognitives sont allouées au contenu du texte et à l'organisation des idées. Cependant, Rønneberg et al. (2018) ont montré que, chez des enfants présentant un TSApp-LE, les erreurs soulignées immédiatement perturbent la production textuelle : l'attention est focalisée sur un terme précis au détriment du sens, la planification conceptuelle est interrompue ; ce qui altère la qualité globale du texte.

Guillermin et Leveque-Dupin (2012) rappellent que « *l'automatisation de la frappe au clavier est nécessaire afin que l'ordinateur apporte les bénéfices escomptés* », ce qui implique que l'apprentissage doit être effectué dès l'attribution du matériel. Cependant, il apparaît que peu d'enfants bénéficient d'un accompagnement en ergothérapie pour prendre en main l'ordinateur (Bacquelé, 2015). Dans ce cas, l'apprentissage se fait généralement dans le cadre familial. De plus, un certain nombre d'enfants ne parviennent pas à exploiter cet outil en classe, notamment en raison du regard d'autrui, de freins logistiques (proximité d'une prise électrique ou paramétrage des logiciels) ou de freins pédagogiques (adaptations des supports pédagogiques à l'usage informatique).

OBJECTIF ET HYPOTHÈSES

La maitrise de l'écriture dactylographiée est cognitivement coûteuse (apprentissage procédural, gestion des espaces visuel et moteur dissociés, gestion attentionnelle liée à l'utilisation du correcteur orthographique). Pourtant, lorsqu'un enfant présente un TSApp-LE un outil informatique

peut être proposé. On peut alors se demander si l'écriture au clavier constitue véritablement une aide chez les élèves présentant un TSApp-LE. L'objectif de la présente étude est de comparer les performances orthographiques des élèves avec un TSApp-LE lorsqu'ils écrivent sur clavier et sur papier.

La première hypothèse porte sur les difficultés orthographiques des enfants présentant un TSApp-LE. D'une part, le déficit phonologique influence directement les compétences phonographémiques de ces enfants et entraîne un nombre d'erreurs d'orthographe phonologiques significativement supérieur à celui produit par les enfants typiques du même âge. D'autre part, le déficit phonologique peut entraîner également des erreurs lexicales et morphologiques selon le principe de recodage phonologique de Share (2004). Au cours de l'apprentissage, les erreurs phonologiques vont diminuer mais ce traitement de correspondance phonème-graphème reste coûteux en termes de contrôle cognitif et par conséquent les erreurs lexicales et morphologiques persistent. On s'attend donc à ce que, globalement, le déficit phonologique des enfants présentant un TSApp-LE impacte directement l'efficacité de l'ordinateur comme moyen de compensation. Ainsi, de façon globale, les erreurs d'orthographe produites par les enfants TSApp-LE devraient rester majoritaires et ce, quelle que soit la modalité d'écriture considérée.

La seconde hypothèse de l'étude concerne l'impact de la maîtrise de l'outil informatique avec la mise en place d'un suivi en ergothérapie. On s'attend ici à ce que la prise en soin régulière en ergothérapie augmente l'autonomie des élèves dans la maitrise des outils de compensation et par conséquent leur précision orthographique dans la modalité tapuscrite. De ce fait, les participants TSApp-LE qui bénéficient d'une prise en soin régulière en ergothérapie et sur du long terme devraient produire moins d'erreurs phonologiques, lexicales et morphologiques par mot en condition tapuscrite que manuscrite.

MÉTHODE

L'expérience a été réalisée conformément aux normes éthiques de la déclaration d'Helsinki de l'AMM (1964). Avant la passation, tous les parents ont été informés par une fiche d'information de la mise en place de l'étude et de ses objectifs. Ils ont tous complété une fiche de consentement autorisant leur enfant à participer à cette étude. Par ailleurs la conformité du traitement des données récoltées au règlement général sur la protection des données a été validée sous la référence 202346.

Description des participants

Onze participants TSApp-LE (quatre filles ; sept garçons), tous scolarisés en classe ordinaire du CM2 à la 3e, ont participé à cette étude ($M_{âge}$ = 12,37 ; $SD_{âge}$ = 1,52). La répartition dans les classes est la suivante : un participant était en classe de CM2, deux en 6e, un en 5e, trois en 4e et enfin quatre participants étaient en 3e. Les critères d'inclusion retenus étaient les suivants : 1/ un diagnostic de trouble spécifique de l'apprentissage du langage écrit (avec ou sans comorbidité), posé par un orthophoniste ; 2/ le français comme langue maternelle ; 3/ la classe de scolarisation (du CM2 à la 3e) et 4/ l'utilisation de l'outil informatique et de logiciels d'aide augmentative à l'écriture à l'école et/ou pour faire les devoirs à la maison (exclusion des participants qui utilisaient la dictée vocale comme moyen de transcription). Le recrutement a été réalisé par l'intermédiaire d'orthophonistes et d'ergothérapeutes des régions Centre-Val de Loire, Pays de la Loire et Nouvelle-Aquitaine. Afin de s'assurer que les critères d'inclusion étaient respectés, des questionnaires ont été adressés d'une part aux orthophonistes des participants à cette étude et d'autre part à leurs responsables légaux. Le tableau 1 présente de façon synthétique le profil de chaque participant en fonction des différents critères d'inclusion.

Critère d'inclusion 1

Tous les participants TSApp-LE ont bénéficié ou bénéficiaient encore (sept d'entre eux) d'un suivi en orthophonie. Les questions posées dans le questionnaire adressé aux orthophonistes portaient sur les tests utilisés et les scores obtenus pour le diagnostic de TSApp-LE, les diagnostics posés avec présence ou non de comorbidité et la durée du suivi. Les réponses apportées nous ont permis de déterminer que tous les participants présentaient un déficit phonologique et a minima un déficit en lecture associé à un déficit en orthographe.

Critères d'inclusion 2, 3 et 4

Le questionnaire adressé aux responsables légaux avait pour objectif de contrôler la langue maternelle des participants, leur classe de scolarisation, la

TABLEAU 1 : Caractéristiques individuelles des participants TSApp-LE (dyslexiques-dysorthographiques).

Participant	Âge	Classe	Comorbidité 1	Comorbidité 2	Suivi en orthophonie Durée	Suivi en ergothérapie Durée Fréquence	Notification MDPH et/ ou PAP pour ordi
1	14,33	3e			En cours 7 ans	Oui 2 ans 1 séance / 15 j	Notification MDPH
2	13,91	4e	Dysgraphie	Difficultés en langage oral	En cours 2 ans	Oui 2 ans 22 séances	Notification MDPH
3	13,66	4e	Difficultés en langage oral		En cours 7 ans	Non	PAP
4	14,33	3e	Haut potentiel intellectuel		En cours 2 ans	Oui 10 séances + suivi ponctuel	PAP
5	13,42	4e	Dysgraphie	Trouble attentionnel	Terminé 4 ans	Oui 2 ans 1 séance hebdo	Notification MDPH + PAP
6	10,25	CM2	Dysgraphie	Trouble attentionnel	En cours 7 ans	Oui 1 séance hebdo	
7	11,08	6e	Trouble attentionnel		En cours 5 ans	Oui Formation en ligne payante hors ergo	
8	14,16	3e			Terminé 4 ans	Oui 1 an 1 séance hebdo	Notification MDPH
9	14,66	3e	Dysgraphie	Trouble attentionnel	Terminé 3 ans	Non	
10	12,58	5e	Dysgraphie		Terminé 4 ans	Non	Notification MDPH
11	11,25	6e	Trouble attentionnel	Dyscalculie	En cours 7 ans	Oui 1 an 1 séance hebdo	

présence ou non d'une notification MDPH et/ ou d'un Plan d'Accompagnement Personnalisé (PAP) relatif à la mise en place d'un ordinateur comme moyen de compensation, les contextes d'utilisation de celui-ci et l'existence ou non d'un suivi ergothérapique ainsi que sa durée, la fréquence et le contenu des séances (apprentissage des logiciels d'aide à la transcription). Enfin ce questionnaire a permis de mesurer comment les logiciels d'aide avaient été acquis et financés.

Les réponses apportées montrent que, sur les onze participants présentant un TSApp-LE, un seul bénéficiait à la fois d'une notification MDPH et d'un PAP pour utiliser l'outil informatique dans le cadre scolaire, quatre bénéficiaient d'une notification MDPH et deux d'un PAP. En revanche, trois participants ont essuyé plusieurs refus de la part de la MDPH et un n'a pas réalisé de demande en raison de la lourdeur administrative que cela représente. Les quatre participants bénéficiant d'une notification utilisaient un ordinateur prêté par la MDPH. Les sept autres participants utilisaient un ordinateur financé par leurs familles (quatre ont acheté un ordinateur portable et trois une tablette associée à un clavier).

Au niveau de la mise en place d'une aide à l'utilisation de l'ordinateur, huit participants ont bénéficié d'une prise en soin en ergothérapie, selon des durées variables allant d'une dizaine de séances à deux ans, et trois n'ont pas bénéficié de suivi en ergothérapie. À noter cependant que l'un d'entre eux a suivi une formation en ligne payante sous format vidéo pour apprendre à taper sur le clavier. Concernant l'utilisation des

logiciels spécifiques d'aide à l'écriture, les quatre participants qui ont une notification utilisent ceux présents sur l'ordinateur prêté par la MDPH, deux familles ont acheté des logiciels spécifiques d'aide à l'écriture, cinq utilisaient des logiciels gratuits en libre accès et une famille ne se souvient plus si elle a ou non acheté des logiciels.

Enfin, l'outil informatique était différemment utilisé par chaque participant puisque sept l'utilisaient très fréquemment dans le milieu scolaire, deux l'utilisaient pour seulement quelques matières prédéfinies, notamment parce que certains enseignants refusent l'ordinateur dans leur cours et deux n'utilisaient l'outil informatique que chez eux pour faire leurs devoirs à la maison pour cause de refus de l'établissement ou pour des raisons logistiques (lenteur de l'ordinateur, absence de connexion internet pour utiliser les logiciels ou absence de prise électrique à proximité).

Description de la tâche expérimentale

Dans cette étude, une tâche de narration écrite a été proposée aux participants. Le choix s'est porté sur cette tâche pour deux raisons. D'une part, dans le cadre scolaire les élèves sont amenés, dès le début du cycle 3 à produire régulièrement des narrations écrites (BOEN, 2020). La narration est donc une tache écologique au regard de l'âge des participants TSApp-LE. D'autre part, Broc et al. (2013) ont montré que dans le cadre scolaire, les élèves qui présentent un trouble développemental du langage oral produisaient moins d'erreurs d'orthographe par mot dans une situation de narration que dans une situation de dictée qui leur impose d'écrire des mots en dehors de tout contexte pragmatique. Nous nous sommes donc appuyés sur ce résultat obtenu chez des élèves présentant un TDLO qui étaient également tous scolarisés en classes ordinaires comme les participants TSApp-LE de cette recherche.

Tous les participants ont produit deux narrations, une sur papier (condition manuscrite) et une sur un clavier d'ordinateur (condition tapuscrite). Ces tâches sont issues du test de la WIAT-II version francophone pour québécois (Test de rendement individuel, Wechsler, 2005). Deux thèmes ont été proposés : *« Lorsqu'il pleut, j'aime… »* et le second *« Mon jeu préféré est… »*. Pour les deux narrations (papier *vs* clavier) les participants ont eu la même consigne : *« Sur cette page, j'aimerais que tu écrives un paragraphe bien construit. La première phrase a été commencée pour toi : « Lorsqu'il pleut, j'aime… » (thème 1) vs « Mon jeu préféré est… » (thème 2). Finis cette première phrase et ajoutes-en d'autres pour faire un paragraphe complet. Tu ne perdras pas de points si tu rayes et réécris des parties de ton paragraphe. Il est important d'utiliser l'orthographe juste, les lettres majuscules et la ponctuation adéquate. Essaie d'écrire un paragraphe de 5 à 10 phrases de bonne qualité. ».*

Avant de commencer à écrire, les participants ont reçu cinq questions en lien avec chacun des thèmes (1 *vs* 2) pour les aider à planifier et à organiser leurs idées :

- Qu'est-ce que tu aimes faire ? *vs* Quel est ton jeu préféré ?

- Pourquoi est-ce que tu aimes faire ça ? *vs* Pourquoi ce jeu est-il ton préféré ?

- Tu aimes faire ça avec qui ? *vs* Tu aimes jouer à ce jeu avec qui ?

- Où est-ce que tu aimes faire ça ? *vs* Où est-ce que tu aimes jouer à ce jeu ?

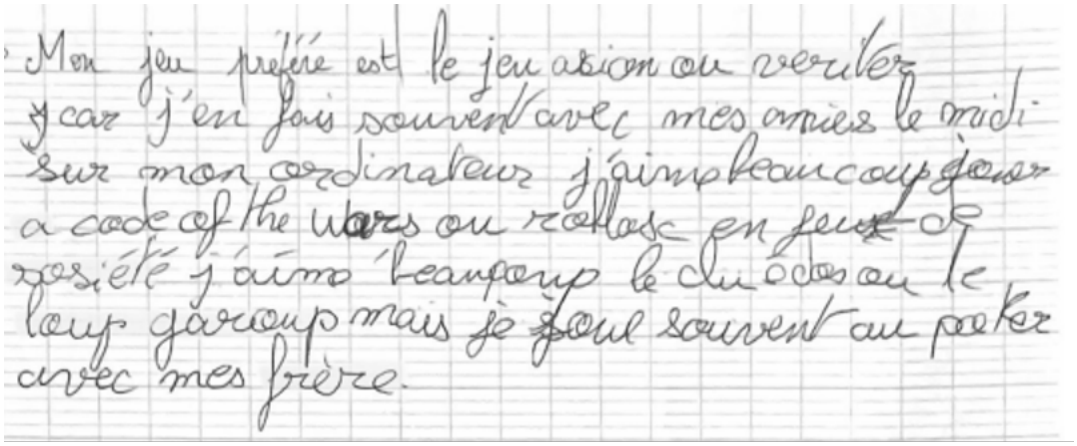
- Quand est-ce que tu aimes faire ça ? *vs* Quand aimes-tu jouer à ce jeu ?

Les questions ont d'abord été lues par l'expérimentateur puis laissées à la disposition du participant afin qu'il puisse s'y référer à tout moment. Les exemples 1 et 2 ci-dessous illustrent les productions écrites des participants dans les deux modalités d'écriture, manuscrite et tapuscrite.

Procédure expérimentale

Les passations ont été réalisées au printemps 2023. Elles ont eu lieu en individuel, en cabinet libéral lors d'une séance d'orthophonie ou d'ergothérapie ou au domicile des participants. Le temps maximal accordé à chaque production était de vingt minutes.

En condition manuscrite, les participants utilisaient un de leurs stylos personnels et produisaient leur texte sur une feuille A4 simple à grands carreaux fournie par l'expérimentateur. En condition tapuscrite, les participants ont écrit sur leur ordinateur portable ou leur tablette personnelle avec le traitement de texte et les logiciels d'aide habituellement utilisés en contexte scolaire. Ainsi, la nature de l'outil informatique, du clavier et le type de document ont été contrôlés en vue de favoriser un contexte de passation écologique. Toute utilisation d'un logiciel d'aide


Mon jeu préféré est le jeu action ou vérité
car j'en fais souvent avec mes amies le midi
sur mon ordinateur j'aime beaucoup jouer
a code of the wars ou roblox en jeux de
société j'aime beaucoup le cluédo ou le
loup garoup mais je joue souvent au poker
avec mes frère.

Transcription corrigée de la narration manuscrite : *« Mon jeu préféré est le jeu action ou vérité car j'en fais souvent avec mes amies le midi. Sur mon ordinateur j'aime beaucoup jouer à Code of War ou Roblox. En jeu de société j'aime beaucoup le Cluedo ou le Loup-Garou mais je joue souvent au Poker avec mes frères. »*

EXEMPLE 1 : Narration manuscrite de Camille – 13 ans 5 mois, scolarisée en 4ème.

Lorsqu'il pleut j'aime bien dessin des robe pour les coudre j'aime aussi regarder des filme ou faire des appelle avec mes amie et faire du piano et apprendre de nouvelle musique ou faire des jeux de société avec mais frère sinon j'aime bien resté dans ma chambre et dormir ou lire des manga et des roman .quand je joue du piano je joue le plus souvent des musique triste ou calme car la mélodie est plus facile .ou faire des dessin sur les couverture de mes cahier en écrivent les matières de différente façon .

Transcription corrigée de la narration tapuscrite : *« Lorsqu'il pleut j'aime bien dessiner des robes pour les coudre. J'aime aussi regarder des films ou faire des appels avec mes amies et faire du piano et apprendre de nouvelles musiques ou faire des jeux de société avec mes frères. Sinon j'aime bien rester dans ma chambre et dormir ou lire des mangas et des romans. Quand je joue du piano, je joue le plus souvent des musiques tristes ou calmes car la mélodie est plus facile, ou faire des dessins sur les couvertures de mes cahiers en écrivant les matières de différentes façons. »*

EXEMPLE 2 : Narration tapuscrite de Camille, 13 ans 5 mois, scolarisée en 4ème.

pendant la production écrite a été consignée par l'examinateur. Les productions écrites ont été réalisées dans un document open office avec une police « Arial » (11).

Codage des données

Dans un premier temps, nous avons mesuré la longueur des narrations écrites en comptant le nombre total de mots produits dans chaque narration. Ce codage a permis de comparer les productions manuscrites à l'étalonnage du test de la WIAT (Wechsler, 2005) afin de positionner les participants par rapport à la norme des enfants de leur âge. L'étalonnage de ce test permet de catégoriser les productions écrites en quartiles : le quartile 1 correspond aux 25% de la population qui produisent le moins de mots dans la tranche d'âge considérée et le quartile 4 correspond aux 25% de la population qui produisent le plus de mots dans la tranche d'âge considérée.

Dans un second temps, nous avons mesuré la précision orthographique, c'est-à-dire le nombre de mots correctement orthographiés. Seuls les noms communs ont été codés (les noms propres tels que les prénoms par exemple pouvant avoir des orthographes différentes).

Enfin, nous avons relevé les erreurs d'orthographe produites à partir du codage POMAS-FR (Joye et al., 2022). Ce système de codage des erreurs d'orthographe, basé sur la *Triple Word Form Theory of spelling development* (Berninger & Abbott, 2010 ; Garcia et al., 2010 ; Richards et al., 2006), permet de catégoriser les erreurs

d'orthographe produites selon qu'elles sont phonologiques, lexicales ou morphologiques (tableau 2). Les erreurs phonologiques sont définies comme étant des erreurs qui s'entendent lorsque le mot est lu à haute voix. Les erreurs lexicales regroupent les erreurs pour lesquelles le participant n'a pas fait appel à ses connaissances orthographiques stockées en mémoire. Enfin, les erreurs morphologiques regroupent les erreurs pour lesquelles le participant n'a pas fait appel à ses connaissances morphologiques stockées en mémoire (accords, homophones, dérivation). Une seule et même erreur n'a pu être codée qu'une unique fois. En revanche, plusieurs erreurs pouvaient être codées sur un même mot notamment lorsqu'il y avait des erreurs sur différentes parties de ce mot. Lorsque différentes classifications étaient possibles, les erreurs de

TABLEAU 2 : Exemples d'erreurs d'orthographe phonologiques, lexicales et morphologiques produites par les participants et codées selon le codage POMAS-FR (Joye et al., 2022).

Nature de l'erreur	Sous-catégorie de l'erreur	Exemple d'erreur	Erreur corrigée
Phonologique	Omission, ajout, substitution d'un ou plusieurs phonèmes	ame	aime
		truce	truc
		aine	aime
	Accent, cédille	telephone	téléphone
		mere	mère
		commencait	commençait
	Segmentation erronée	que il	qu'il
Lexicale	Omission, ajout, substitution d'un ou plusieurs phonèmes	depui	depuis
		pensse	pense
		tenp	temps
	Accent, cédille, trait d'union	comançé	commencé
		pécher	pêcher
		grand parans	grands-parents
	Segmentation erronée	datendre	d'attendre
		jadore	j'adore
		récré ation	récréation
Morphologique	Accord en genre ou en nombre sur les noms, adjectifs, adverbes, pronoms …	pied	pieds
		il	ils
		jeux	jeu
	Flexions verbales	ais	ai
		cumuler	cumulais
		jous	joue
	Homophones	se	ce
		a	à
		ou	où
	Partie dérivationnelle	lon	long
		méchamp	méchant
		cour	court

segmentation (parce qu'elles entraînent la création d'un néologisme) étaient considérées comme prioritaires par rapport aux erreurs phonologiques qui elles-mêmes primaient sur les autres types d'erreurs.

Utilisation des logiciels augmentatifs

Pour chaque participant TSApp-LE, nous avons relevé l'ensemble des mots pour lesquels il a eu recours à une aide orthographique puis le type d'aides utilisées pendant la passation (prédicteur de mot, correcteur automatique, correcteur orthographique) et leur fréquence d'utilisation. Un tableau a été construit pour recenser *in situ* les utilisations de l'outil informatique et des logiciels d'aides, ceci afin de recenser les modifications orthographiques réalisées grâce aux aides informatiques, que ce soient les prédicteurs ou les correcteurs orthographiques. Il a été spécifié si la modification permettait d'aboutir à l'orthographe juste. Ces informations permettent de définir à la fois la maîtrise que les enfants ont de leur outil informatique mais aussi la connaissance orthographique qu'ils ont des mots puisque les choix multiples proposés par les correcteurs orthographiques par exemple impliquent de connaitre la bonne orthographe du mot concerné.

RÉSULTATS

Productions écrites

Le tableau 3 présente les statistiques descriptives des variables considérées dans chaque modalité de production.

L'unité d'analyse est le mot. Les traitements statistiques (des ANOVA) ont été réalisés sur les différentes variables dépendantes de l'expérience à l'aide du logiciel jamovi (The jamovi project, 2021 ; R Core Team, 2021). Les résultats ont été considérés comme significatifs au seuil $p < .05$. Les moyennes et les écarts-types sont présentés dans le tableau 3.

Longueur des narrations

La longueur des narrations est une variable contrôle. D'une part, nous avons comparé le nombre de mots produits en condition manuscrite par rapport aux normes du test utilisé la WIAT-II (Wechsler, 2005) et d'autre part, nous avons comparé le nombre de mots produits en condition manuscrite et en condition tapuscrite. La première vérification avait pour objectif de mesurer comment les participants à la recherche se situaient par rapport aux normes du test utilisé. En effet, une trop grande variation par rapport aux normes du test aurait pu avoir un impact sur la qualité orthographique des productions. La seconde vérification avait pour objectif de mesurer si la modalité de production écrite impactait la longueur des narrations. En effet, une différence trop importante en nombre de mots produits entre les deux modalités aurait probablement eu un impact sur la qualité orthographique des productions.

En narration manuscrite, la répartition des participants TSApp-LE par rapport aux normes de la WIAT-II (Wechsler, 2005) est la suivante : 4 participants sont dans le quartile 1, 6 dans le quartile 2, et 1 dans le quartile 3. Globalement,

TABLEAU 3 : Moyennes, écarts-types et distributions des participants dans chaque modalité de production.

	Condition manuscrite		**Condition tapuscrite**	
	M (SD)	**Distribution**	***M (SD)***	**Distribution**
Longueur des narrations	66 (19,83)	47-115	77 (24,18)	37-122
Précision orthographique (Nombre de mots correctement orthographiés sur le nombre total de mots produits)	0,78 (0,11)	0,65-0,96	0,79 (0,11)	0,57-0,97
Erreurs d'orthographe (Nombre d'erreurs d'orthographe par mot)				
Phonologique	0,04 (0,03)	0,00-0,11	0,04 (0,04)	0,00-0,14
Lexicale	0,10 (0,09)	0,02-0,27	0,03 (0,04)	0,00-0,11
Morphologique	0,14 (0,08)	0,00-0,27	0,13 (0,08)	0,02-0,06

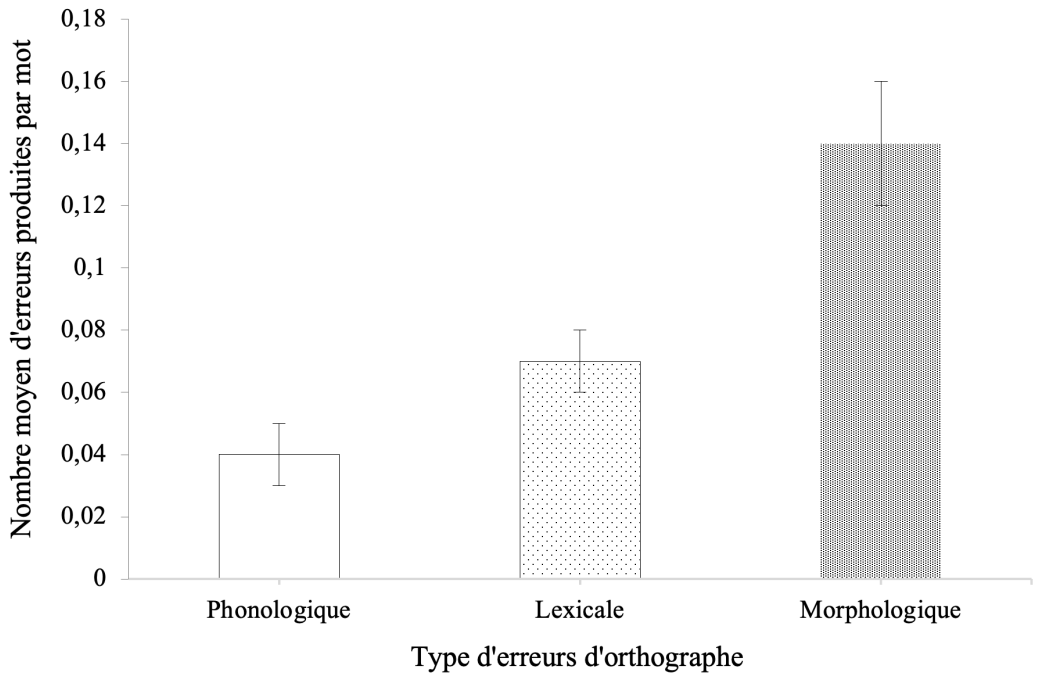


FIGURE 1 : Répartition du type d'erreurs d'orthographe par mot dans les narrations des participants présentant un TSApp-LE (selon le codage POMAS-FR, Joye et al., 2022).

dans la modalité manuscrite, la longueur des narrations des participants présentant un TSApp-LE se situe dans les normes basses de la WIAT-II (Wechsler, 2005).

La variable « nombre total de mots produits » a été traitée à l'aide d'une analyse de variance à un facteur, la modalité de production : papier *vs* clavier. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre le nombre de mots produits dans la modalité manuscrite et le nombre de mots produits dans la modalité tapuscrite chez les participants présentant un TSApp-LE ($F(1, 10) = 3,53$; $p = .09$; $\eta^2 = .06$). Les narrations des participants présentant un TSApp-LE ne sont pas plus longues lorsqu'ils écrivent avec un clavier que lorsqu'ils écrivent sur papier ($M = 72$; $SD = 22$).

Précision orthographique

La variable « nombre de mots correctement orthographiés sur le nombre total de mots produits » a été traitée à l'aide d'une analyse de variance à un facteur, la modalité de production : papier *vs* clavier. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre le nombre de mots correctement orthographiés par rapport au nombre total de mots écrits sur papier et le nombre de mots correctement orthographiés par rapport au nombre total de mots écrits sur clavier chez les participants présentant un TSApp-LE ($F(1, 10) = 0,007$; $p = .94$; $\eta^2 = .00$). La précision orthographique dans les narrations des participants présentant un TSApp-LE n'est pas meilleure lorsqu'ils écrivent avec un clavier ($M = 0,78$; $SD = 0,11$).

Erreurs d'orthographe

La variable « nombre d'erreurs d'orthographe par mot » n'a pas été comparée aux normes du test utilisé, car le choix du système de codage dans cette recherche s'est porté sur le POMAS-FR (Joye et al., 2022) et pas sur celui proposé dans la WIAT-II (Wechsler, 2015) qui est différent.

La variable « nombre d'erreurs d'orthographe par mot » a été traitée à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs : modalité d'écriture (papier *vs* clavier) x type d'erreurs (phonologique *vs* lexicale *vs* morphologique).

L'effet de la modalité d'écriture n'est pas significatif ($F(1, 10) = 1,65$; $p = .23$; $\eta^2 = .03$) : les participants présentant un TSApp-LE ne produisent pas moins d'erreurs d'orthographe sur clavier que sur papier ($M = 0,08$; $SD = 0,08$). L'effet du type d'erreurs d'orthographe est significatif ($F(2, 20) = 18,24$, $p < .001$, $\eta^2 = .65$) (figure 1). Les comparaisons post-hoc mettent en avant une différence significative entre les erreurs morphologiques (flexionnelles et dérivationnelles) ($M = 0,13$; $SD = 0,08$) et les erreurs

lexicales (M = 0,07 ; SD = 0,07) (F(1, 10) = 4,43 ; p_{bonf} = .004), entre les erreurs morphologiques et les erreurs phonologiques (M = 0,04 ; SD = 0,04) (F(1, 10) = 5,13 ; p_{bonf} = .001) mais pas entre les erreurs lexicales et les erreurs phonologiques (p = .28). Les participants présentant un TSApp-LE produisent plus d'erreurs morphologiques par mot que d'erreurs lexicales et que d'erreurs phonologiques. Enfin, l'interaction modalité d'écriture x type d'erreurs d'orthographe n'est pas significative (F(1, 10) = 2,84 ; p = .08 ; η^2 = .05).

Utilisation des logiciels augmentatifs dans la modalité tapuscrite

Le tableau 4 répertorie les logiciels d'aide à l'écriture utilisés par chaque participant TSApp-LE ainsi que le nombre d'utilisation de chacune de ces aides pendant la production écrite au clavier.

Dans la narration tapuscrite, huit participants TSApp-LE ont utilisé les aides informatiques à leur disposition (*cf.* Annexe A pour le recensement des aides utilisées et leurs fréquences). Le prédicteur de mot, le correcteur orthographique et le correcteur automatique sont les trois types d'aide relevés. Le prédicteur de mot émet des propositions de mots en fonction des premières lettres saisies au clavier (logiciels Dys-Vocal [https://www.dyslogiciel.fr], Pages, Microsoft OneNote et Notes). Le correcteur orthographique souligne les mots non reconnus par le dictionnaire et/ou mal orthographiés selon le contexte syntaxique, et propose des corrections adaptées (Microsoft Word, LibreOffice, Open Office et Notes). Enfin, le correcteur automatique inscrit directement une suggestion orthographique lorsque la barre « espace » est saisie (Microsoft OneNote).

Globalement, la fréquence d'utilisation des aides est hétérogène selon les participants, pouvant aller de zéro à vingt-sept utilisations pour une narration. On constate que la principale aide utilisée a été le correcteur orthographique puisque six participants s'en sont servi pendant les passations. Par ailleurs, quatre participants ont utilisé le prédicteur de mots. Deux enfants ont utilisé ces deux aides à la fois. Un participant s'est corrigé à l'aide du correcteur automatique. D'un point de vue qualitatif, les corrections apportées ont davantage concerné les erreurs lexicales que les erreurs phonologiques et morphologiques.

Enfin, il faut noter qu'un seul participant a utilisé deux logiciels différents (Dys-Vocal et Microsoft Word) pour sa narration. Effectivement, pour ce participant la fonctionnalité de correcteur orthographique a été désactivée par l'ergothérapeute dans le logiciel Dys-Vocal pour

TABLEAU 4 : Nombre d'utilisation d'aides à disposition des participants TSApp-LE pendant la production écrite sur clavier.

Participant	Âge	Classe	Logiciels utilisés	Aides utilisées	Nombre d'utilisations de chaque aide pendant la production
1	14,33	3e	Dys-Vocal Microsoft Word	Prédicteur de mots Correcteur orthographique	5 27
2	13,91	4e	Microsoft Word	Correcteur orthographique	5
3	13,66	4e	Pages	Prédicteur de mots	12
4	14,33	3e	Microsoft One-Note	Prédicteur de mots Correcteur orthographique	3
5	13,42	4e	Open Office	Correcteur orthographique	7
6	10,25	CM2	Notes	Prédicteur de mots Correcteur orthographique	19 1
7	11,08	6e	Aucun	Aucun	Aucun
8	14,16	3e	LibreOffice	Correcteur orthographique	1
9	14,66	3e	LibreOffice	Correcteur orthographique	3
10	12,58	5e	Aucun	Aucun	Aucun
11	11,25	6e	Aucun	Aucun	Aucun

faciliter le processus rédactionnel sans perturbation liée au soulignage automatique du correcteur. Le correcteur orthographique de Microsoft Word a été utilisé lors de la phase finale de relecture pour corriger les erreurs orthographiques repérées par le logiciel.

DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer si l'utilisation de l'outil informatique constitue une aide pour les enfants et adolescents qui présentent un trouble spécifique de l'apprentissage du langage écrit. Pour ce faire, les performances orthographiques sur papier et sur clavier d'élèves présentant un TSApp-LE ont été mesurées. Deux hypothèses ont été posées pour répondre à cet objectif.

La première hypothèse portait sur le déficit phonologique récurrent chez les enfants présentant un TSApp-LE. Nous pensions que ce déficit phonologique altèrerait l'efficacité de l'ordinateur comme moyen de compensation, notamment la qualité orthographique. D'après nos résultats, la modalité d'écriture n'influence ni la précision orthographique, ni le type d'erreurs orthographiques produites par mot. Ainsi, que ce soit en écriture manuscrite ou tapuscrite, l'échantillon de la présente étude produit significativement plus d'erreurs morphologiques que d'erreurs phonologiques ou lexicales. Ce résultat est cohérent avec la chronologie d'apprentissage et d'acquisition des différentes orthographes, dont l'orthographe morphologique qui est la plus tardivement maîtrisée au cours de l'apprentissage. Par exemple, Joye et al. (2022) ont montré qu'au fil des ans, les enfants typiques scolarisés en école élémentaire produisaient moins d'erreurs phonologiques et lexicales, alors que le nombre d'erreurs morphologiques augmente. Mazur-Palandre (2018) a montré également, dans une étude menée auprès d'étudiants TSApp-LE, que cette plus grande proportion d'erreurs morphologiques par rapport aux erreurs lexicales persiste dans le temps. Ainsi, le déficit phonologique que présentent les enfants qui ont un diagnostic de TSApp-LE n'impacte pas l'utilisation de l'ordinateur comme moyen de compensation de leur trouble orthographique : la première hypothèse est invalidée. Les résultats obtenus pour les erreurs morphologiques soulèvent un nouveau questionnement sur la pertinence de l'utilisation de l'outil informatique dans le cadre de ces erreurs.

La seconde hypothèse concernait l'impact de la maîtrise de l'outil informatique grâce à la mise en place d'un suivi en ergothérapie, à savoir que plus les outils de compensation sont maîtrisés, grâce à une prise en soin régulière et complète en ergothérapie, plus les élèves sont autonomes et leur niveau concernant les aspects formels du langage se rapproche de celui des enfants typiques. Contrairement à ce qui est préconisé, tous les enfants qui ont participé à notre étude n'ont pas bénéficié d'un suivi en ergothérapie pour apprendre à écrire sur un clavier d'ordinateur et à utiliser des logiciels de traitement de texte. L'absence de suivi constatée pourrait s'expliquer par le coût financier que représente une prise en soin en ergothérapie, puisqu'elle n'est pas remboursée par la sécurité sociale, ni prise en charge par la MDPH. L'impact financier peut être, par ailleurs, majoré pour les familles qui ont investi personnellement dans l'outil. Comme nous l'avons évoqué, des demandes de notification sont refusées (demande de compensation jugée non adaptée à la situation de l'enfant ou indisponibilité du matériel informatique sur le terrain). La lourdeur administrative des dossiers MDPH décourage également certaines familles. À l'inverse, l'achat des logiciels de traitement de texte peut être considéré comme marginal puisqu'il existe des alternatives gratuites comprenant les fonctionnalités recherchées (prédicteurs et correcteurs notamment). En conséquence, l'ensemble des freins financiers peut empêcher certains enfants d'accéder à l'apprentissage explicite de l'écriture sur clavier et du fonctionnement de l'outil informatique via une prise en soin adaptée avec un ergothérapeute. La plupart des participants (8 sur 11) de cette étude ont pu bénéficier d'un suivi en ergothérapie dont la durée ou la fréquence des séances s'avèrent très variables. Là encore, il est probable que le coût financier entre en jeu. Il est possible aussi que les multiples prises en soin réduisent la disponibilité des familles et augmentent les sollicitations adressées aux enfants. La fréquence d'utilisation dans le quotidien est aussi un critère à prendre en compte : plus l'enfant utilise son ordinateur (en classe comme à la maison), plus il s'entraîne à taper sur son clavier et à utiliser les logiciels, plus il automatise les différents fonctionnements procéduraux. Or cette utilisation courante n'est pas toujours possible (y compris en présence de notification MDPH) car les parents ont rapporté le désengagement de certains enseignants dans le partenariat (refus de l'utilisation de l'ordinateur

dans leur classe, pas de transmission des supports de cours sous un format numérique) ou de mauvaises conditions logistiques (absence d'une connexion internet par exemple).

L'observation des participants interroge sur le nombre de logiciels à proposer aux patients. Apprendre à utiliser un unique logiciel permet d'en approfondir sa connaissance et donc sa maîtrise. La plupart des participants n'utilisaient qu'une seule aide informatique (prédicteur de mots / correcteur automatique / correcteur orthographique) au sein du logiciel et pour ceux qui exploitaient deux aides différentes, une aide était majoritairement utilisée. Les aides manuelles étaient utilisées à bon escient et permettaient une réflexion posée. Inversement, les aides automatiques (prédicteur) étaient plus complexes à maîtriser pour les utilisateurs, car les modifications automatiques nécessitent la mobilisation de nombreuses ressources attentionnelles pour prendre conscience de l'activation de cette aide, alors que le regard du rédacteur peut être dirigé vers le clavier et pour vérifier que la modification effectuée correspond bien à l'orthographe cible.

Enfin, la faible différence de qualité orthographique entre les narrations manuscrites et tapuscrites pourrait aussi s'expliquer par la prise en soin orthophonique qui serait à elle seule suffisamment bénéfique afin d'améliorer significativement les performances orthographiques qui se rapprochent de celles des enfants typiques. La prise en soin en ergothérapie aurait quant à elle permis aux enfants d'acquérir une maîtrise suffisante de l'outil informatique pour rédiger des productions manuscrites et tapuscrites de qualité orthographique équivalente.

L'analyse qualitative du nombre d'erreurs d'orthographe par mot selon les deux modalités d'écriture met en évidence des résultats intéressants. Un premier sous-groupe de six participants a produit moins d'erreurs d'orthographe dans la modalité tapuscrite que manuscrite. Il est intéressant de souligner que l'ensemble de ces participants ont bénéficié d'un suivi en ergothérapie long et régulier (en moyenne une séance hebdomadaire sur au moins un an). Un deuxième sous-groupe de deux participants a produit autant d'erreurs d'orthographe dans les deux modalités d'écriture. Ces deux participants ont des profils hétérogènes en termes de suivi en ergothérapie (aucun suivi *vs* 25 séances) mais on peut tout de même noter que le suivi n'excède pas vingt-cinq séances, ce qui est court comparé aux participants du premier sous-groupe. Enfin, un troisième sous-groupe de trois participants a produit plus d'erreurs d'orthographe dans la modalité tapuscrite que manuscrite. Pour deux participants de ce dernier sous-groupe, le suivi en ergothérapie n'excède pas une dizaine de séances, ce qui peut expliquer leurs faibles performances orthographiques dans la modalité tapuscrite. En revanche le troisième participant de ce dernier sous-groupe a bénéficié d'un long et intense suivi en ergothérapie à raison d'une séance par semaine durant deux ans. Dans ce cas, nous faisons l'hypothèse que la deuxième comorbidité de ce participant, un TDA/H, pourrait expliquer ses faibles performances orthographiques dans la modalité tapuscrite. Il est en effet possible que ses ressources attentionnelles n'aient pas été disponibles en quantité suffisante au moment de la passation par rapport à la sollicitation que la tâche de narration représente.

Cette influence du TDA/H serait également cohérente avec les résultats révélés par le recensement du nombre d'utilisations des aides informatiques : les trois participants qui n'ont pas utilisé ces aides informatiques présentent eux aussi cette comorbidité. Cette analyse tend donc à montrer qu'un suivi long et régulier en ergothérapie permet d'acquérir une maîtrise suffisante de l'ordinateur pour améliorer les productions orthographiques dans les productions écrites, à condition qu'il n'y ait pas un TDA/H comme comorbidité. Cette analyse rejoint les conclusions de Lemeunier (2022) qui souligne que la présence d'un TDA/H serait une des contre-indications à la manipulation de l'outil informatique. L'auteur précise par ailleurs que dans le cadre d'un TDA/H un accompagnement spécifique est requis pour que l'utilisation de l'ordinateur puisse apporter des bénéfices.

De surcroît, l'observation des participants a révélé que la maîtrise de l'outil informatique était aussi liée à la motivation du patient dans les activités écrites. De fait, certains enfants peu enclins à se saisir d'un crayon étaient tout aussi peu motivés pour écrire au clavier. Or, la motivation face à l'écrit influence directement la manière que chacun a de se saisir d'une nouvelle connaissance ou d'un nouvel outil. Ainsi, si l'enfant manque de motivation, la longueur et l'intensité du suivi en ergothérapie ne permettront pas d'aboutir au même niveau de maîtrise de l'outil que celui d'un enfant fortement motivé.

Un suivi en ergothérapie peut donc permettre d'obtenir une maîtrise technique suffisante de l'outil informatique pour permettre une amélioration de l'orthographe chez les élèves présentant un TSApp-LE, mais celui-ci n'est pas suffisant lorsqu'une comorbidité entrave l'utilisation de l'outil informatique ou que la motivation n'est pas suffisante pour s'en saisir.

PERSPECTIVES EN ORTHOPHONIE

À la lumière de ces éléments, l'intérêt de l'outil informatique doit être questionné individuellement selon la situation de l'enfant et les caractéristiques de son profil ; l'objectif étant de favoriser son autonomie dans l'utilisation du langage écrit afin qu'il puisse poursuivre ses apprentissages le plus sereinement possible.

Une attention particulière doit porter sur les types d'aides informatiques que comprennent les logiciels de traitement de texte afin de ne pas générer un sur-handicap. De même, certains prédicteurs de mots valident des propositions par une pression sur la barre espace alors que le mot initialement écrit était bien celui souhaité. Cela oblige l'enfant, déjà très sollicité cognitivement par le passage à l'écrit, à être d'autant plus vigilant lors de ses productions, ce qui ajoute de la difficulté dans la tâche rédactionnelle. Un participant de l'étude a également pu bénéficier d'une synthèse vocale qui a relu le texte, réduisant ainsi les ressources cognitives normalement allouées à la tâche de lecture. Cependant cette synthèse (dans le logiciel Dys-Vocal) s'est avérée relativement contraignante pour lui puisque toute correction devait être apportée à la fin de la relecture, sans quoi la modification impliquait la suppression des mots lus sur l'instant. De bonnes compétences mnésiques sont donc nécessaires pour mémoriser toutes les erreurs produites et ensuite les rechercher puis les corriger. Si les erreurs ne sont pas mémorisées, la phrase peut être relue autant de fois que nécessaire mais cela fait perdre du temps au rédacteur. De ce fait, certaines aides induisent un déplacement des difficultés sur d'autres compétences qui ne sont pas toujours fonctionnelles chez certains patients.

Par ailleurs, la lourdeur administrative pour demander une reconnaissance de l'outil informatique comme outil de compensation des difficultés en langage écrit ainsi que le coût financier que représente un suivi en ergothérapie sont des limites importantes dans son utilisation. Pour essayer de minimiser ces impacts, proposer une période d'essai semblerait pertinent afin que l'enfant puisse commencer à s'approprier l'ordinateur aussi précocement que nécessaire avant de solliciter la MDPH. Cette période d'essai permettrait par la même occasion de souligner, par des exemples concrets, l'intérêt de l'outil informatique pour l'enfant ou au contraire le manque de bénéfices sans attendre l'aboutissement des démarches administratives. La passation du PIAPEDE (Crunelle, 2010) peut également renforcer l'argumentation en faveur de l'utilisation de l'ordinateur comme moyen de compensation. Mais cette période d'essai impliquerait la mise à disposition d'un outil informatique dans la classe. Pour autant, des initiatives locales sont mises en place pour instaurer cette période d'essai. Des écoles sont équipées d'ordinateurs mis à disposition d'enfants dès le CM1 ou le CM2. La démarche soulage les parents qui n'ont pas besoin de financer eux-mêmes cet ordinateur avant d'effectuer la demande de notification MDPH. De même, pour pallier les difficultés d'accès à un suivi en ergothérapie, des initiatives associatives sont mises en place. L'association Réseau Dys 86 par exemple, propose depuis 2012 des « Ateliers informatiques pour aider à maîtriser l'outil informatique » (https://reseaudys86.fr/les-ateliers-informatiques-pour-aider-a-maitriser-loutil-informatique/) notamment grâce à l'aide d'un ergothérapeute. Ces ateliers sont gratuits pour les participants et bénéficient de soutiens divers comme les centres socioculturels, les communes ou la caisse d'allocations familiales pour avoir lieu et se développer. Les ateliers sont maintenant proposés dans plusieurs communes, ce qui permet aux participants de s'inscrire à des ateliers plus proches de chez eux.

En conclusion, le choix de l'utilisation de l'outil informatique comme moyen de compensation des difficultés en langage écrit doit être le fruit d'une réflexion commune entre l'enfant, les parents, l'école, l'ergothérapeute (s'il y en a un) et l'orthophoniste. L'enfant doit exprimer son consentement et son envie quant à l'apprentissage du fonctionnement de l'ordinateur et doit accepter le regard des autres en classe. Il doit également avoir conscience que l'ordinateur constitue une aide mais qu'il ne permet pas de tout résoudre. Les parents doivent pouvoir accompagner l'enfant dans son apprentissage de la maîtrise de l'outil et doivent avoir une connaissance informatique suffisante pour le soutenir en cas de difficulté

d'utilisation. L'école joue un rôle central, c'est elle qui sera témoin de l'efficacité de l'outil dans le quotidien scolaire. Pour cela, il est nécessaire que les enseignants coopèrent et adaptent les supports pédagogiques à l'utilisation de l'outil informatique. Une bonne connaissance des comorbidités que présente l'enfant est tout autant nécessaire pour tous les partenaires afin de pallier les interférences qu'elles peuvent engendrer.

L'orthophoniste, par son expertise clinique et ses connaissances des difficultés de l'enfant, pourra travailler étroitement avec l'ergothérapeute dans le choix du logiciel à utiliser ainsi que dans le choix des options d'aides à conserver ou à désactiver si elles n'apportent pas de gain. À travers l'étude menée, il a été constaté qu'une diversité de logiciels de traitement de texte et d'aides existe avec presque autant de configurations que de participants. Les logiciels doivent donc être connus de la part des professionnels pour ajuster au mieux les réglages. Aussi, se former à la connaissance et à la manipulation de l'outil informatique et de ses aides a tout son sens. Pour cela, des sites spécifiques de matériel orthophonique publient des ouvrages grandement documentés comme celui de Lemeunier (2022) qui retrace les démarches administratives à effectuer pour bénéficier d'un ordinateur au sein d'un établissement scolaire, y compris pour les examens puisque, effectivement, l'utilisation de l'ordinateur dans le quotidien scolaire ne suffit pas à en bénéficier le jour des épreuves du brevet ou du bac. Des démarches administratives supplémentaires doivent être réalisées. L'auteur y détaille également tout ce qu'il est possible d'adapter sur l'ordinateur ainsi que les différents logiciels et les différentes aides existantes dont elle décrit très précisément le fonctionnement.

DECLARATION D'INTÉRETS

Les autrices ont déclaré n'avoir aucun lien d'intérêt en relation avec cet article.

REMERCIEMENTS

Les autrices remercient l'ensemble des enfants et adolescents qui ont participé à cette recherche ainsi que leurs familles qui ont donné leur accord. Les auteurs remercient également Rébecca Garnier, Camille Davodeau et Camille Chevalier pour la collecte de données pendant leurs stages.

RÉFÉRENCES

Alves, R. A., Limpo, T., Fidalgo, R., Carvalhais, L., Pereira, L. Á., & Castro, S. L. (2016). The impact of promoting transcription on early text production: Effects on bursts and pauses, levels of written language, and writing performance. *Journal of Educational Psychology, 108*(5), 665 679. http://dx.doi.org/10.1037/edu0000089

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders DSM-5* (5e éd.). https://psycnet.apa.org/doi/10.1176/appi.books.9780890425596

Bacquelé, V. (2015). L'usage de l'informatique par les élèves dyslexiques : un outil de compensation à l'épreuve de l'inclusion scolaire. T*erminal, Technologie de l'information, culture & société*, 116, 1 13. https://doi.org/10.4000/terminal.661

Bahr, R. H., Silliman, E. R., Berninger, V. W., & Dow, M. (2012). Linguistic pattern analysis of misspellings of typically developing writers in grades 1 to 9. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 55*(6),1587-1599. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/10-0335)

Bangert-Drowns, R. L. (1993). The word processor as an instructional tool: A meta-analysis of word processing in writing instruction. *Review of Educational Research, 63*(1), 69–93. https://doi.org/10.3102/00346543063001069

Barry, A. (2018). *Manières d'enseigner et manières d'apprendre : une étude des phénomènes de sensibilité au contrat didactique chez des étudiants de Licence 3. Une contribution à la pédagogie universitaire dans les Sciences Humaines et Sociales.* [Thèse de doctorat en Sciences de l'Éducation, Université de Bordeaux]. https://theses.hal.science/tel-01994473

Bélanger, C. (2020). *Facilitateurs et obstacles de l'utilisation d'un prédicteur orthographique par des élèves dyslexiques-dysorthographiques du primaire en production écrite.* [Mémoire en Sciences de l'Éducation, Gatineau, Université du Québec en Outaouais, Département des sciences de l'éducation]. https://di.uqo.ca/id/eprint/1170

Benoit, H., & Sagot, J. (2008). L'apport des aides techniques à la scolarisation des élèves handicapés. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation, 3*(43), 19 26. https://shs.cairn.info/revue-la-nouvelle-revue-de-l-adaptation-et-de-la-scolarisation-2008-3-page-19?lang=fr

Benson-Goldberg, S. (2014). Spelling of derivationally complex words: The role of phonological, orthographic, and morphological features. *USF Tampa Graduate Theses and Dissertations.* https://digitalcommons.usf.edu/etd/5182

Berninger, V. W., & Abbott, R. D. (2010). Listening comprehension, oral expression, reading comprehension, and written expression: Related yet unique language systems in grades 1, 3, 5, and 7. *Journal of Educational Psychology, 102*(3), 635-651. https://doi.org/10.1037/a0019319

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale (BOEN) n° 31 du 30 juillet 2020. *Programmes d'enseignement pour le primaire et le secondaire.* Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. https://www.education.gouv.fr/au-bo-du-30-juillet-2020-programmes-d-enseignement-pour-le-primaire-et-le-secondaire-305398

Broc, L., Bernicot, J., Olive, T., Favart, M., Reilly, J., Quémart, P., & Uzé, J. (2013). Lexical spelling in children and adolescents with specific language impairment: Variations with the writing situation. *Research in Developmental Disabilities, 34*(10), 3253-3266. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.06.025

Casalis, S., Leloup, G., & Bois Parriaud, F. (2019). *Prise en charge des troubles du langage écrit chez l'enfant*. Elsevier Masson.

Connelly, V., Gee, D., & Walsh, E. (2007). A comparison of keyboarded and handwritten compositions and the relationship with transcription speed. *British Journal of Educational Psychology, 77*(2), 479 492. https://doi.org/10.1348/000709906X116768

Crunelle, D. (2010). Protocole d'Identification de l'Aménagement Pédagogique pour un Élève en Difficulté à l'Écrit (PIAPEDE) : un partenariat orthophonistes – enseignants. *Langage & Pratiques*, Suisse.

Déclaration d'Helsinki de l'AMM (1964). *Principes éthiques applicables à la reccherche médicale impliquant des êtres humains*. Association Médicale Mondiale. https://www.wma.net/fr/policies-post/declaration-dhelsinki-de-lamm-principes-ethiques-applicables-a-la-recherche-medicale-impliquant-des-etres-humains/

Despres, G. (2010). Les aides techniques au collège auprès d'adolescents avec des troubles des apprentissages. *Developpements, 6*(3), 43 52. https://shs.cairn.info/revue-developpements-2010-3-page-43?lang=fr

Garcia, N. P., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2010). Predicting poor, average, and superior spellers in grades 1 to 6 from phonological, orthographic, and morphological, spelling, or reading composites. *Written Language & Literacy, 13*(1), 61–98. https://doi.org/10.1075/wll.13.1.03gar

Goldberg, A., Russell, M., & Cook, A. (2003). The effect of computers on student writing: A meta-analysis of studies from 1992 to 2002. *Journal of Technology, Learning, and Assessment, 2*(1). https://ejournals.bc.edu/index.php/jtla/article/view/1661

Graham, S., McKeown, D., Kiuhara, S., & Harris, K. R. (2012). A meta-analysis of writing instruction for students in the elementary grades. *Journal of Educational Psychology, 104*(4), 879–896. https://doi.org/10.1037/a0029185

Graham, S., & Perin, D. (2007). A meta-analysis of writing instruction for adolescent students. *Journal of Educational Psychology, 99*(3), 445–476. https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.3.445

Guillermin, A.-L., & Leveque-Dupin, S. (2012). Comment l'ordinateur peut-il devenir un outil de compensation efficace de la dysgraphie pour la scolarité ? *Developpements, 3*(12), 25 31. https://shs.cairn.info/revue-developpements-2012-3-page-25?lang=fr

Hanner, C., Bosse, M.-L., Brissaud, C., & Bressoux, P. (2021). L'acquisition de l'orthographe à l'école élémentaire et au collège, en France : erreurs persistantes, facteurs déterminants et relations entre connaissances lexicales et grammaticales. *A.N.A.E.*, 170, 70-76. https://hal.science/hal-03298649

Horne, J., Ferrier, J., Singleton, C., & Read, C. (2011). Computerised assessment of handwriting and typing speed. *Educational and Child Psychology, 28*(2), 52–66. https://doi.org/10.53841/bpsecp.2011.28.2.52

INSERM (2017, 2019). *Troubles spécifiques des apprentissages : les « dys », des troubles durables mais qui se prennent en charge*. https://www.inserm.fr/dossier/troubles-specifiques-apprentissages/

Johansson, R., Wengelin, Å., Johansson, V., & Holmqvist, K. (2010). Looking at the keyboard or the monitor: Relationship with text production processes. *Reading and Writing, 23*(7), 835–851. https://doi.org/10.1007/s11145-009-9189-3

Journal Officiel de la République Française (JORF) n°36 du 12 février 2005. *Loi n° 2005-102 du 11 février 2005, pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées*. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000809647

Joye, N., Broc, L., Marshall, C. R., & Dockrell, J. E. (2022). Spelling errors in french elementary school students: A linguistic analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 65*(9), 3456-3470. https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00507

Kellogg, R. T., & Mueller, S. (1993). Performance amplification and process restructuring in computer-based writing. *International Journal of Man-Machine Studies, 39*(1), 33–49. https://psycnet.apa.org/doi/10.1006/imms.1993.1052

Lemeunier Valérie. (2022). *Compensation informatique : le rôle de l'orthophoniste*. Ortho Édition.

Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M.-T., & Velay, J.-L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children: A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica, 119*(1), 67–79. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.10.019

Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia, 53*(1), 1 14. https://doi.org/10.1007/s11881-003-0001-9

Mazur-Palandre, A. (2018). La dyslexie à l'âge adulte : la persistance des difficultés orthographiques. *SHS Web of Conferences, 46*, 10003. https://doi.org/10.1051/shsconf/20184610003

Mazur-Palandre, A., & Chenu, F. (2020). Le processus de révision en production écrite de textes par des étudiants francophones dyslexiques. *SHS Web of Conferences, 78*, 10002. https://doi.org/10.1051/shsconf/20207810002

Mayer, C., Wallner, S., Budde-Spengler, N., Braunert, S., Arndt, P. A., & Kiefer, M. (2020). Literacy training of kindergarten children with pencil, keyboard or tablet stylus: The influence of the writing tool on reading and writing performance at the letter and word level. *Frontiers in Psychology, 10*, 3054. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03054

Medimorec, S., & Risko, E. F. (2016). Effects of disfluency in writing. *British Journal of Psychology, 107*(4), 625–650. https://doi.org/10.1111/bjop.12177

Medimorec, S., Young, T. P., & Risko, E. F. (2017). Disfluency effects on lexical selection. *Cognition, 158*, 28–32. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.10.008

Morphy, P., & Graham, S. (2012). Word processing programs and weaker writers/readers: A meta-analysis of research findings. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 25*(3), 641–678. https://psycnet.apa.org/doi/10.1007/s11145-010-9292-5

Peverly, S. T., & Sumowski, J. F. (2012). What variables predict quality of text notes and are text notes related to performance on different types of tests? *Applied Cognitive Psychology, 26*(1), 104–117. https://doi.org/10.1002/acp.1802

Puranik, C. S., & Lonigan, C. J. (2011). From scribbles to scrabble: Preschool children's developing knowledge of written language. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 24*(5), 567 589. https://doi.org/10.1007/s11145-009-9220-8

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. (Version 4.0) [Logiciel]. https://cran.r-project.org. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2021-04-01).

Richards, T., Aylward, E., Field, K., Grimme, A., Raskind, W., Richards, A., Nagy, W., Eckert, M., Leonard, C., Abbott, R., & Berninger, V. (2006). Converging evidence for triple word form theory in children with dyslexia. *Developmental neuropsychology, 30*(1), 547-589. https://doi.org/10.1207/s15326942dn3001_3

Roche, M. (2015). *Les étudiants, le numérique et la réussite universitaire*. [Mémoire en Master 2 Sciences de l'Éducation, Université de Nantes]. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01347809

Rønneberg, V., Johansson, C., Mossige, M., Torrance, M., & Uppstad, P. H. (2018). Why bother with writers? Towards "good enough" technologies for supporting individuals with dyslexia. Dans B. Miller, P. Mccardle, et V. Connelly (dir.), *Writing development in struggling learners: Understanding the needs of writers across the lifecourse* (p. 120-140). Brill

Share, D. L. (2004). Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*(4), 267-298. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.01.001

The jamovi project (2021). jamovi. (Version 2.2) [Logiciel]. https://www.jamovi.org

Treiman, R., & Bourassa, D. C. (2000). The development of spelling skill. *Topics in Language Disorders, 20*(3), 1-18. https://psycnet.apa.org/doi/10.1097/00011363-200020030-00004

Vaivre-Douret, L., & Lopez, C. (2021). Organisation développementale du geste graphomoteur chez l'enfant scolarisé en primaire : caractéristiques gestuelles et spatio-temporelles / cinématiques. *A.N.A.E.*, 170, 1933.

Van Weerdenburg, M., Tesselhof, M., & van der Meijden, H. (2019). Touch-typing for better spelling and narrative-writing skills on the computer. *Journal of Computer Assisted Learning, 35*(1), 143 152. https://doi.org/10.1111/jcal.12323

Wechsler, D. (2005). *WIAT-II CDN-F. Test de rendement individuel de Wechsler (2e éd.), version pour francophones.* Pearson

Wollscheid, S., Sjaastad, J., Tømte, C., & Løver, N. (2016). The effect of pen and paper or tablet computer on early writing - A pilot study. *Computers and Education, 98*, 70–80. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.008

Yamaguchi, M., & Logan, G. D. (2014). Pushing typists back on the learning curve: Revealing chunking in skilled typewriting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(2), 592 612. https://doi.org/10.1037/a0033809

Zhao, J., Malatesha Joshi, R., Quentin Dixon, L., & Chen, S. (2017). Contribution of phonological, morphological and orthographic awareness to English word spelling: A comparison of EL1 and EFL models. *Contemporary Educational Psychology, 49*, 185 194. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2017.01.007