Intervention explicite et graduée ciblant le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage au moyen du logiciel SUBéCAL chez des enfants présentant des difficultés en mathématiques.

Auteurs :
Margaux Bazire[1]
Marie-Christel Helloin[2]
Anne Lafay[3]

Affiliations :
[1] Orthophoniste
[2] Orthophoniste, chargée de cours vacataire au département d'orthophonie de l'Université de Rouen, France
[3] Maîtresse de conférences universitaire, Université Savoie Mont Blanc, Chambéry, France

Autrices de correspondance :
bazire.margaux@orange.fr
marie-christel.helloin@univ-rouen.fr
anne.lafay@univ-smb.fr

Dates :
Soumission : 15/07/2022
Acceptation : 30/11/2022
Publication : 26/10/2023

Comment citer cet article :
Bazire, M., Helloin, M.-C., Lafay, A. (2023). Intervention explicite et graduée ciblant le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage au moyen du logiciel SUBéCAL chez des enfants présentant des difficultés en mathématiques. *Glossa*, 137, 40-59. https://doi.org/10.61989/z4tgvt40

e-ISSN : 2117-7155

Licence :
© Copyright Margaux Bazire, Marie-Christel Helloin, Anne Lafay, 2023.
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Contexte : De nombreux enfants présentant un Trouble des Apprentissages en Mathématiques (TAM) rencontrent des difficultés en subitizing conceptuel et en dénombrement. Ces deux compétences prédisent les habiletés mathématiques futures.

Objectif : L'objectif de l'étude était d'évaluer l'effet d'une intervention explicite, intensive et graduée ciblant le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage chez des enfants à risque de ou avec TAM sur les compétences entraînées et, par transfert, sur les performances plus complexes en dénombrement et en arithmétique.

Méthodologie : Trois participants à risque de ou avec TAM ont été recrutés. Deux prétests ont été réalisés : l'un deux semaines avant et l'autre une semaine avant l'intervention. L'intervention a duré six semaines à raison de trois séances hebdomadaires. Certaines séances étaient réalisées au cabinet et d'autres en visioconférence. L'intervention était constituée de trois phases successives de deux semaines. Lors des deux premières semaines, les enfants s'entraînaient au dénombrement, les deux suivantes au subitizing puis les deux dernières au surcomptage. Le matériel utilisé était le logiciel SUBéCAL (Lafay & Helloin, 2019). Enfin, deux post-tests ont été réalisés : l'un immédiatement à la suite de l'intervention et l'autre environ un mois après.

Résultats : Les résultats ont montré que les trois participants ont progressé pour les mesures d'apprentissages (subitizing, dénombrement, surcomptage) et pour la mesure de transfert de dénombrement (mais pas pour la mesure de transfert en arithmétique). En outre, un maintien des performances est observé un mois après.

Conclusion : L'étude a montré l'efficacité d'une intervention explicite, graduée, intensive et ciblée sur le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage. Cette intervention peut être reproduite dans le milieu clinique en proposant une ou deux séances au cabinet et une ou deux séances en visioconférence par semaine. Toutefois, cette étude doit être reproduite plusieurs fois pour être reconnue comme une pratique probante.

Mots-clés : Trouble des Apprentissages en Mathématiques, intervention, orthophonie, subitizing, dénombrement, calcul.

Effect of explicit and graduated training targeting conceptual subitizing, enumeration, and shortened counting using the SUBéCAL software in children at risk or with a Specific Mathematics Learning Disabilities.

Background: Many children with a Mathematics Learning Disability (MLD) have difficulties in conceptual subitizing and counting. These two skills predict future mathematical ability.

Objectives: The aim of the study was to investigate the effect of an explicit, intensive, and graded intervention targeting conceptual subitizing, enumeration, and shortened counting in children at risk of or with MLD on trained skills and, by transfer, on performance in enumeration and arithmetic.

Method: Three participants at risk of or with MLD were recruited. Two pre-tests were conducted: one two weeks before and one the week before the intervention. The training then lasted six weeks with three sessions per week. Some of the sessions were conducted in the office and others by videoconference. The intervention consisted of three successive two-weeks phases. In the first two weeks, the children practiced enumeration, in the second two weeks they practiced subitizing, and in the third two weeks they practiced shortened counting. The material used was the SUBéCAL software. Finally, two post-tests were conducted: one immediately following the intervention and the other approximately one month later.

Results: The results showed that all three participants improved on the learning measures (subitizing, enumeration, shortened counting) and on the enumeration transfer measure (but not in arithmetic). In addition, a maintenance of performance was observed one month later.

Conclusion: The study showed the effectiveness of an explicit, graduated, intensive, and targeted intervention on conceptual subitizing, enumeration, and shortened counting. This intervention can be replicated in the clinical setting, with one or two in-office sessions and one or two videoconference sessions per week. However, this study needs to be replicated several times to be recognized as evidence-based practice.

Keywords: Mathematics Learning Disabilities, intervention, speech and language therapy, subitizing, enumeration, arithmetic.

INTRODUCTION

Trouble des apprentissages en mathématiques

Selon la cinquième édition du manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5), le trouble spécifique des apprentissages en mathématiques (TAM) est défini par quatre critères.

Tout d'abord, l'enfant doit présenter des difficultés à maîtriser le sens des nombres, les données chiffrées, le calcul ou la résolution de problèmes, et ce depuis plus de six mois malgré la mise en place de mesures ciblant ces difficultés (critère A). Les compétences scolaires perturbées sont nettement en dessous du niveau escompté pour l'âge chronologique de manière quantifiable et cela interfère significativement avec les performances scolaires et les activités de la vie courante (critère B). Ces difficultés apparaissent au cours de la scolarité (critère C) et ne sont pas mieux expliquées par un handicap intellectuel, des troubles non corrigés de l'acuité visuelle ou auditive, d'autres troubles neurologiques ou mentaux, un trouble psychosocial, un manque de maîtrise de la langue de l'enseignement scolaire ou un enseignement pédagogique inadéquat (critère D). Ce dernier critère permet de déterminer la spécificité ou non du trouble. Il existe ainsi également des Troubles des Apprentissages en Mathématiques non spécifiques associés aux pathologies et facteurs environnementaux cités (American Psychiatric Association, 2015)[1].

Les facteurs explicatifs des TAM sont controversés. Certains chercheurs affirment que les TAM sont liés à un trouble cognitif numérique. Celui-ci pourrait être un déficit du sens du nombre (Dehaene, 2010) ou du module nombre (Butterworth, 2005). Le sens du nombre correspond à la représentation non symbolique des nombres qui est nécessaire pour le développement des compétences numériques. Cette représentation analogique se décompose en deux systèmes : le système numérique précis (SNP) et le système numérique approximatif (SNA). Les capacités de subitizing reposent sur le SNP et les capacités d'estimation sur le SNA (Lafay et al., 2013). Le trouble cognitif numérique pourrait également être en lien avec un déficit de l'accès au sens du nombre via les codes symboliques (Noël & Karagiannakis, 2020) et un déficit de reconnaissance des nombres arabes et oraux (Lafay et al., 2018). D'autres chercheurs suggèrent que le TAM peut être lié à un déficit au niveau d'un ou plusieurs facteurs cognitifs généraux (Noël & Karagiannakis, 2020). Le TAM peut ainsi être expliqué par des déficits distaux multiples, une hétérogénéité des TAM est donc relevée (Andersson & Östergren, 2012). L'hypothèse du déficit du SNP va être approfondie dans cette étude.

Subitizing

Définition, développement et lien avec les habiletés mathématiques

Le SNP soutient le subitizing qui est la perception intuitive, rapide et précise sans comptage de la numérosité de petites collections d'éléments. Deux types de subitizing sont distingués. Premièrement, le subitizing perceptuel, aussi appelé naturel, est le plus proche de la définition initiale du subitizing. Il correspond à la capacité quasi innée de percevoir immédiatement la numérosité d'un petit nombre d'objets présentés brièvement dans toutes les configurations sans recourir au comptage (Clements, 1999). Il permet d'appréhender les petites quantités jusqu'à 3 (Schleifer & Landerl, 2011), 4 (Krajcsi et al., 2013) ou 5 (Starkey & Cooper, 1995). Deuxièmement, le subitizing conceptuel est la capacité plus avancée de reconnaître sans comptage et quasi instantanément, grâce à une exposition répétée, la quantité d'éléments d'une collection présentée sous forme de configurations canoniques. Il est ainsi influencé par la disposition spatiale des collections. Il repose sur la reconnaissance de patterns familiers comme les dés ou les dominos (Clements, 1999 ; Mandler & Shebo, 1982). Le subitizing conceptuel est lui aussi limité. Cependant, avec une configuration canonique (et par exposition), le rang de subitizing peut être étendu jusqu'à 6 éléments (Krajcsi et al., 2013).

Le processus de subitizing est considéré comme inné. Des bébés âgés de 22 semaines peuvent identifier des collections de deux ou trois éléments : les nourrissons disposent donc de capacité numérique de base (Starkey & Cooper, 1980). Cependant, les performances en subitizing évoluent avec l'âge : les quantités pouvant être traitées par subitizing augmentent avec l'âge au cours de la petite enfance allant de 1 à 3 chez les nourrissons, puis de 1 à 4 pour les enfants de 3 ans et de 1 à 5 pour certains enfants de 4-5 ans

1 Dans la suite de cet article, l'acronyme TAM sera utilisé de façon générique qu'il se rapporte à un trouble spécifique ou non

(Starkey & Cooper, 1995). De plus, Schleifer et Landerl (2011) montrent que les performances en subitizing évoluent et progressent jusqu'à l'âge de 11 ans, âge auquel les enfants présentent des performances similaires à celles de l'adulte. Le subitizing n'est donc pas une compétence figée, une évolution semble être possible grâce à la stimulation.

Le subitizing joue un rôle important dans le développement des habiletés mathématiques. C'est une compétence fondamentale dans le développement de la compréhension du nombre. Le subitizing naturel permet de créer les premières notions de cardinalité en associant un ensemble d'objets avec un mot-nombre (Clements, 1999). Le subitizing conceptuel permet de reconnaître des ensembles de petites quantités et de les combiner afin d'identifier rapidement la cardinalité du tout. Par exemple, les huit points d'un domino seront perçus comme deux groupes de quatre. Le subitizing conceptuel permet donc de regrouper et quantifier rapidement des ensembles et sollicite l'utilisation d'opérations de décomposition et de composition des nombres qui permettent la compréhension des relations parties-tout. Un tout peut être composé de différentes manières et avec différentes parties (8 = 4 + 4 ou 3 + 5). Ces compétences permettent une meilleure maîtrise des quantités de 1 à 10 et soutiennent le développement des performances en calcul (Clements, 1999 ; Wästerlid, 2020).

Les capacités de subitizing à 5-6 ans prédisent d'ailleurs le développement des habiletés mathématiques à 6-7 ans. Desoete et Grégoire (2006) ont évalué dans une étude longitudinale les performances arithmétiques et pré-numériques (chaîne numérique, dénombrement, connaissance du système de numération, structures logiques, estimation, subitizing) de 82 enfants à 5-6 ans puis à 6-7 ans. Les enfants présentant des difficultés en calcul à 6-7 ans avaient de faibles performances pré-numériques à 5-6 ans. De plus, Penner-Wilger et al. (2007) affirment que trois composantes soutiennent les représentations numériques : le subitizing, la motricité fine des doigts et les gnosies digitales. Ces capacités prédisent les performances en numération et en calcul des enfants de 6-7 ans. Ces résultats conduisent donc à s'interroger sur la présence possible d'un dysfonctionnement du subitizing chez les enfants avec TAM.

Subitizing et TAM

Certains enfants avec TAM présentent des difficultés au niveau du subitizing. Dans la plupart des études, des enfants de 7 à 17 ans ont été invités à énoncer, le plus rapidement possible, combien de points étaient présentés sur un écran d'ordinateur, la tâche typique pour évaluer les capacités de subitizing. Les résultats montrent que les enfants avec TAM sont plus lents et/ou moins précis que les enfants au développement typique pour déterminer le cardinal des petites quantités allant de 1 à 3 points (Andersson & Östergren, 2012 ; Ashkenazi et al., 2013 ; Fischer et al., 2008a ; Lafay et al., 2018 ; Moeller et al., 2009 ; Schleifer & Landerl, 2011). Moeller et al. (2009) remarquent également une augmentation des saccades oculaires dans le rang de subitizing chez les enfants avec TAM. Ils concluent alors que ceux-ci utilisent une stratégie de comptage pour identifier les petites quantités. Enfin, récemment, Lafay et al. (2019) ont exploré le traitement non symbolique des nombres chez des enfants de 8-9 ans avec un TAM. Ceux-ci réussissaient moins bien que leurs pairs à produire de petites quantités (de 1 à 4), ce qui suggère une altération des capacités de subitizing. De nombreux enfants avec TAM présentent un déficit du subitizing, il est donc intéressant de s'interroger sur les moyens possibles de remédiation et l'efficacité des interventions déjà réalisées.

Interventions ciblant le subitizing

L'intervention ciblant le subitizing représente un défi majeur pour aider ces enfants à développer leurs apprentissages en mathématiques. En premier lieu, certaines études ont montré l'efficacité d'une intervention ciblant le subitizing chez des enfants tout venant. Barendregt et al. (2012) ont étudié l'effet d'une intervention de trois semaines avec des enfants de 5-6 ans avec l'application Fingu qui sollicite le subitizing conceptuel. Les enfants devaient déterminer combien d'objets étaient présentés et placer le nombre de doigts correspondant sur l'écran tactile. Baccaglini-Frank et Maracci (2015) ont également évalué à travers une intervention de deux semaines le potentiel de l'application Fingu mais également de l'application Ladybug pour développer le sens du nombre chez cinq enfants de 4-5 ans. Les auteurs de ces deux études ont conclu que ces interventions permettaient aux enfants de développer leur subitizing conceptuel et leur gnosie digitale. D'autre part,

Obersteiner et al. (2013) ont réalisé une étude avec des enfants de 5-6 ans. Un groupe a suivi une intervention ciblant le SNP, un le SNA, un le SNP et le SNA et enfin un groupe contrôle a aussi été constitué. Dix sessions de trente minutes ont été réalisées pendant quatre semaines à partir de deux nouvelles versions du jeu informatique The number Race (Wilson et al., 2006). Les enfants ont progressé dans la compétence ciblée par leur intervention respective, les enfants du groupe SNP ont donc amélioré leur SNP. De plus, les résultats en arithmétique ont augmenté pour les groupes expérimentaux. En outre, deux études récentes ont analysé l'impact d'une intervention ciblant spécifiquement le subitizing conceptuel. Özdem et Olkun (2019) ont mené une intervention pendant huit semaines avec des enfants âgés de 7-8 ans. Le groupe ayant reçu l'intervention sur le subitizing conceptuel a amélioré ses résultats au test de mathématiques, cela significativement plus que le groupe contrôle. Wästerlid (2020) a réalisé une étude avec des enfants de 6-7 ans et a conclu que les activités de subitizing conceptuel permettent aux enfants de comprendre que les quantités peuvent être décomposées de différentes façons, ce qui est fondamental pour comprendre le concept d'addition et de soustraction.

En second lieu, quelques études ont décrit les effets positifs d'une intervention ciblant le subitizing chez des enfants avec TAM. Fischer et al. (2008a) ont évalué l'effet d'un entraînement ciblant le subitizing chez des enfants de 7 à 14 ans avec un TAM. L'intervention était basée sur la réalisation d'une tâche de subitizing pendant dix à vingt minutes quotidiennement pendant trois semaines. Les résultats ont révélé une amélioration significative du subitizing chez environ 85 % des enfants : ceux-ci ont même atteint le niveau des enfants contrôles du même âge. De plus, dans une deuxième étude, des enfants avec TAM ont été divisés en deux groupes : un groupe bénéficiant de l'intervention et un groupe contrôle. Les résultats montrent une amélioration du subitizing et des compétences arithmétiques dans le groupe entraîné par rapport au groupe contrôle. En outre, Hinton et al. (2016) ont montré l'efficacité d'une intervention explicite ciblant le dénombrement, le subitizing et le surcomptage auprès d'enfants de 5 ans à risque de TAM. Les enfants ont bénéficié de cette intervention pendant quinze minutes, trois fois par semaine pendant douze semaines. Ils ont tous progressé et atteint les critères de réussite pour les trois compétences ciblées.

Pour conclure, les études concernant les interventions ciblant le subitizing sont peu nombreuses, surtout chez les enfants présentant un TAM, mais elles apportent des résultats prometteurs et encourageants. C'est pour cela que le logiciel SUBéCAL a été créé (Lafay & Helloin, 2019). Celui-ci permet de travailler le subitizing mais également le dénombrement dans le but d'améliorer le calcul.

Dénombrement

Définition, développement et lien avec les habiletés mathématiques

La quantification précise d'une collection peut être effectuée par subitizing pour les petites quantités ou par dénombrement. Le dénombrement permet, en associant à chaque élément de la collection un mot-nombre (processus de comptage), de déterminer précisément combien d'objets composent une collection (Fayol, 2008). Le dénombrement est régi par cinq principes décrits par Gelman et Gallistel (1978, cités par Fayol, 2008) : le principe d'ordre stable (les mots-nombres sont toujours énoncés dans le même ordre), le principe de correspondance terme à terme (chaque objet de la collection correspond à un seul mot-nombre), le principe de cardinalité (le dernier mot-nombre énoncé représente le nombre total d'éléments de la collection), le principe d'abstraction (l'enfant peut dénombrer ensemble des éléments différents) et le principe de non-pertinence de l'ordre (l'ordre dans lequel les éléments sont dénombrés n'affecte pas le résultat).

Van de Rijt et Van Luit (1998) ont décrit le développement chez l'enfant des habiletés de dénombrement (cités par Hinton et al., 2016). Tout d'abord, vers l'âge de 3 ans, les enfants commencent à compter de manière acoustique, c'est-à-dire compter par cœur sans relier les mots-nombres à des objets. Autour de 4 ans, les enfants comptent de manière asynchrone, c'est-à-dire qu'ils comprennent que les nombres servent à compter des objets mais ils ne sont pas capables de pointer un élément tout en énumérant un mot-nombre. Entre 4 et 5 ans, les enfants peuvent compter de manière synchrone, c'est-à-dire qu'ils maîtrisent la correspondance terme à terme. Vers 5 ans, les enfants maîtrisent le principe de cardinalité. Enfin, à l'âge de 6 ans, les

enfants sont capables d'utiliser la coordination du subitizing d'une partie de la collection d'objets et le surcomptage. Le développement de ces capacités de dénombrement est primordial pour la suite des acquisitions mathématiques.

Le dénombrement est en effet un prédicteur des capacités mathématiques ultérieures des enfants. Il joue un rôle fondamental dans le développement du concept de nombre et des compétences arithmétiques (Lecointre et al., 2005). En effet, dans une étude longitudinale, Desoete et Grégoire (2006) ont montré que les compétences pré-numériques des enfants de 5-6 ans, dont le dénombrement, prédisaient les compétences arithmétiques à 6-7 ans. De plus, Nguyen et al. (2016), dans une étude longitudinale, concluent que les compétences en matière de dénombrement et subitizing conceptuel sont les prédicteurs les plus forts, en maternelle, des résultats ultérieurs en mathématiques en CM2. Ils soulignent que le dénombrement est une compétence numérique de base qui permet d'accéder au calcul et d'élargir la compréhension quantitative des enfants au-delà des toutes petites quantités.

Dénombrement et TAM

Quelques études se sont intéressées aux capacités de dénombrement chez des enfants avec TAM.

Dans la plupart de ces études, les enfants ont été amenés à dénombrer entre 4 et 10 points présentés sur un écran d'ordinateur. Les auteurs ont observé des temps de traitement plus lents pour le groupe d'enfants avec TAM par rapport au groupe témoin (Andersson & Östergren, 2012 ; Landerl et al., 2004). Quant à Geary et al. (1992), ils se sont davantage intéressés à la compréhension des principes du dénombrement en demandant à des enfants de 7 ans de juger si une marionnette dénombrait des collections correctement ou non. Ils ont observé que les enfants avec TAM présentaient un retard dans la compréhension de ces principes et des difficultés pour détecter les erreurs de dénombrement, notamment les doubles comptages au début de la série. Ils ont conclu qu'un retard dans l'acquisition des principes du dénombrement pouvait être à l'origine des difficultés arithmétiques.

Intervention ciblant le dénombrement

Quelques études ont porté sur une intervention ciblant le dénombrement auprès d'enfants à risque de TAM ou avec TAM. Ces entraînements se sont révélés efficaces. Praet et Desoete (2014) ont analysé l'effet d'interventions courtes, informatisées et individualisées auprès d'enfants de maternelle ne présentant pas de TAM ou à risque de TAM. Ces derniers ont reçu neuf séances de vingt-cinq minutes pendant cinq semaines en fin de maternelle. Ils ont été divisés en trois groupes : un groupe bénéficiant d'une intervention sur le dénombrement, un groupe bénéficiant d'une intervention sur la comparaison numérique et un groupe contrôle. Les enfants des deux groupes expérimentaux ont obtenu de meilleurs résultats que le groupe contrôle en matière de traitement du nombre et d'arithmétique. Le groupe Dénombrement avait de plus de meilleures compétences en calcul mental que le groupe Comparaison. Cette étude met donc en avant l'efficacité d'une intervention informatisée ciblant le dénombrement en maternelle pour améliorer les compétences arithmétiques en première année de primaire (CP). En outre, Friso-van den Bos et al. (2018) ont étudié les effets d'interventions ciblant le dénombrement ou la ligne numérique sur le sens du nombre et les performances arithmétiques par rapport à un groupe contrôle. Des enfants de 5 ans ont réalisé douze séances de vingt minutes pendant six semaines. Les enfants ayant reçu l'intervention Dénombrement ont obtenu des résultats significativement supérieurs au groupe contrôle en arithmétique, dénombrement et ligne numérique. En revanche, le groupe d'entraînement à la ligne numérique n'a pas eu de gains significativement plus importants que le groupe contrôle. De plus, une autre étude évoquée précédemment a mis en avant l'efficacité d'un entraînement ciblant le subitizing et le dénombrement (Hinton et al., 2016).

Du dénombrement au calcul : le surcomptage

À l'âge de 6 ans, les enfants sont capables d'utiliser le surcomptage, c'est-à-dire de compter à partir du dernier mot-nombre désignant le cardinal de la première collection dont ils ont reconnu la représentation. Par exemple, si un dé de cinq points est présenté, ainsi que des points dispersés autour, l'enfant va reconnaître cinq directement et compter les points restant à partir de ce nombre (Hinton et al., 2016). Cette

compétence est importante car cela montre que les enfants sont capables de coordonner subitizing et dénombrement, de conserver en mémoire le cardinal d'une collection et de l'utiliser pour augmenter cette quantité d'une autre quantité sans recompter le tout. D'ailleurs, l'un des objectifs au début de l'école primaire est d'amener les enfants à passer des stratégies de comptage vers des stratégies de calcul. Le surcomptage est une transition vers cette capacité supérieure de calcul. Il est important d'amener les enfants à utiliser le surcomptage pour la résolution de situations additives où il faut énoncer le cardinal de deux ensembles disjoints présentés en code analogique. Cela favorisera la résolution d'additions de nombres présentés en code arabe (Bolsius & Gros, 2010).

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Il existe peu d'études ayant investigué une intervention basée sur le subitizing et le dénombrement chez les enfants à risque de TAM ou avec TAM, de même que peu d'outils orthophoniques entraînant spécifiquement le subitizing. Pourtant, la maîtrise du subitizing conceptuel permet de développer des capacités telles que la combinaison et la décomposition des nombres, les stratégies arithmétiques ainsi que la compréhension de la cardinalité, qui sont autant de composantes importantes du sens du nombre. Le dénombrement joue également un rôle essentiel pour le développement du concept de nombre et des compétences arithmétiques. Le subitizing et le dénombrement sont ainsi deux compétences distinctes mais liées et qui prédisent les habiletés mathématiques futures. Il semble ainsi indispensable de développer les recherches sur les effets d'un entraînement du subitizing et du dénombrement pour obtenir des données probantes nécessaires à la pratique clinique orthophonique. Lafay et Helloin (2019) ont élaboré le logiciel SUBéCAL pour l'entraînement spécifique du dénombrement et du subitizing qui vise l'amélioration des capacités arithmétiques. L'objectif de l'étude est ainsi d'évaluer l'effet d'une intervention explicite, intensive et graduée ciblant le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage chez des enfants à risque de TAM ou avec TAM sur les compétences entraînées et, par transfert, sur les performances plus complexes en dénombrement (production de collections) et en arithmétique.

Nos hypothèses sont que les participants amélioreront leurs performances en subitizing conceptuel, en dénombrement, en surcomptage (effet d'apprentissage immédiat, hypothèse 1) et également en dénombrement (production) et en calcul mental simple (effet de transfert immédiat, hypothèse 2). Nous espérons que ces performances vont se stabiliser (effet de maintien, hypothèse 3). Nous espérons aussi que le protocole d'intervention est spécifique et donc que les enfants ne progresseront pas de façon significative à l'épreuve de contrôle ciblant le vocabulaire mathématique (mesure contrôle, hypothèse 4) et qu'ils seront satisfaits de l'intervention (mesure de la validité sociale, hypothèse 5).

MÉTHODOLOGIE

Participants

Les critères d'inclusion étaient de présenter un TAM ou être à risque de TAM. Il fallait donc rencontrer des difficultés en mathématiques notamment dans les habiletés numériques de base et en calcul. Les performances devaient être significativement inférieures à la norme aux épreuves de la batterie Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021). L'enfant devait également être suivi auprès d'un ou une orthophoniste exerçant en cabinet libéral à Rouen ou aux alentours pour des questions d'organisation. Enfin, il était nécessaire que le lieu de vie des enfants dispose d'une bonne connexion internet et d'un équipement informatique afin de pouvoir réaliser certaines séances en visioconférence. Les critères d'exclusion étaient d'avoir une acuité visuelle ou auditive non corrigée ou un manque de maîtrise de la langue de l'enseignement scolaire.

Un formulaire de consentement a été rempli par écrit par les responsables légaux et l'accord des enfants a été obtenu oralement. Trois enfants ont été recrutés (une modification des prénoms a été réalisée pour le respect de la confidentialité des participants). Ils ont tous un déficit cognitif numérique, c'est-à-dire qu'ils présentent des difficultés dans les épreuves mettant en jeu les habiletés numériques de base tels que le sens du nombre, l'accès au sens du nombre et le dénombrement. Léo est un garçon de 8 ans, scolarisé en CE2, qui est déjà suivi en orthophonie pour un trouble développemental du langage oral qui influence son langage écrit. Un diagnostic de TAM en lien avec un déficit cognitif numérique

et un déficit des fonctions cognitives générales a également été posé. Manon est une fille de 8 ans et 11 mois qui est scolarisée en unité localisée pour l'inclusion scolaire. Elle est suivie initialement en orthophonie pour un trouble du langage oral et de la communication dans le cadre d'un trouble du spectre autistique associé à un syndrome génétique. Elle présente également un trouble des apprentissages du langage écrit et un TAM. Enfin, Elisa est une fille de 5 ans et 10 mois scolarisée en grande section de maternelle. Elle présente un trouble développemental du langage oral et est à risque de TAM.

Procédure générale

Deux pré-tests ont été réalisés : un deux semaines avant et l'autre une semaine avant l'intervention. Ensuite, l'entraînement a duré six semaines. Deux protocoles ont été établis pour s'adapter au niveau de chaque enfant : un protocole cible les quantités de 0 à 10 (Elisa) et l'autre celles de 0 à 20 (Léo et Manon). Enfin, deux post-tests ont été réalisés, dont un immédiatement à la suite de l'intervention et l'autre environ un mois après (voir tableau 1).

Mesures

Mesures d'identification des difficultés mathématiques générales

Des épreuves de la batterie Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021) ont été réalisées pour identifier les difficultés en mathématiques. L'épreuve Subitizing constituée de deux sous-épreuves a été effectuée. La tâche Subitizing aléatoire permet l'évaluation du subitizing naturel. Des petites quantités de 1 à 4 arrangées de manière aléatoire sont présentées à l'écran. La tâche Subitizing exposition permet d'évaluer le subitizing conceptuel. Des petites quantités de 3 à 6 arrangées de manière ordonnée sont présentées à l'écran. Dans les deux tâches, l'enfant devait dire le plus vite possible combien il y avait de points et chaque item était affiché pendant 1000 millisecondes. Deux épreuves de dénombrement ont également été réalisées. Dans l'épreuve Dénombrement Production, l'enfant devait indiquer combien il y avait d'objets à l'écran. Il n'y avait pas de contrainte temporelle. Les collections d'objets allaient de 3 à 13 et étaient soit statiques soit en mouvement. L'épreuve Dénombrement Compréhension permettait d'évaluer la compréhension des cinq principes. L'enfant voyait un personnage animé compter des objets et devait répondre à des questions sur le dénombrement effectué ou juger de la justesse du dénombrement par le personnage. Enfin, l'épreuve Fluence arithmétique et Stratégies permettait d'évaluer les stratégies utilisées et la vitesse de calcul, pour l'addition et pour la soustraction (une minute pour chaque type). Les opérations écrites horizontalement (et énoncées oralement) étaient présentées à l'enfant qui donnait une réponse orale.

Mesures d'efficacité de l'intervention

Mesures d'apprentissage : dénombrement, subitizing et surcomptage

Ces épreuves ont été choisies pour mesurer l'effet immédiat de l'intervention : elles constituaient des lignes de base spécifiques d'éléments travaillés en séance. Dans chaque épreuve, treize items étaient présentés dont un item exemple et douze comptabilisés dans le score. Les variables dépendantes étaient le score total (maximal sur 12) et le temps moyen par item.

La tâche de dénombrement avait pour objectif d'évaluer l'efficience du dénombrement de l'enfant soit la maîtrise des cinq principes évoqués précédemment. L'activité Identification du logiciel SUBéCAL a été utilisée. Les paramètres ont été sélectionnés de façon à rendre la présentation la plus neutre possible pour la modalité de test. L'enfant voyait à l'écran une quantité d'éléments dispersés et devait identifier le cardinal de la collection en donnant une réponse orale. Il n'y avait pas de contrainte temporelle. L'expérimentatrice (la première autrice du présent article) notait alors la réponse donnée au clavier, celle-ci était enregistrée par le logiciel. Les quantités à identifier allaient de 5 à 10 pour le protocole 0-10 et de 6 à 20 pour le protocole 0-20.

La tâche de subitizing avait pour objectif d'évaluer la capacité de l'enfant à percevoir et identifier rapidement des petites collections sans comptage. La ligne de base Subitizing simple intégrée dans le logiciel SUBéCAL a été utilisée. L'enfant voyait à l'écran une quantité présentée en code analogique (configuration de dé) pendant un temps limité et il devait identifier le cardinal de la collection en donnant une réponse orale. Cette épreuve ciblait les quantités de 1 à 6.

Concernant l'évaluation du surcomptage, deux tâches ont été utilisées. Ces deux épreuves avaient pour objectif de solliciter la capacité à

TABLEAU 1 : Détail des épreuves administrées en pré et post-tests pour chaque enfant.

Epreuves	Léo, 8 ans				Manon, 8 ans				Elisa, 5 ans			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Dénombrement 5-10									x	x	x	x
Dénombrement 6-20	x	x	x	x	x	x	x	x				
Subitizing simple	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Composition analogique	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Power point surcomptage 2-12									x	x	x	x
Power point surcomptage 6-20	x	x	x	x	x	x	x	x				
Donne-n 5-10									x	x	x	x
Donne-n 6-20	x	x	x	x	x	x	x	x				
Calcul <10					x		x	x	x	x	x	x
Calcul 10-20	x	x	x	x	x	x	x	x				
Vocabulaire mathématique	x	x		x	x	x		x	x	x		x

surcompter à partir du cardinal de la première collection. La première tâche était la ligne de base Composition analogique intégrée dans le logiciel SUBéCAL. L'enfant voyait à l'écran deux quantités présentées en code analogique (configurations de dé) et il devait identifier le cardinal en donnant une réponse orale. Les quantités allaient de 2 à 12. L'expérimentatrice incitait le participant à regarder d'abord un des dés puis l'autre afin de solliciter davantage le surcomptage plutôt que le subitizing. La seconde tâche était un diaporama Power Point créé pour le protocole, inspirée de l'intervention d'Hinton et al. (2016). L'enfant voyait au centre de l'écran un carré avec des points noirs à l'intérieur disposés sous forme d'une configuration de dé. Autour du carré, un ou plusieurs points étaient dispersés. L'enfant devait dire le plus vite possible combien il y avait de points noirs affichés sur l'écran. L'expérimentatrice lui précisait d'identifier d'abord combien il y avait de points noirs dans le carré puis de dénombrer le reste des points situés autour. Elle appuyait sur la barre espace ou cliquait sur l'écran pour déclencher le passage à l'item suivant et saisissait en parallèle le nombre énoncé par le patient sur la feuille de score prévue à cet effet. Les quantités allaient de 2 à 12 comme pour la ligne de base Composition analogique pour le protocole 0-10 et de 7 à 20 pour le protocole 0-20.

Mesures de transfert : Dénombrement production et calcul

Ces épreuves constituaient des lignes de base de généralisation pour des éléments pour lesquels un transfert est attendu. Les variables dépendantes étaient le score total et le temps moyen par item.

L'épreuve Donne-n avait pour objectif de mesurer l'effet de généralisation de l'intervention ciblant la représentation des petites quantités, à savoir la production d'une collection par dénombrement. En effet, cette tâche permettait de s'assurer que l'enfant était capable de s'organiser et d'utiliser ses capacités de dénombrement pour donner un nombre exact d'objets manipulables. Cette épreuve permet de vérifier la compréhension du principe de cardinalité étant donné que dans la tâche « combien ? » l'enfant pourrait très bien énoncer le dernier mot-nombre sans avoir compris ce principe (telle l'application d'une procédure). Cela pourrait résulter d'une imitation de l'adulte qui a tendance à insister et attirer l'attention sur le dernier mot-nombre ou encore d'une technique de subitizing qui n'exige pas la compréhension du principe de cardinalité (Wynn, 1990). L'enfant avait devant lui des jetons et l'expérimentatrice lui demandait « donne-moi n jetons ». L'expérimentatrice notait sur la feuille de score la quantité donnée. Dans le cadre du protocole 0-10, sept items étaient présentés dont un item exemple et six comptabilisés dans le score (4, 5, 8, 9, 7, 6, 10). Dans le protocole 0-20, treize items étaient présentés dont un item exemple et douze comptabilisés dans le score (9, 7, 11, 13, 14, 18, 20, 8, 12, 10, 15, 17, 19).

Les deux épreuves de calcul avaient pour objectif de mesurer l'effet de généralisation aux capacités arithmétiques de l'intervention ciblant la représentation des petites quantités. Les

lignes de base Calcul < 10 et Calcul entre 10 et 20 intégrées dans le logiciel SUBéCAL ont été utilisées. L'épreuve Calcul < 10 a été utilisée pour le protocole 0-10 et l'épreuve Calcul entre 10 et 20 pour le protocole 0-20. L'épreuve Calcul < 10 a également été réalisée par Manon, l'épreuve Calcul entre 10 et 20 étant très difficile pour elle. Cela a permis d'observer si une évolution pouvait être relevée sur les calculs inférieurs à 10. Le principe de ces épreuves était de résoudre des opérations arithmétiques d'additions et de soustractions dont le résultat est inférieur ou égal à 10 pour le protocole 0-10 ou supérieur à 10 et inférieur ou égal à 20 pour le protocole 0-20. L'enfant voyait une opération écrite à l'écran, il devait trouver le résultat et répondre oralement. L'expérimentatrice saisissait le résultat énoncé. Pour chaque épreuve, treize items étaient présentés dont un item exemple et douze comptabilisés dans le score (six additions et six soustractions).

Mesure de contrôle

La mesure contrôle sélectionnée était l'épreuve de Vocabulaire mathématique en réception (Examath 5-8 ; Helloin & Lafay, 2021). Elle avait pour objectif d'évaluer la compréhension des termes relatifs au vocabulaire mathématique comme les mots exprimant l'ordinalité (ex : premier), la cardinalité (ex : ensemble), une quantité relative (ex : plus que) et les quantificateurs (ex : tous). Les habiletés numériques ne rentraient pas en jeu dans cette épreuve (ou le moins possible). Cette épreuve constituait une ligne de base contrôle. La variable dépendante était le score total.

Mesure de validité sociale

La validité sociale a été mesurée par un questionnaire constitué de sept items. Les affirmations étaient les suivantes : « J'ai aimé jouer aux jeux sur l'ordinateur », « J'ai aimé les différents décors », « Je pense que ce jeu m'a aidé pour mieux compter », « Je pense que ce jeu m'a aidé pour mieux voir très rapidement le nombre d'objets sur l'écran », « Je pense que ce jeu m'a aidé pour le calcul », « Je pense que jouer aux jeux sur l'ordinateur trois fois par semaine c'est bien », « J'ai aimé chaque semaine faire deux séances (ou une) au cabinet et une séance (ou deux) sur l'ordinateur à la maison ». Une échelle de Likert avec quatre niveaux a été utilisée. Les enfants avaient le choix entre « pas du tout d'accord » (1 point), « plutôt pas d'accord » (2 points), « plutôt d'accord » (3 points) et « tout à fait d'accord » (4 points). Le score total était donc sur 28 points. Les quatre niveaux étaient associés à des smileys avec des expressions et couleurs différentes afin d'associer une représentation visuelle et ainsi faciliter la compréhension pour les enfants.

Intervention

L'objectif général de l'intervention était que les enfants améliorent leurs représentations numériques des petites quantités et leurs performances en arithmétique. Cet objectif s'inscrivait dans le projet thérapeutique global de la rééducation orthophonique des trois enfants. L'intervention était constituée de trois phases successives de deux semaines. Les deux premières semaines les enfants s'entraînaient au dénombrement, les deux suivantes au subitizing puis les deux dernières au surcomptage.

Concernant la dose, pour Manon et Léo, l'intervention se composait de dix-huit séances de trente minutes, à raison de trois séances par semaine, pendant six semaines. Pour Elisa, dix-sept séances ont été effectuées sur six semaines et chaque séance durait vingt minutes car l'entraînement était très coûteux au niveau attentionnel. Les séances se sont déroulées individuellement avec la même expérimentatrice. Chaque semaine, deux séances ont été effectuées au cabinet lors des séances habituelles de rééducation orthophonique pour Manon et Léo et une séance a été réalisée à distance en visioconférence. Concernant Elisa, quatre séances seulement ont été effectuées au cabinet, les autres se sont déroulées en visioconférence en raison d'impossibilité de déplacement.

Le matériel utilisé était le programme SUBéCAL (Lafay & Helloin, 2019). Le principe général est d'entraîner le subitizing et le dénombrement pour le développement du calcul. Ce logiciel peut être utilisé à tout âge en raison des nombreux paramètres personnalisables (taille des quantités, temps d'apparition, modalité de réponse, type de configuration des quantités, type de de feedback) qui permettent de déterminer une progression et un niveau de difficulté. Ces paramètres peuvent être sélectionnés librement par l'orthophoniste ou être prédéfinis avec le mode progression automatique. De plus, plusieurs décors, personnages et objets sont disponibles pour chaque jeu, ce qui est un facteur motivationnel important.

Le programme propose sept activités. Deux d'entre elles ont été utilisées dans cette intervention : Identification et Opération/équation. Pour l'activité Identification dans le cadre de l'intervention Dénombrement proposée, l'enfant voyait une quantité de 5 à 10 (protocole 0-10) ou de 6 à 20 (protocole 0-20) présentée en code analogique de manière dispersée ou ordonnée. Il n'y avait pas de contrainte temporelle. L'enfant devait énoncer oralement combien il y avait d'éléments. Pour l'activité Identification dans le cadre de l'intervention Subitizing, l'enfant voyait une quantité de 1 à 10 présentée en code analogique en configuration de dé. Le temps d'apparition était limité : il allait de 10 à 2 secondes, de manière progressive dans le protocole. L'enfant devait énoncer oralement combien il y avait d'éléments. Dans Opération/équation pour l'intervention Surcomptage, l'enfant voyait deux quantités présentées en code analogique en configuration de dé. Il devait soit trouver la somme des deux quantités (Q1 + Q2 = ?) soit trouver la quantité manquante (Q1 + ? = Q3). Les calculs pouvaient être des doubles, des compléments à 5, 10 ou 20 ou d'autres opérations aléatoires. Le temps d'apparition était illimité. L'enfant devait donner sa réponse oralement. Les réponses de l'enfant étaient automatiquement enregistrées dans le logiciel. Dans le module Résultats, il était possible de voir le score total et le temps moyen par item pour chaque série. Des courbes permettaient également de voir l'évolution des résultats.

Concernant l'aspect motivationnel, il a été proposé à l'enfant de choisir les décors, les personnages et les objets pour chaque série au cours de la séance. De plus, des renforçateurs sous forme de fiches avec les niveaux de progression et un dessin à colorier à côté de chaque niveau ont été élaborés (voir figure 1). Pour chaque niveau atteint, l'enfant pouvait ainsi colorier un personnage ou un objet lié à l'univers du logiciel. Enfin, une fois par semaine, les enfants choisissaient une planche de stickers, en guise de récompense, qu'ils pouvaient ramener chez eux.

La modalité d'intervention était explicite. L'instruction explicite améliore les performances des enfants avec TAM et favorise le transfert des compétences acquises à des situations nouvelles (Cattini & Lafay, 2021). Une intervention explicite fournit un cadre de stimulation concret et accessible pour dispenser une intervention efficace et systématique. Elle est constituée de différents éléments remédiatifs tels que la modélisation claire des étapes permettant de réaliser la tâche via des explications et démonstrations, et des feedbacks immédiats sur les performances de l'enfant (Noël & Karagiannakis, 2020). Dans cette étude, au début de chaque phase d'intervention, notamment pour le dénombrement et le surcomptage, plusieurs exemples étaient proposés afin de montrer la démarche à l'enfant et de verbaliser la procédure. De plus, pour chaque niveau, un item exemple et 10 items pour la pratique guidée étaient systématiquement

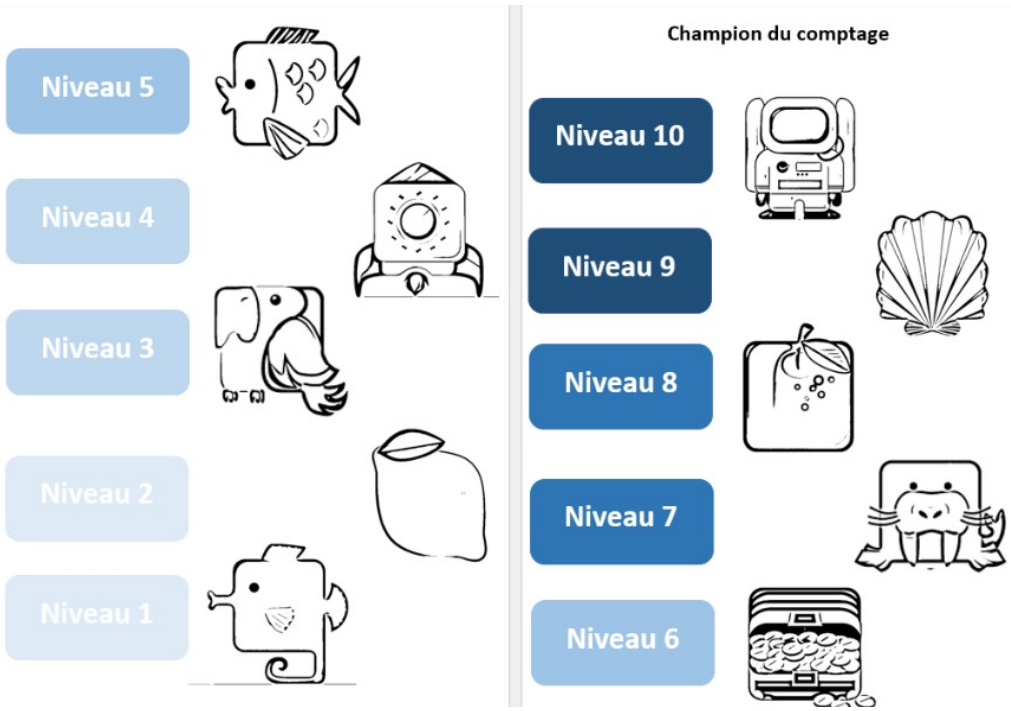


FIGURE 1 : Fiche renforçatrice avec les différents niveaux et les dessins à colorier en parallèle.

proposés. D'autre part, un feedback correctif était automatiquement donné par le logiciel pour chaque item et l'expérimentatrice fournissait une explication supplémentaire si besoin.

En outre, l'intervention était progressive. Une gradation a en effet été élaborée avec plusieurs niveaux pour les trois phases de l'intervention. Pour que les enfants puissent passer au niveau supérieur, ils devaient obtenir 80% ou 90% de réussite à la série en fonction de la phase d'intervention et de leur âge. Manon et Léo, qui sont plus âgés, devaient obtenir 90% de réussite pour passer à la série suivante, pour les interventions subitizing et dénombrement. Les enfants devaient donc fournir la bonne réponse pour huit ou neuf items sur dix. Au fur et à mesure, la taille des quantités augmentait et le temps d'apparition diminuait. De plus, dans l'activité Opération/équation, le type d'équation à résoudre évoluait. Les enfants résolvaient d'abord des équations du type « Q1 + Q2 = ? » avec deux quantités en code analogique, puis avec une quantité en code analogique et une quantité en code arabe, puis des équations du type « Q1 + ? = Q3 ».

RÉSULTATS

Analyse des performances

Le logiciel SPSS version 28 a été utilisé pour les analyses statistiques. Des analyses de variance univariée (ANOVA) ont été effectuées sur les variables dépendantes (score total, temps moyen par item) selon la variable indépendante Test (le pré-test 1 (T1), le pré-test 2 (T2), le post-test immédiat (T3) et de maintien (T4)) pour chacune des épreuves réalisées pour chaque enfant. D'autre part, les analyses de comparaisons appariées ont été effectuées avec une correction de Bonferroni. Les scores bruts (les scores totaux et les temps moyens par item) sont répertoriés dans le tableau 2. De plus, un graphique par enfant a été réalisé afin de synthétiser les évolutions significatives (voir figures 2, 3 et 4).

Résultats pour les mesures d'apprentissage

Dénombrement

Pour Elisa, les analyses de variance univariée ne montrent aucun effet significatif du Test sur le Temps de traitement ($F(3,33) = 1.73$, $p = .18$) mais un effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 15.09$, $p < .001$, $\eta^2p = .58$). Les analyses de comparaisons appariées montrent que le Score est plus élevé pour T3 et T4 que pour T2 (respectivement $p = .004$ et $p < .001$) et pour T4 que pour T1 ($p = .04$).

Pour Manon, aucun effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 1.81$, $p = .16$) n'est identifié, mais un effet significatif sur le Temps de traitement ($F(3,33) = 7.86$, $p < .001$, $\eta^2p = .42$). Le Temps est moins élevé pour T3 et T4 que pour T1 (respectivement $p = .01$ et $p = .005$).

Pour Léo, les analyses montrent un effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 3.54$, $p = .02$, $\eta^2p = .24$) et des effets marginaux du Test sur le Temps de traitement ($F(3,33) = 2.31$, $p = .09$). Le Score est plus élevé pour T4 que pour T2 ($p = .04$).

Subitizing

Pour Elisa, les analyses de variance univariée montrent un effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 7.55$, $p = .001$, $\eta^2p = .41$) et sur le Temps ($F(3,33) = 10.03$, $p = .003$, $\eta^2p = .48$). Les analyses de comparaisons appariées montrent que le Score est plus élevé pour T3 et T4 que pour T1 (respectivement $p = .04$ et $p = .01$) et pour T4 que pour T2 ($p = .01$). Concernant le Temps, celui-ci est meilleur (moins élevé) pour T3 et T4 que pour T1 (respectivement $p = .02$ et $p = .03$).

Pour Manon, les analyses ne montrent pas d'effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 1.00$, $p = .40$) mais un effet significatif sur le Temps ($F(3,33) = 19.95$, $p < .001$, $\eta^2p = .64$). Le Temps est plus élevé pour T2 que pour T1 ($p < .001$) et moins élevé pour T3 et T4 que pour T2 ($p < .001$).

Pour Léo, les analyses ne montrent pas d'effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 1.00$, $p = .40$) mais un effet significatif sur le Temps ($F(3,33) = 30.80$, $p < .001$, $\eta^2p = .74$). Le Temps est plus élevé pour T2 que pour T1 ($p = .04$) et moins élevé pour T3 et T4 que pour T1 (respectivement $p = .002$ et $p = < .001$) et T2 (respectivement, $p = .001$ et $p < .001$).

Surcomptage

Composition analogique

Pour Elisa, les analyses de variance univariée montrent un effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = 9.42$, $p < .001$, $\eta^2p = .46$) et sur le Temps ($F(3,33) = 4.18$, $p = .03$, $\eta^2p = .27$). Les analyses de comparaisons appariées montrent que le Score est plus élevé pour T3 et T4 que pour T2

TABLEAU 2 : Scores totaux bruts et temps moyens par item (exprimés en secondes) pour chaque épreuve et chaque temps de test pour les trois enfants.

Mesures	Epreuves	Tests	Elisa		Manon		Léo	
			Score	Temps	Score	Temps	Score	Temps
Mesures d'apprentissage	Dénombrement	T1	5/12	14.98	7/12	21.52	10/12	19.03
		T2	1/12	19.92	9/12	17.56	6/12	20.57
		T3	9/12	18.89	11/12	13.53	10/12	25.47
		T4	11/12	16.49	11/12	11.44	12/12	16.28
	Subitizing	T1	5/12	8.73	12/12	2.79	11/12	2.83
		T2	5/12	4.15	11/12	4.99	12/12	3.72
		T3	11/12	2.35	12/12	1.64	12/12	1.38
		T4	12/12	2.24	12/12	1.52	12/12	1 50
	Composition analogique	T1	1/12	11.32	10/12	8.63	12/12	7.95
		T2	1/12	5.11	11/12	8.79	11/12	9.99
		T3	8/12	12.79	11/12	10.45	12/12	6.46
		T4	9/12	10.36	12/12	9.26	12/12	6.75
	Diaporama surcomptage	T1	0/2	10.69	7/12	14.99	6/12	13.87
		T2	0/2	6.82	8/12	15.09	7/12	14.04
		T3	7/12	8.62	12/12	10.98	12/12	10.36
		T4	8/12	7.32	12/12	8.84	12/12	10.55
Mesures de transfert	Donne-N	T1	0/4	12.37	5/12	25.48	5/12	28.63
		T2	2/6	23.18	6/12	23.22	6/12	32.80
		T3	4/6	26.45	11/12	19.71	10/12	19.32
		T4	3/6	19.91	11/12	15.65	11/12	23.35
	Calcul 0-10	T1	0/12	15.92	2/12	16.69		
		T2	1/12	7.70				
		T3	0/12	11.06	6/12	14.98		
		T4	0/12	9 88	1/12	5.96		
	Calcul 10-20	T1			0/12	5.80	5/12	13.62
		T2			1/12	6.19	5/12	18.71
		T3			0/12	11.49	6/12	9.79
		T4			0/12	2.99	6/12	13.31
Mesure contrôle	Vocabulaire mathématique en réception	T1	6/20		7/20		4/20	
		T2	4/20		5/20		0/20	
		T4	6/20		2/20		12/20	

Note. Les cases laissées vides correspondent à des épreuves non réalisées. Les temps sont exprimés en secondes.

(respectivement p = .01 et p = .004) et pour T4 que pour T1 (p = .004). Concernant le Temps, celui-ci est moins élevé pour T2 que pour T1 (p = .031) et plus élevé pour T3 que pour T2 (p = .007). Pour Manon, les analyses ne montrent pas d'effet significatif du Test sur le Score (F(3,33) = .79, p = .51) et sur le Temps (F(3,33) = .70, p = .57). Pour Léo, les analyses ne montrent pas d'effet significatif du Test sur le Score (F(3,33) = 1.00, p = .40) et des effets marginaux du Test sur le Temps (F(3,33) = 2.67, p = .06).

Diaporama surcomptage

Pour Elisa, des analyses statistiques descriptives ont été effectuées pour cette épreuve étant donné que seulement deux items ont été réalisés pour T1 et T2 en lien avec le critère d'arrêt de l'épreuve. Le score d'Elisa a augmenté, il est passé de 0/2 pour T1 et T2 à 7/11 pour T3 et 8/12 pour T4. Le temps n'est pas interprétable au regard du faible nombre d'items réalisés en pré-test.

Pour Manon, les analyses de variance univariée montrent un effet significatif du Test sur le Score (F(3,33) = 4.21, p = .01, η^2p = .28) et sur le Temps (F(3,33) = 41.17, p < .001, η^2p = .79). Le Temps est moins élevé pour T3 et T4 que pour T1 (respectivement p = .001 et p < .001) et T2 (respectivement p = .001 et p < .001).

Pour Léo, les analyses montrent un effet significatif du Test sur le Score (F(3,33) = 5.19, p = .005, η^2p = .32) et sur le Temps (F(3,33) = 4.79, p = .007, η^2p = .30). Le Temps est moins élevé pour T3 et T4 que pour T2 (respectivement p = .02 et p = .01). En revanche, pour Manon et Léo, les comparaisons appariées ne montrent pas de différences significatives pour le score malgré l'effet simple significatif.

Résultats pour les mesures de transfert

Dénombrement Production : Donne-N

Pour Elisa, des analyses statistiques descriptives ont été effectuées pour cette épreuve étant donné que celle-ci est constituée de seulement six items pour le protocole 0-10 et qu'Elisa a réalisé seulement quatre items pour T1 en lien avec le critère d'arrêt. Le score d'Elisa a augmenté, il est passé de 0/4 pour T1 et 2/6 pour T2 à 4/6 pour T3 et 3/6 pour T4.

Pour Manon, les analyses de variance univariée montrent des effets marginaux du Test sur le Score (F(3,27) = 2.89, p = .05) et un effet significatif sur le Temps (F(3,27) = 12.98, p < .001, η^2p = .59). Les analyses de comparaisons appariées montrent que le Temps est moins élevé pour T3 et T4 que pour T2 (respectivement p = .04 et p = .001) et pour T4 que pour T1 (p < .001). Les comparaisons appariées ne montrent pas de différences significatives mêmes marginales pour le score.

Pour Léo, les analyses montrent un effet significatif du Test sur le Score (F(3,33) = 6.22, p = .002, η^2p = .36) et sur le Temps (F(3,33) = 8.91, p < .001, η^2p = .45). Le Score est plus élevé pour T4 que pour T1 (p = .04). Concernant le Temps, celui-ci est meilleur pour T3 et T4 que pour T2 (respectivement p < .001 et p = .003).

Calcul mental simple

Elisa n'a pas progressé à l'épreuve de calcul 0-10 et Manon n'a pas progressé à l'épreuve calcul 0-20. Elles n'ont réussi aucun item en post-test. Leurs résultats en termes de temps ne sont donc pas interprétables. Toutefois, pour Manon, les analyses de variance univariée pour l'épreuve calcul 0-10 montrent un effet significatif du Test sur le score (F(2,22) = 3.67 et p = .04). En revanche,

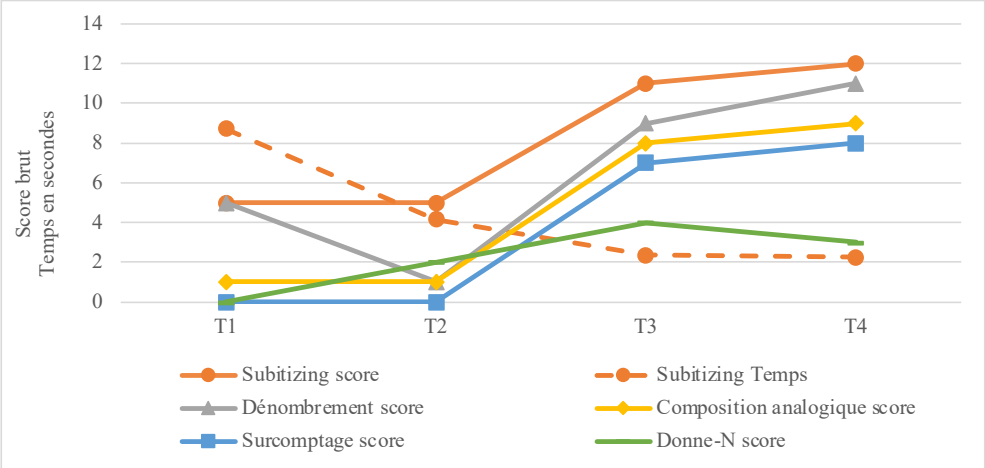


FIGURE 2 : Illustration des résultats significatifs pour Elisa.

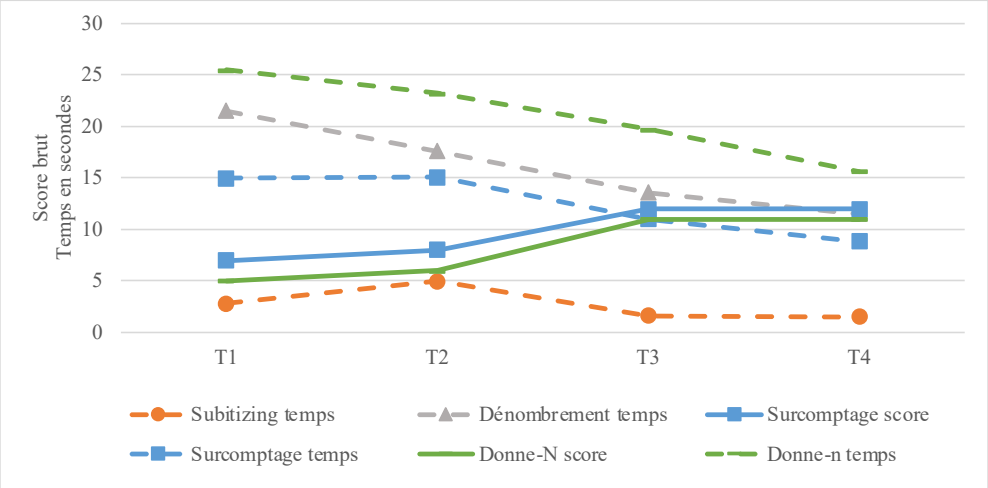
les comparaisons appariées ne montrent pas de différences significatives pour le score malgré l'effet simple significatif. Pour Léo, les analyses pour l'épreuve calcul 10-20 ne montrent pas d'effet significatif du Test sur le Score ($F(3,33) = .10$, $p = .96$) et sur le Temps ($F(3,33) = 1.24$, $p = .31$).

Résultats pour la mesure contrôle

Les scores d'Elisa et Manon pour l'épreuve de vocabulaire mathématique en réception n'ont pas augmenté entre les pré-test et le post-test. Les scores d'Elisa à T1 et T3 sont identiques (6/20, inférieur au percentile 5). Les scores de Manon ont diminué entre T1 (7/20, inférieur au percentile 5) et T3 (2/20, inférieur au percentile 5). Concernant Léo, son score à cette épreuve a augmenté entre T1 (4/20) et T3 (12/20) mais son dernier score se situe toujours en dessous de la norme des enfants de son âge (inférieur au percentile 5).

Résultats pour la validité sociale

Concernant l'échelle de validité sociale, Elisa donne un score de 25/28 avec 2/4 à l'affirmation « Je pense que ce jeu m'a aidé pour le calcul » et 3/4 à l'affirmation « J'ai aimé jouer aux jeux sur l'ordinateur ». Manon donne un score de 26/28 avec 3/4 pour les affirmations « Je pense que ce jeu m'a aidé pour mieux compter » et « Je pense que ce jeu m'a aidé pour mieux voir très rapidement le nombre d'objets sur l'écran ». Léo donne un score de 23/28 avec 2/4 pour l'affirmation « Je pense que ce jeu m'a aidé pour le calcul » et 3/4 pour les affirmations « J'ai aimé jouer aux jeux sur



Note. Les résultats pour l'épreuve calcul 0-10 n'ont pas été reportés dans le graphique car il n'y avait pas de mesure à T2.

FIGURE 3 : Illustration des résultats significatifs et marginaux pour Manon.

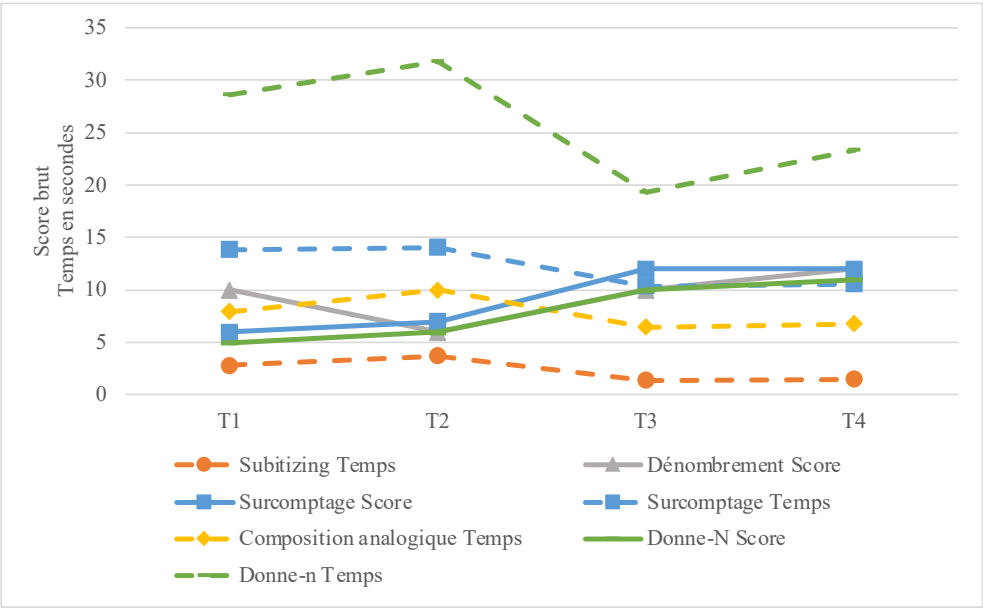


FIGURE 4 : Illustration des résultats significatifs pour Léo.

l'ordinateur », « Je pense que ce jeu m'a aidé pour mieux voir très rapidement le nombre d'objets sur l'écran » et « Je pense que jouer aux jeux sur l'ordinateur trois fois par semaine c'est bien ».

DISCUSSION

Interprétation des résultats

Hypothèse 1

Selon l'hypothèse 1, nous espérions que les enfants TAM amélioreraient leurs performances en dénombrement, subitizing conceptuel et surcomptage après l'intervention. L'hypothèse est validée.

Les participants ont progressé en dénombrement. Elisa a amélioré son score, mais pas son temps. Cela est cohérent avec ses stratégies. Avant l'intervention, sa comptine numérique n'était pas stable et son pointage peu efficient. Elle commettait donc de nombreuses erreurs. Après l'intervention, Elisa était capable de s'organiser pour éviter d'oublier ou de recompter des éléments. Sa comptine numérique s'est stabilisée et elle disposait d'une meilleure coordination oro-manuelle. Manon a amélioré de manière significative son temps, mais pas son score. Celui-ci a augmenté mais pas de manière significative, notamment car ses scores étaient déjà plutôt élevés avant l'intervention. Son temps a diminué car Manon a amélioré sa coordination oro-manuelle et s'est bien saisie des stratégies explicites d'exploration transmises lors des séances. Pour Léo, une amélioration est à noter au niveau du score. L'intervention lui a permis de renforcer sa coordination oro-manuelle et de mettre en place des stratégies d'exploration efficientes. Toutefois, son temps n'a pas diminué étant donné qu'il doutait encore pour certains items et recomptait les éléments de la collection.

Concernant le subitizing conceptuel, les trois participants ont également progressé. Elisa a amélioré son score et son temps. Avant l'intervention, elle utilisait une stratégie de dénombrement, elle pouvait seulement subitiser 1 ou 2 points. Après l'intervention, elle était capable de subitiser des configurations canoniques (dés) de 1 à 6 points. Manon et Léo ont amélioré leur temps mais pas leur score. Cela est cohérent puisque leurs scores avant l'intervention étaient très élevés, ils avaient donc une faible marge de progression. Avant l'intervention, Manon et Léo utilisaient parfois une stratégie de dénombrement avec un pointage digital. Après l'intervention, ils étaient capables d'employer systématiquement une stratégie de subitizing, ce qui explique la diminution du temps.

Concernant le surcomptage, les trois participants ont globalement progressé. Elisa a amélioré ses scores aux deux épreuves. Avant l'intervention, elle ne parvenait pas à comprendre qu'elle devait ajouter les deux quantités. Elle essayait de dénombrer la première collection, puis s'arrêtait ou répondait au hasard. Au cours de l'intervention, sa comptine numérique est devenue sécable et, avec ses progrès en dénombrement et subitizing, elle a pu accéder au surcomptage. Toutefois, lors du post-test, elle a dénombré les collections et n'a pas utilisé le surcomptage. Cette stratégie ne devait pas être encore assez automatisée pour qu'elle l'utilise seule en situation d'évaluation. Manon n'a pas progressé à l'épreuve composition analogique, mais a amélioré son score et son temps à l'épreuve Diaporama surcomptage. Cette dissociation peut s'expliquer notamment par le fait que ses scores avant l'intervention étaient très élevés pour l'épreuve Composition analogique car Manon a dénombré correctement les points présentés de manière organisée. En revanche, elle a commis plus d'erreurs dans le Diaporama surcomptage où une partie des points était dispersée. La marge de progression pour le score était donc plus importante pour l'épreuve Diaporama surcomptage. D'autre part, tout comme Elisa, Manon maîtrisait la stratégie de surcomptage en séances mais elle l'a très peu utilisée en situation d'évaluation. Léo a amélioré son temps pour les deux épreuves et son score pour l'épreuve diaporama surcomptage. La raison de la dissociation des résultats au niveau du score est similaire à Manon. Léo a amélioré son temps car il est passé d'une stratégie de dénombrement à une stratégie de surcomptage.

Les participants ont donc progressé pour les trois mesures d'apprentissage. Ces résultats sont en adéquation avec les études ayant évalué l'effet d'interventions ciblant le subitizing conceptuel et/ou le dénombrement auprès d'enfants avec TAM ou à risque (par exemple : Fischer et al., 2008b ; Hinton et al., 2016).

Hypothèse 2

Selon l'hypothèse 2, nous espérions que les enfants avec TAM amélioreraient leurs performances en dénombrement (production)

et en calcul (généralisation de l'intervention). L'hypothèse est partiellement validée.

Concernant l'épreuve donne-n (tâche de dénombrement production qui n'a pas été entraînée en tant que telle), les trois enfants ont progressé. Les scores d'Elisa ont augmenté. Avant l'intervention, elle n'utilisait pas de stratégie de dénombrement. Elle donnait souvent une poignée de jetons et manipulait les jetons sans objectif numérique. Après l'intervention, elle était capable d'utiliser une stratégie de dénombrement. Quelques erreurs persistaient en raison notamment de difficultés à maintenir son attention et à ne pas se perdre dans la manipulation avec les jetons. Manon et Léo ont amélioré leur score et leur temps. Avant l'intervention, ils ne parvenaient pas à mettre en place une stratégie efficiente et perdaient du temps à s'organiser et recompter les jetons. Ainsi, ils omettaient ou comptaient plusieurs fois certains éléments. De plus, Léo manipulait parfois les jetons sans visée numérique. Après l'intervention, ils ont su trouver une stratégie plus efficiente. Manon plaçait les jetons en ligne et Léo réalisait des piles de cinq jetons.

Concernant le calcul, aucune amélioration n'est relevée concernant l'épreuve calcul 0-10 pour Elisa et l'épreuve calcul 10-20 pour Manon et Léo. Avant l'intervention, Elisa ne maîtrisait pas certaines compétences mathématiques de base, comme la comptine numérique. Cette intervention était donc sûrement trop courte pour qu'elle puisse accéder à la résolution de calculs. Quant à Léo, cela peut s'expliquer par le fait qu'il réussissait déjà avant l'intervention à résoudre les additions avec une stratégie de dénombrement. Il était seulement en difficulté pour les soustractions. Or, les opérations de retrait ne sont pas vraiment abordées dans le protocole, contrairement aux opérations d'ajout. Concernant les stratégies, Léo n'a pas utilisé le surcomptage, il a continué à employer une stratégie de dénombrement qu'il maîtrisait bien. Une intervention plus longue et axée sur des plus grandes quantités aurait peut-être pu lui permettre d'automatiser une stratégie de surcomptage. En effet, la présence de nombres plus grands justifie davantage l'utilisation de cette stratégie. Manon n'a pas progressé à l'épreuve calcul 10-20 mais a réussi à résoudre les additions à l'épreuve calcul 0-10 en utilisant une stratégie de dénombrement. L'intervention lui a donc permis de comprendre le sens de l'opération d'addition et de résoudre des opérations additives simples.

Ces résultats ne sont pas totalement concordants à ceux de certaines études antérieures qui ont montré un transfert sur les performances arithmétiques (Fischer et al., 2008a ; Friso-van den Bos et al., 2018 ; Obersteiner et al., 2013 ; Özdem & Olkun, 2019 ; Praet & Desoete, 2014).

Hypothèses 3, 4 et 5

Selon l'hypothèse 3, nous espérions que les enfants avec TAM maintiendraient leur progrès un mois après la fin de l'intervention. Les résultats montrent que les trois participants ont maintenu leurs performances en subitizing conceptuel, dénombrement, surcomptage et dénombrement production. Ces résultats sont en adéquation avec les observations de Hinton et al. (2016) selon lesquelles les enfants de 5 ans à risque de TAM maintenaient leurs performances en subitizing, dénombrement et surcomptage deux semaines après l'intervention. La présente étude étend les résultats et montre que des enfants de 5 à 8 ans après un entraînement avec le logiciel SUBéCAL ont maintenu leurs résultats un mois après la fin de l'intervention. En revanche, concernant l'arithmétique, Manon n'a pas maintenu ses résultats. L'intervention n'était peut-être pas assez longue pour qu'elle automatise une première stratégie de résolution. De plus, il faut également prendre en compte que Manon présente un TAM non spécifique dans le cadre d'un syndrome génétique et d'un trouble du spectre autistique. Elle peut ainsi avoir besoin davantage de temps pour généraliser et automatiser des stratégies.

Selon l'hypothèse 4, nous espérions que les enfants avec un TAM n'amélioreraient pas leurs performances à l'épreuve vocabulaire mathématique en réception (mesure contrôle). Elisa et Manon n'ont pas progressé. Le score brut de Léo a augmenté mais il reste inférieur à la norme des enfants de son âge (inférieur au percentile 5). Les progrès au niveau du subitizing et du dénombrement semblent ainsi dus spécifiquement à l'intervention proposée.

Enfin, selon l'hypothèse 5, nous espérions que les enfants avec TAM seraient satisfaits de l'intervention avec le logiciel SUBéCAL (mesure de validité sociale). Manon, Elodie et Léo ont été respectivement satisfaits à hauteur de 93%, 89% et 82%. Elisa et Léo ont choisi une fois plutôt pas d'accord pour l'affirmation « je pense que ce

jeu m'a aidé pour le calcul », ce qui est cohérent étant donné qu'ils n'ont pas progressé dans cette tâche.

Limites de l'étude

Les résultats de cette étude sont encourageants mais quelques limites sont à relever. Tout d'abord, la méthode est une étude de cas multiples avec trois participants et les résultats doivent être reproduits dans plusieurs études de cas ou avec un échantillon plus important pour que la pratique soit reconnue comme probante (Ebbels, 2017 ; Horner et al., 2005).

Une autre limite concerne l'interprétation des résultats pour les scores obtenus aux mesures d'apprentissage pour Léo et Manon. En effet, comme évoqué précédemment, leurs scores de précision étaient déjà élevés avant l'intervention. Toutefois, à 8 ans, réaliser quelques erreurs dans ces épreuves et ne pas avoir automatisé de stratégies efficientes situent ces enfants en dessous des normes pour leur âge lors des tests standardisés. Il était donc nécessaire de renforcer ces compétences bien qu'il ait été difficile parfois de montrer une évolution significative au niveau des scores de précision contrairement aux scores de temps.

Enfin, l'étude n'a pas mis en évidence une amélioration généralisée des capacités arithmétiques. Cela pourrait s'expliquer par un biais de recrutement : il pourrait être envisagé de recruter des patients sans pathologie associée (avec un TAM) qui présentent d'importantes difficultés pour résoudre les additions. La tâche de calcul pourrait aussi être plus sensible en évaluant seulement la résolution des additions.

Implications cliniques

Les effets de l'intervention sont encourageants et ont une implication pour la pratique clinique orthophonique. L'étude montre l'efficacité d'une intervention explicite, graduée, intensive et ciblée sur le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage. Les enfants ont de plus apprécié cette intervention et ont relevé que les différentes tâches et feedback les ont aidés à progresser.

Cette intervention courte et intensive peut être reproduite dans le milieu clinique, en proposant une ou deux séances au cabinet et une ou deux séances en visioconférence par semaine. De plus, la télépratique en orthophonie s'est développée en lien avec le contexte sanitaire depuis mars 2020. Certains professionnels et leurs patients sont ainsi déjà familiarisés avec cette modalité de séances. Les logiciels informatisés comme SUBéCAL se prêtent à une utilisation en télépratique. Ils peuvent s'inscrire facilement dans une intervention individualisée, intensive et progressive via notamment le réglage des différents paramètres.

Perspectives et recherche

Les études de cas avec une méthodologie rigoureuse sont importantes pour établir des pratiques fondées sur les preuves notamment dans le domaine de l'orthophonie et de l'éducation spécialisée (Ebbels, 2017 ; Horner et al., 2005). Horner et al. (2005) ont décrit des critères pour évaluer si les résultats d'une étude de cas documentent une pratique probante. Ils précisent ainsi qu'une pratique doit avoir été testée et s'être montrée efficace dans au moins cinq études de cas répondant à des critères méthodologiques acceptables. Ces études doivent avoir été menées par au moins trois chercheurs différents dans au moins trois lieux géographiques distincts. Enfin, les études doivent comprendre au total au moins 20 participants. Ainsi, l'intervention décrite dans cette étude ne peut être reconnue en elle-même comme une pratique probante. Il serait donc pertinent de répliquer le protocole avec un plus grand nombre de participants, avec différents chercheurs ainsi que dans différentes localisations géographiques, en faisant les ajustements nécessaires (par exemple : durée du protocole, amélioration de la tâche d'addition). Il serait intéressant de conserver la double modalité de séances (présentiel et visioconférence) afin que cela corresponde davantage à la pratique clinique orthophonique actuelle en France.

BIBLIOGRAPHIE

American Psychiatric Association. (2015) *DSM-5—Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5e éd.). Elsevier Masson.

Andersson, U., & Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences, 22*(6), 701-714. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004

Ashkenazi, S., Mark-Zigdon, N., & Henik, A. (2013). Do subitizing deficits in developmental dyscalculia involve pattern recognition weakness? *Developmental Science, 16*(1), 35-46. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01190.x

Baccaglini-Frank, A., & Maracci, M. (2015). Multi-touch technology and preschoolers' development of number-Sense. *Digital Experiences in Mathematics Education, 1*, 7-27. https://doi.org/10.1007/s40751-015-0002-4

Barendregt, W., Lindström, B., Rietz-Lepännen, E., Holgersson, I., & Ottosson, T. (2012). Development and evaluation of Fingu: A mathematics iPad game using multi-touch interaction. *IDC'12: Proceedings of the 11th International Conference on Integration Design and Children* (p.204-207). https://doi.org/10.1145/2307096.2307126

Bolsius, C., et Gros, P. (2010). Du comptage au calcul. In J.-L. Durepaire & M. Mégard (dir.), *Le nombre au cycle 2* (p. 35-50). SCEREN.

Butterworth, B. (2005). Developmental Dyscalculia. In J. I. D. Campbell (dir.), *Handbook of mathematical cognition* (p. 455-467). Psychology press.

Cattini, J., & Lafay, A. (2021). L'efficacité des interventions en mathématiques chez les enfants ayant un trouble des apprentissages en mathématiques ou à risque. *Glossa,* 131, 87-120.

Clements, D. H. (1999). Subitizing: What is it? Why teach it? *Teaching Children Mathematics, 5*(7), 400-405. https://doi.org/10.5951/TCM.5.7.0400

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

Desoete, A., & Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and Individual Differences, 16*(4), 351-367. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2006.12.006

Ebbels, S. H. (2017). Intervention research: Appraising study designs, interpreting findings and creating research in clinical practice. *International Journal of Speech-Language Pathology, 19*(3), 218-231. https://doi.org/10.1080/17549507.2016.1276215

Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *Médecine/Sciences, 24*(1), 87-90. https://doi.org/10.1051/medsci/200824187

Fischer, B., Gebhardt, C., & Hartnegg, K. (2008a). Subitizing and visual counting in children with problems in acquiring basic arithmetic skills. *Optometry & Vision Development, 39*(1), 24-29. https://www.covd.org/page/OVD_391

Fischer, B., Köngeter, A., & Hartnegg, K. (2008b). Effects of daily practice on subitizing, visual counting, and basic arithmetic skills. *Optometry & Vision Development, 39*(1), 30-34. https://www.covd.org/page/OVD_391

Friso-van den Bos, I., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2018). Counting and number line trainings in kindergarten: Effects on arithmetic performance and number sense. *Frontiers in Psychology, 9*(975). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00975

Geary, D. C., Bow-Thomas, C. C., & Yao, Y. (1992). Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology, 54*(3), 372-391. https://doi.org/10.1016/0022-0965(92)90026-3

Helloin, M.-C., & Lafay, A. (2021). *Examath 5-8, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques pour les enfants de 5 à 8 ans.* HappyNeuron.

Hinton, V. M., Flores, M. M., Schweck, K., & Burton, M. E. (2016). 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

Horner, R. H., Carr, E. G., Halle, J., McGee, G., Odom, S., & Wolery, M. (2005). The use of single-subject research to identify evidence-based practice in special education. *Exceptional Children, 71*(2), 165-179. https://doi.org/10.1177/001440290507100203

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., & Helloin, M.-C. (2019). *SUBéCAL, un logiciel d'intervention basé sur le subitizing et le dénombrement pour le développement du calcul.* HappyNeuron.

Lafay, A., Macoir, J., & St-Pierre, M.-C. (2018). Impairment of arabic- and spoken-number processing in children with mathematical learning disability. *Journal of Numerical Cognition, 3*(3), 620-641. https://doi.org/10.5964/jnc.v3i3.123

Lafay, A., St-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2019). Impairment of non-symbolic number processing in children with mathematical learning disability. *Journal of Numerical Cognition, 5*(1), 86-104. https://doi.org/10.5964/jnc.v5i1.177

Lafay, A., St-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa,* 112, 1-17.

Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition, 93*(2), 99-125. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.11.004

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

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

Moeller, K., Neuburger, S., Kaufmann, L., Landerl, K., & Nuerk, H.-C. (2009). Basic number processing deficits in developmental dyscalculia: Evidence from eye tracking. *Cognitive Development, 24*(4), 371-386. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.09.007

Nguyen, T., Watts, T. W., Duncan, G. J., Clements, D. H., Sarama, J. S., Wolfe, C., & Spitler, M. E. (2016). Which preschool mathematics competencies are most predictive of fifth grade achievement? *Early Childhood Research Quarterly,* 36, 550-560. https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.02.003

Noël, M.-P., & Karagiannakis, G. (2020). Les bases d'une intervention cognitive pour les problèmes d'apprentissage en mathématiques et les dyscalculies. In M.-P. Noël & G. Karagiannakis (dir.), *Dyscalculie et difficultés d'apprentissage en mathématiques* (p. 11-48). De Boeck Supérieur.

Obersteiner, A., Reiss, K., & Ufer, S. (2013). How training on exact or approximate mental representations of number can enhance first-grade students' basic number processing and arithmetic skills. *Learning and Instruction,* 23, 125-135. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.08.004

Özdem, Ş., & Olkun, S. (2019). Improving mathematics achievement via conceptual subitizing skill training. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 52*(4), 565-579. https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1694710

Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J.-A., Smith-Chant, B. L., Skwarchuck, S.-L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (2007). The foundations of numeracy: Subitizing, finger gnosia, and fine motor ability. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society,* 29. https://escholarship.org/uc/item/8vb45554

Praet, M., & Desoete, A. (2014). Enhancing young children's arithmetic skills through non-intensive, computerised kindergarten interventions: A randomised controlled study. *Teaching and Teacher Education,* 39, 56-65. https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.12.003

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

Starkey, P., & Cooper Jr, R. G. (1995). The development of subitizing in young children. *British Journal of Developmental Psychology, 13*(4), 399-420. https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1995.tb00688.x

Starkey, P., & Cooper Jr, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210*(4473), 1033-1035. https://doi.org/10.1126/science.7434014

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

Wästerlid, C. A. (2020). Conceptual subitizing and preschool class children's learning of the Part-whole relations of number. *Problems of Education in the 21st Century, 78*(6), 1038-1054. https://dx.doi.org/10.33225/pec/20.78.1038

Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of « The Number Race », an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions, 2*, 20. https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-20

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition, 36*(2), 155-193. https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90003-3