

---

## Effet d'une intervention basée sur la mémoire à court terme ordre sériel VS en ordinalité numérique chez des enfants faibles en mathématiques : étude de cas multiples

**Auteur :** Engels, Marie

**Promoteur(s) :** Attout, Lucie

**Faculté :** Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

**Diplôme :** Master en logopédie, à finalité spécialisée en neuropsychologie du langage et troubles des apprentissages verbaux

**Année académique :** 2022-2023

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/19293>

---

### Avertissement à l'attention des usagers :

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



Effet d'une intervention basée sur la mémoire à court terme ordre  
sériel VS en ordinalité numérique chez des enfants faibles en  
mathématiques : étude de cas multiples

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de master en logopédie

Engels Marie

Année académique 2022-2023

Promotrice : Madame Attout Lucie

Lectrices : Mesdames Gerardy Marie-Caroline et Menjot Pauline



## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier grandement et sincèrement ma promotrice, Madame Lucie Attout, pour sa disponibilité, son aide et ses nombreux conseils. Sans elle, ce travail n'aurait pas pu être réalisé.

Je remercie de tout cœur Madame Mokhtari Fouzia, logopède de l'école, pour sa bienveillance et sa confiance. La mise en pratique de ce mémoire n'aurait pas été possible sans elle.

Je tiens ensuite à remercier les enfants ayant participé à ce mémoire pour leur bonne humeur et leur motivation. Avec eux, ce travail a pris tout son sens.

Je tiens également à remercier les lectrices de ce mémoire, Mesdames Gerardy Marie-Caroline et Menjot Pauline, pour l'intérêt porté à ce sujet.

Je remercie ma sœur, Juliette, pour son temps consacré à la relecture de ce mémoire et ses encouragements quotidiens.

Enfin, je tiens à remercier du plus profond de mon cœur, Alexander, pour ses relectures, sa patience et son soutien inconditionnel.

## Table des matières

1.	Introduction générale.....	1
2.	Introduction théorique .....	3
2.1.	L'ordre sériel .....	3
2.1.1.	L'ordre en cognition numérique .....	3
2.1.2.	Lien entre ordinalité et compétences en calcul .....	6
2.1.3.	Ordre sériel en mémoire à court terme.....	9
2.1.4.	L'ordre sériel en mémoire à court terme et les compétences en calcul .....	11
2.1.5.	Ordinalité et mémoire ordre sériel .....	15
2.2.	La dyscalculie.....	16
2.2.1.	Déficit dans un facteur numérique : l'ordinalité.....	17
2.2.2.	Déficit dans un facteur général : mémoire ordre sériel .....	19
2.3.	Les interventions validées.....	20
2.3.1.	Les interventions en cognition numérique .....	22
2.3.2.	Les interventions en mémoire de travail .....	24
2.3.3.	Conclusion.....	26
3.	Objectifs et hypothèses.....	27
4.	Méthodologie .....	29
4.1.	Participants .....	29
4.1.1.	Critères de recrutement.....	29
4.1.2.	Tests administrés en prétest .....	30
4.1.3.	Profil des participants .....	31
4.1.3.1.	Profil de K. ....	31

4.1.3.2.	Profil de J-P.....	33
4.1.3.3.	Profil de E.....	34
4.1.3.4.	Profil de C.....	35
4.1.3.5.	Profil de N. ....	37
4.2.	Déroulement général de l'étude.....	38
4.2.1.	Description des lignes de base.....	39
4.2.2.	Description des rééducations.....	42
4.2.2.1.	Entraînement en ordinalité numérique.....	42
4.2.2.2.	Entraînement de la mémoire à court terme ordre sériel.....	45
5.	Résultats.....	47
5.1.	Résultats de K.....	48
5.2.	Résultats de E.....	50
5.3.	Résultats de J-P.....	52
5.4.	Résultats de C.....	54
5.5.	Résultats de N.....	56
6.	Discussion.....	59
6.1.	Interprétation des résultats.....	60
6.2.	Implications et retombées cliniques.....	62
6.3.	Limites de notre étude.....	65
7.	Conclusion et perspectives futures.....	67
8.	Bibliographie.....	68
9.	Annexes.....	84
9.1.	Résultats des participants illustrés par graphiques.....	84

9.2.	Résultats scores bruts de chaque participant .....	91
9.3.	Items lignes de base .....	98
9.4.	Matériel séances mémoire ordre sériel.....	104
9.5.	Matériel séances en ordinalité.....	107

## 1. Introduction générale

Le monde dans lequel nous vivons est construit par les mathématiques, que ce soit lorsque nous faisons nos courses, calculons un itinéraire ou choisissons le panier dans lequel il y a le plus de bonbons pour les plus gourmands d'entre nous. Nous sommes confrontés tout au long de notre vie par les nombres, et leur maîtrise est essentielle pour comprendre le monde qui nous entoure. Les habiletés numériques seraient présentes très tôt chez l'humain avant même qu'il en ait conscience. En effet, plusieurs études ont montré que, dès son plus jeune âge, l'enfant pourrait avoir recours à des compétences mathématiques précoces.

Les mathématiques sont donc présentes au quotidien et constituent une matière scolaire importante tout au long de l'apprentissage chez les enfants. Malheureusement, plusieurs d'entre eux rencontrent des difficultés et développent une anxiété dans ce domaine.

La dyscalculie a longtemps été incomprise due à son hétérogénéité. Pourtant, beaucoup d'enfants en souffrent et la compréhension de ce trouble est nécessaire pour adapter au mieux une rééducation et ainsi les aider pleinement à surmonter leurs difficultés. Les enfants avec des difficultés en mathématiques peuvent en réalité en souffrir profondément. Sentiments d'incompréhension, d'infériorité, anxiété, peur de l'échec...: tout ceci peut conduire rapidement à une baisse d'estime et de confiance en soi. Ils peuvent ainsi ressentir de l'appréhension et du stress dès lors qu'un calcul ou un problème doit être effectué et peuvent, en conséquence, laisser apparaître un comportement d'évitement qui amplifiera les difficultés. Mais comment faire pour les aider au mieux ? Faudrait-il revenir à la base, là où tout a commencé, pour pouvoir comprendre les difficultés de l'enfant dyscalculique ? La cognition numérique.

En effet, les enfants dyscalculiques pourraient présenter un déficit au niveau des facteurs numériques sous-tendant à une compréhension globale du nombre incluant l'aspect quantitatif, la cardinalité. Cependant, un autre aspect montrant aujourd'hui un lien non négligeable avec les mathématiques a longtemps été mis de côté, celui de la relation entre les nombres : l'ordinalité.

La dyscalculie étant un trouble hétérogène, d'autres domaines impliqués dans les mathématiques peuvent expliquer les difficultés rencontrées. En effet, des facteurs cognitifs plus généraux tels que la mémoire de travail se sont avérés être en lien avec les performances



en mathématiques, mais également déficitaires chez les enfants dyscalculiques.

La mémoire de travail englobe plusieurs composantes et il est encore difficile, aujourd'hui, de trouver celle qui expliquerait le plus les difficultés rencontrées en mathématiques. Il y a peu de temps, un nouvel élément a été découvert et rajouté au modèle de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch : l'aspect ordre sériel. Dès lors, une nouvelle conception de la mémoire a été proposée par Majerus (2010) : le modèle A-O-WM. Celui-ci prend en compte ce nouvel aspect faisant partie de la mémoire de travail. L'ordre sériel pourrait avoir un lien important avec les habiletés en mathématiques et quelques études, notamment celles de Attout & Majerus, ont mis en lumière ce nouveau facteur qui s'est avéré être déficitaire chez les enfants dyscalculiques.

Dans ce mémoire nous allons nous intéresser à l'aspect ordre de manière générale, en comparant deux rééducations : une spécifique portant sur l'ordre en cognition numérique : l'ordinalité et une autre portant sur un facteur plus général : l'ordre sériel en mémoire à court terme verbale.

Ces deux domaines s'avérant être déficitaires chez les enfants faibles en mathématiques, nous pouvons dès lors nous demander s'il est préférable d'opter pour une rééducation spécifique en ordinalité numérique afin d'améliorer les habiletés numériques ou si la rééducation portant sur un facteur plus général en mémoire à court terme ordre sériel serait plus bénéfique afin d'améliorer les compétences en mathématiques. Est-ce que le traitement ordinal reposerait sur un processus commun, permettant ainsi à l'un des entraînements d'améliorer l'autre domaine ? Ou, est-ce que ces deux rééducations seraient complémentaires ?

Pour tenter de répondre à ces questionnements, nous essaierons d'éclaircir quelques points pour expliquer notre choix d'entraîner ces deux domaines chez des enfants ayant des difficultés en mathématiques.

Notre travail se divisera en trois parties. Tout d'abord, nous parlerons de l'ordre en cognition numérique et de son lien avec les capacités en calculs, puis nous discuterons de l'ordre en mémoire à court terme verbale et de son lien avec les habiletés en mathématiques. En deuxième partie, nous tenterons d'expliquer ce qu'est la dyscalculie et nous essaierons de comprendre les facteurs numériques et généraux pouvant expliquer ce trouble des apprentissages. Enfin, nous terminerons par présenter différentes interventions publiées dans la littérature, ayant été réalisées en cognition numérique et en mémoire de travail dans le but d'améliorer spécifiquement le domaine travaillé et indirectement les performances en arithmétiques.

## 2. Introduction théorique

### 2.1. L'ordre sériel

#### 2.1.1. L'ordre en cognition numérique

Durant leur développement, les enfants passent par plusieurs étapes pour construire peu à peu leur représentation des nombres et des quantités. Dehaene & Cohen (1995) proposent un modèle reprenant les différentes étapes du développement numérique. Nous retrouvons le code « analogique », aussi appelé « code non-symbolique ». Il permet de quantifier une collection comme un ensemble de points, c'est un système non-numérique indépendant du langage. Dans ce code analogique nous retrouvons deux systèmes : le système numérique précis, utilisé durant le subitizing et le système numérique approximatif (SNA), utilisé pour l'estimation. Le subitizing est la capacité à se représenter rapidement de petites quantités inférieures à 4 (Estévez-Pérez et al., 2019). À l'inverse du subitizing, le SNA est utilisé lors de tâches telles que l'estimation, et permet de quantifier approximativement de grandes collections (Odic & Starr, 2018). Nous développerons plus bas le troisième aspect permettant la quantification précise : le dénombrement.

Nous retrouvons ensuite dans ce modèle, les « codes symboliques ». Ils sont composés du « code verbal » qui permet d'associer une forme verbale à une quantité, par exemple /dø/ avec son aspect quantitatif ●● et le « code arabe », acquis un peu plus tard, qui lui permet d'associer l'écriture d'un chiffre/nombre, par exemple « deux », à sa quantité non symbolique ou forme verbale.

Au cours de son évolution, l'enfant apprend donc à relier les quantités aux symboles oraux et arabes, ce qu'on appelle le mapping. Cela sera essentiel par la suite notamment pour la réalisation de manipulations mathématiques.

Pour développer les liens entre le non symbolique et symbolique, la chaîne numérique constituerait un prérequis pour permettre cela (Le Corre & Carrey, 2007). Aux alentours de deux ans, les enfants commencent alors à apprendre la chaîne numérique et pourront compter jusqu'à cent vers l'âge de six ans (Noël, 2015). Plusieurs étapes constituent l'acquisition et la maîtrise de cette chaîne numérique allant du niveau chapelet, c'est-à-dire la capacité d'énoncer la chaîne dans son entièreté, jusqu'au dernier niveau, la chaîne terminale où l'enfant pourra compter d'une borne à une autre en sachant combien d'éléments il y a entre les deux extrémités. Le développement de cette chaîne numérique va permettre de laisser développer le comptage et le dénombrement. Le dénombrement permet donc une quantification exacte. Lorsque l'enfant

comprend que la dernière chose qu'il a comptée reprend le nombre entier de la collection, alors la notion de cardinalité est comprise.

La cognition numérique pourrait dépendre de deux systèmes centraux, l'un pour représenter les grandeurs, la cardinalité et l'autre pour représenter la place des nombres et la relation entre eux, l'information ordinale. La cardinalité fait donc référence à un aspect de quantité. Une tâche que nous pouvons retrouver pour évaluer ce processus est la comparaison de nombres, c'est-à-dire repérer le plus grand nombre ou le plus petit entre deux collections (Rubinsten & Sury, 2011).

Mais le nombre peut avoir une autre signification, il peut représenter un ordre particulier qu'il a en fonction des autres nombres. À la différence de la cardinalité, l'ordinalité ne permet pas la quantification mais le classement d'un nombre/objet par rapport à un autre (Rubinsten & Sury, 2011). L'ordinalité permet donc de comprendre la relation entre les nombres, respectant un ordre défini, par exemple, nous savons ainsi que 4 est après 3 mais avant 5.

La compréhension de ces positions numériques peut se faire avec l'aide de la formation d'une ligne numérique s'agrandissant en fonction de la connaissance de la chaîne numérique (Woods, Basaraba & Geller, 2017). Le développement de cette droite numérique mentale qui représente les relations entre les nombres aiderait à sous-tendre le développement de la connaissance des systèmes numériques (Case et al., 1996). De nombreuses recherches mettent en avant l'importance de l'utilisation de représentations visuelles des nombres pour favoriser le développement de la compréhension des mathématiques chez les élèves. (Gersten et al., 2009 ; Woods et al., 2017). Cette ligne pourrait aider au développement d'une représentation mentale pour avoir accès à l'ordre et la grandeur des nombres utilisés pour faire des comparaisons de grandeur, réaliser des opérations arithmétiques et comprendre la valeur positionnelle des nombres (Diezmann & Lowrie, 2006).

Mais qu'en est-il de la naissance de l'ordinalité ? Son développement est discuté dans la littérature scientifique. Pour certains auteurs, la représentation de la relation entre les nombres serait probablement une capacité innée ou évolutive (Brannon, 2002 ; Cantlon & Brannon, 2006 ; Sury & Rubinsten 2012). Les enfants comprendraient dans un premier temps l'existence d'une suite spéciale, construite avec des mots-nombres, puis ils apprendraient que ces mots-nombres sont dans un ordre particulier restant toujours le même, et qu'ils apparaissent une seule fois dans la chaîne numérique (Fuson, 1988). Pour appuyer cela, certains auteurs ont montré la nécessité de compréhension des relations ordinales entre les nombres pour effectuer dans un

second temps une tâche de comparaison, faisant appel à l'aspect quantitatif. Par exemple, pour comparer 4 et 5, il faudrait se rappeler que 5 vient après 4 (Lyons et al., 2014 ; Sury & Rubinsten, 2012 ; Turconi, Campbell, & Seron, 2006). La capacité à ordonner des chiffres serait également un prédicteur de la performance des adultes sur une tâche de comparaison de chiffres (Sasangui et al., 2017). D'autres auteurs sont en faveur d'une pensée inverse, en expliquant que l'acquisition de l'ordinalité se développerait après celle de la cardinalité (Colomé & Noël, 2012).

Le lien et le développement de la cardinalité et de l'ordinalité sont discutés dans la littérature. Toutefois, ces deux domaines numériques pourraient montrer une dissociation avec l'implication de processus cognitifs différents lors des tâches mettant en jeu l'ordinalité et la cardinalité.

Turconi et al. (2004) ont demandé à des adultes d'effectuer deux tâches. Une où ils devaient comparer la magnitude de deux nombres, c'est-à-dire associer une forme verbale ou écrite à une quantité et une autre où ils devaient juger si un nombre était « avant ou après un autre ». Les résultats de cette étude ont montré que l'activation cérébrale était plus rapide et plus importante dans l'hémisphère gauche lors du traitement de quantités tandis qu'elle était plus lente avec une activation bilatérale pour le traitement de l'ordre. Les jugements ordinaux et cardinaux produiraient des schémas distincts d'activité cérébrale (Lyons & Beilock, 2013).

Pour appuyer cette dissociation, plusieurs études ont montré que lors d'une tâche de jugement d'ordinalité, par exemple « Est-ce que la suite 2-3-4 est dans le bon ordre croissant ? », les participants présenteraient un effet de distance inverse. En effet, il serait plus facile et rapide de répondre lorsque les chiffres sont séparés d'une petite distance, que lorsque la distance entre eux s'agrandit, par exemple « Est-ce que la suite 2-5-9 est dans le bon ordre croissant ? ». À l'inverse, les tâches de comparaison de quantités laisseraient apparaître un effet de distance, c'est-à-dire que les participants auraient plus de facilité à juger le plus grand nombre entre 34-67 que 34-37 (Goffin & Ansari, 2016 ; Lyons & Beilock, 2013 ; Sella, Sasanguie & Reynvoet, 2020).

Mais qu'en est-il pour l'ordinalité non symbolique, c'est-à-dire, savoir si une suite d'objets/points est dans le bon ordre ? Ce processus est-il dissocié de la cardinalité ? Certains auteurs auraient identifié un effet de distance lors du jugement d'ordre d'une suite non symbolique, sans effet de distance inverse (Finke et al., 2021). L'aspect cardinal pourrait donc être utilisé lors d'une tâche de jugement d'ordinalité non symbolique. Lyons & Beilock (2013)

ont observé dans l'une de leurs études que les activations cérébrales lors d'une tâche de comparaison de nombres seraient les mêmes que lors d'une tâche de jugement d'ordinalité non symbolique. L'aspect quantitatif entrerait donc en jeu lors du jugement de l'ordinalité non symbolique.

Nous avons vu brièvement le développement de l'ordinalité en cognition numérique chez l'enfant mais qu'en est-il du lien entre ces compétences de base et celles plus complexes telles que le calcul ?

### 2.1.2. Lien entre ordinalité et compétences en calcul

Depuis quelques années, de nombreuses études ont été réalisées pour tenter de comprendre l'importance de l'acquisition du sens du nombre sur les capacités arithmétiques.

Ben-Shalom, Berger et al., (2012), émettent l'hypothèse que les capacités numériques de base telles que l'estimation, la comparaison de nombres et l'ordinalité seraient à la base de tout niveau supérieur en mathématiques.

Les capacités lors d'une tâche d'estimation de grandeur numérique seraient corrélées avec le résultat obtenu en mathématiques de manière générale chez des enfants de première primaire (Booth & Siegler, 2008 ; Schneider et al., 2018). Au niveau de la comparaison, un débat dans la littérature a eu lieu pour savoir si un travail avec du matériel non-symbolique pouvait être en lien avec les capacités en calculs ou s'il était préférable de travailler directement avec du matériel symbolique, c'est-à-dire les nombres. Pour Desoete et al. (2012), les compétences non-symboliques prédiraient les résultats en arithmétique un an plus tard tandis que la comparaison des nombres arabes serait liée aux résultats en calcul deux ans plus tard (Booth & Siegler, 2008 ; Desoete et al., 2012). Les compétences numériques non symboliques auraient un effet indirect sur les compétences en mathématiques mais, pour certains auteurs, l'ordre serait le médiateur de ce transfert (Lyons & Beilock, 2011 ; Sury & Rubbinsten, 2012). À partir de 6 ans, ce serait le symbolique qui serait un prédicteur plus important (Li et al., 2018).

Les compétences en calcul seraient donc corrélées avec les représentations numériques de grandeurs.

Cependant, pour certains auteurs, la capacité à comparer deux quantités numériques serait certes un prédicteur des compétences précoces en arithmétiques mais à partir de la 6-ème année, l'ordre numérique deviendrait le meilleur prédicteur des capacités en calculs chez les enfants

(Lyons, Price, Vaessen, Blomert, & Ansari, 2014).

De nombreuses recherches ont montré un lien entre capacités à manier les quantités, comme les comparer ou les estimer sur une droite numérique, et les capacités arithmétiques. Cependant, très peu de recherches se sont penchées sur l'aspect ordinal et le lien qu'il pourrait avoir avec les capacités en mathématiques.

Les compétences en mathématiques ne dépendraient pas seulement de la cardinalité, mais seraient aussi influencées par l'ordinalité (Rubinsten, Sury, Lavro & Berger, 2013). Un lien existerait entre compétences de jugement de l'ordinalité, c'est-à-dire juger si une suite de trois chiffres/nombres est dans le bon ordre croissant, et compétences en arithmétique (Kaufmann et al., 2009 ; Lyons & Beilock, 2013 ; Morsanyi, O'Mahony & McCormack, 2017 ; Rubinsten, Dana, Lavro & Berger, 2013 ; Sommerauer et al., 2020 ; Turconi et al, 2006).

La capacité à traiter si une suite de nombres est dans le bon ordre, chez des enfants, serait un prédicteur de l'arithmétique précoce (Malone, Pritchard & Hulme, 2021 ; Sasanguie & Vos, 2018). Le jugement d'ordre de suites ascendantes et non ascendantes, par exemple « 2-3-4 » et « 6-5-4 » serait un prédicteur des performances arithmétiques chez les enfants (Lyons & Ansari, 2015 ; Lyons, Price, Vaessen, Blomert, & Ansari, 2014; Sasanguie & Vos, 2018 ; Sommerauer et al., 2020) mais également chez les adultes (Lyons & Beilock, 2011 ; Sasanguie, Lyons, De Smedt, & Reynvoet, 2017). Cependant, les auteurs ne savent pas déterminer précisément pourquoi.

Les compétences en calculs pourraient alors être prédites par les habiletés numériques ordinales. Cela a été observé au niveau transversal (Attout, Noël & Majerus, 2014), mais également au niveau longitudinal (Malone, Pritchard & Hulme, 2021).

Pour certains auteurs, un changement s'effectuerait chez les enfants entre la première et deuxième année primaire quant au prédicteur de l'arithmétique. En première année, le meilleur prédicteur de l'arithmétique serait la comparaison de nombres tandis qu'en deuxième année primaire, la connaissance et les performances en jugement de l'ordre seraient un prédicteur des calculs arithmétiques (Lyon et al., 2014 ; Sasanguie & Vos, 2017). Certains auteurs concluent qu'une connaissance complète des nombres symboliques passe par des étapes où l'apprentissage quantitatif des nombres serait la base avant la compréhension et l'acquisition de l'ordinalité qui lui prédirait les calculs d'addition à la fin de la deuxième primaire (Sella et al., 2020 ; Xu & LeFevre, 2021). Le même processus serait observé chez les adultes, le lien entre les capacités de comparaison de chiffres et l'arithmétique serait médiatisé par la connaissance de l'ordre des chiffres ou de l'ordre non numérique comme les lettres ou des mois

de l'année (Vos et al., 2017). Cependant, pour d'autres chercheurs, ces processus pouvant être dissociés, une compréhension et acquisition globale des nombres passeraient par un apprentissage en parallèle des deux aspects.

Une compréhension approfondie du système numérique doit donc passer par une connaissance et une acquisition des relations ordinales (Lyons & Beilock, 2009). Les relations ordinales formeraient une base solide au niveau des nombres symboliques comme un système plus large permettant une inférence rapide lors de calculs plus complexes. Comprendre la relation ordinale entre symboles qui se suivent permettrait une compréhension plus globale des petites opérations comme ajouter +1 à un nombre. Il serait alors nécessaire de travailler ces compétences pour arriver à une automatisation et ainsi éviter une charge cognitive trop élevée lors de calculs ou de résolutions de problèmes. Un lien serait présent entre capacités à traiter automatiquement les données numériques et les compétences en mathématiques (Sury & Rubbisten, 2012).

Comme nous l'avons vu précédemment, pour certains auteurs, l'ordre non symbolique utiliserait les mêmes processus que ceux lors d'une comparaison de quantité, tandis que le jugement d'ordinalité symbolique utiliserait des processus différents. Cependant, il est difficile de savoir quelle stratégie est utilisée durant un jugement d'ordre de chiffres. La magnitude pourrait entrer en jeu, par exemple pour juger si « 17-19-21 » est dans le bon ordre, nous pouvons comparer les nombres deux à deux et se dire d'abord que 19 est plus grand que 17 et plus petit que 21. La récupération en mémoire à long terme de la chaîne numérique pourrait également être utilisée. En effet, les enfants d'âge préscolaire pourraient tout à fait comprendre le positionnement des relations entre les mots numériques (par exemple, dix vient après six) et ne pas comprendre les relations de magnitude entre les mêmes nombres (c'est-à-dire que huit est supérieur à cinq), (Cheung & Lourenco, 2019).

Ces auteurs ont étudié le rôle de l'ordinalité dans le développement de l'arithmétique chez des enfants âgés de 5 à 6 ans en distinguant l'ordinalité qui pourrait utiliser la magnitude et l'ordinalité positionnelle qui consiste à comprendre et à connaître la position d'un nombre par rapport à un autre. Les auteurs ont uniquement utilisé des lettres pour ne pas faire intervenir la magnitude. Ils ont attribué trois tâches aux enfants. Une tâche de traversée de séquence, où les enfants devaient identifier une lettre particulière parmi une séquence de lettres en devant se déplacer soit vers l'avant ou soit vers l'arrière. Par exemple : A-● - ●- ? - ● : quelle lettre est après le « ? » selon la suite de l'alphabet. Une tâche d'inversion, où ils montraient une séquence par exemple A-B-C puis C- ?- ?. Et enfin, une épreuve d'ajustement de position demandant de

mettre à jour la position ordinale lorsqu'un élément était inséré ou supprimé d'une séquence. Les résultats de cette étude ont mis en avant que les tâches de traversée d'une séquence et d'ajustement de position ont pu prédire la compréhension arithmétique, sans être expliqués par la magnitude. La mémoire pourrait alors entrer en jeu pour récupérer l'ordre des séquences, ici non numériques.

L'aspect ordinal aurait donc un lien fort avec les compétences en mathématiques, plus précisément en arithmétique que ce soit avec son aspect numérique ou non (Morsanyi, O'Mahony & McCormack, 2016). Il reste cependant difficile de savoir clairement quelle tâche d'ordinalité est corrélée avec quel type de calcul (Goffin & Ansari, 2016 ; Vos et al., 2017).

Comme nous venons de le voir, la compréhension du nombre dans son aspect global c'est-à-dire tant au niveau de son aspect quantitatif que dans son aspect relationnel entre les nombres est important pour développer au mieux ses compétences en mathématiques et plus particulièrement en calculs. L'aspect ordinal a longtemps été mis de côté, mais nous comprenons aujourd'hui l'importance de prendre en compte cet aspect pour développer de bonnes compétences arithmétiques.

Nous allons maintenant détailler la deuxième partie de notre travail, qui porte sur l'ordre dans un domaine plus général, la mémoire. Nous allons dans un premier temps revoir le fonctionnement de la mémoire de travail, puis nous nous pencherons sur un aspect découvert récemment, l'ordre sériel. Nous verrons ensuite quel impact la mémoire a sur les habiletés en mathématiques. Puis, nous terminerons cette partie en essayant de comprendre le lien et les différences entre l'ordre que l'on retrouve dans un domaine spécifique, c'est-à-dire la cognition numérique, et l'ordre dans un domaine plus général, à savoir la mémoire à court terme.

### 2.1.3. Ordre sériel en mémoire à court terme

La mémoire de travail est un système qui permet de manipuler et de stocker temporairement des informations, sous contrôle attentionnel (Baddeley, 2007). Un des modèles les plus répandus sur la mémoire de travail est celui de Baddeley et Hitch, formulé en 1974. Dans leur modèle, la mémoire de travail est formée par trois composantes : L'administrateur central, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial.

La mémoire de travail aurait un poids important dans de multiples tâches de la vie quotidienne comme retenir un numéro de téléphone, une liste de courses, mais également dans les



apprentissages tels que la lecture, la compréhension, la résolution de problèmes ou les calculs (Just & Carpenter, 1992). Elle nous permet de garder en tête durant quelques secondes une quantité d'information tout en exécutant une tâche cognitive (Cowan, 2014).

Ces dernières années, les recherches dans le domaine numérique ont suscité beaucoup d'intérêt quant au rôle que pourrait jouer la mémoire de travail dans les apprentissages en mathématiques. Comme nous l'avons vu, la mémoire de travail est une compétence cognitive, elle permet de mettre en relation une capacité de stockage temporaire et un traitement de ces informations (Baddeley, 2007). Nous avons donc besoin de notre mémoire de travail pour la réalisation des tâches en mathématiques, notamment pendant les calculs.

De nombreuses études ont étudié le rôle de la mémoire de travail notamment sur les compétences en calculs. Cependant, très peu d'entre elles ont fait la distinction entre l'aspect item et celui de l'ordre sériel dans les tâches qu'elles proposaient. Or, ces dernières années, des études ont découvert une nouvelle composante qui pourrait expliquer le déficit en mémoire de travail chez des enfants ayant des troubles des apprentissages : l'ordre sériel (Majerus, 2016).

En effet, un déficit en mémoire à court terme pourrait provenir de trois hypothèses : d'un maintien et d'une mémorisation des items inefficaces, d'un déficit attentionnel et enfin d'un encodage et maintien difficiles pour les positions sérielles (Majerus et al., 2015).

Nous retrouvons donc deux processus de la mémoire à court terme verbale : l'aspect item et l'aspect ordinal. Malgré un lien entre les deux, l'aspect ordre serait indépendant de l'aspect item. L'aspect item dépendrait de la qualité des représentations phonologiques alors que l'aspect ordre serait indépendant du système langagier mais contraint par la notion temporelle ou spatiale (Attout & Majerus, 2015 ; Attout & Majerus, 2018 ; Martinez, Majerus & Poncelet, 2013). L'aspect temporel peut suggérer que les informations présentées au début et à la fin sont plus facilement retenues que les autres (Marshuetz et al., 2000).

Lorsque l'aspect item veut être observé, nous pouvons proposer aux patients d'écouter une suite d'objets énumérés, puis leur demander si un mot était présent dans la liste entendue. Lorsque l'aspect ordre veut être observé, nous pouvons demander aux patients d'écouter une suite de noms d'animaux par exemple et ceux-ci doivent les énoncer dans le bon ordre ou juger si une suite proposée est dans le même ordre que celle entendue auparavant.

Dès lors, un nouveau modèle de la mémoire à court terme verbale, appelé A-O-STM (Majerus, 2010) a été introduit. Il est composé de l'attention sélective qui a ici une place principale et qui est en interaction avec les représentations phonologiques de la composante langagière pour la partie encodage (l'aspect item), et le traitement de l'ordre sériel (l'aspect

ordre).

Attout et al. (2012) observent pour la première fois la présence d'une double dissociation entre l'aspect item et ordre chez deux patients aphasiques. Cette dissociation serait primordiale pour comprendre le déficit en mémoire à court terme verbale. Cela vient confirmer qu'un aspect peut être déficitaire, par exemple l'ordre, tout en ayant l'autre aspect intact, par exemple l'aspect item.

Si les deux sont dissociables, nous pouvons dès lors nous demander quel lien ils entretiennent avec le domaine qui nous intéresse ici, les mathématiques.

#### 2.1.4. L'ordre sériel en mémoire à court terme et les compétences en calcul

De nombreuses études ont trouvé un lien significatif chez les enfants entre leurs scores en tâche de mémoire de travail et leurs résultats obtenus lors de calculs (Berg, 2008 ; Swanson, Jerman & Zheng, 2008). L'évaluation de cette mémoire permettrait notamment de prédire les performances d'additions quatre mois plus tard (Destefano & Lefevre, 2010 ; Fayol, 2013). Une plus grande capacité de mémoire de travail serait donc liée à des performances mathématiques plus élevées chez les enfants (Cragg et al., 2014 ; Friso-van den Bos et al., 2013 ; Geary et al., 2013, Passolunghi et al., 2007). Un lien direct a également été observé chez les adultes entre la mémoire de travail et les habiletés en calculs complexes, notamment lorsqu'une récupération en mémoire à long terme n'est pas possible, et que le calcul demande une stratégie procédurale, comme pour un calcul complexe avec des passages à la dizaine ou centaine. Le temps de réalisation est plus lent lorsque le nombre d'opérandes augmente, ce qui montre l'utilisation de cette mémoire (Imbo, Vandierendonck & De Rammelaere, 2007).

La différence entre les enfants faibles en mathématiques et ceux sans difficultés pourrait s'observer via la capacité à utiliser la mémoire de travail. En effet, les enfants ayant une faible capacité d'utilisation de la mémoire de travail utiliseraient des stratégies moins précises comme l'utilisation du comptage sur les doigts (Geary, 2004). Nous développerons dans la prochaine partie les difficultés que peuvent rencontrer les enfants dyscalculiques.

Cependant, comme nous l'avons vu ci-dessus, le modèle de référence de la mémoire de travail pour la majorité des études est celui de Baddeley et Hitch. Celui-ci se constitue de 3 composantes. L'administrateur central qui a pour rôle de contrôler et coordonner les deux autres composantes, c'est-à-dire le calepin visuo-spatial et la boucle audio phonologique. Le calepin visuo-spatial traite les informations visuelles et la boucle audio phonologique s'occupe quant à

elle des informations auditives.

Il semble important de savoir exactement quel rôle joue ces composantes dans les habiletés en mathématiques et plus particulièrement en calculs, d'une part pour mieux comprendre les processus cognitifs mais également pour pouvoir proposer des rééducations adaptées à des personnes ayant des difficultés en mathématiques. Lors de nos recherches, nous avons pu constater qu'il y avait débat à ce sujet.

L'administrateur central joue un rôle important dans la réalisation d'un calcul. Il permet de contrôler les informations reçues et traitées par l'aspect visuo-spatial, la boucle audio phonologique ou les deux (Li et al., 2018). Plusieurs fonctions rentrent en jeu lors de la réalisation d'un calcul. L'administrateur central aurait un rôle très important dans les mathématiques car il permettrait notamment la récupération des faits arithmétiques (Schuchardt, Maehler & Hasselhorn, 2008). En effet, il est en lien avec la mémoire à long terme. Cependant, avant de pouvoir constituer et récupérer ces faits arithmétiques, il faut que l'encodage soit optimal. Plusieurs fonctions exécutives sont nécessaires au bon processus de réalisation d'un calcul et celles-ci seraient déficitaires chez les enfants ayant des difficultés en arithmétique (McLean & Hitch, 1999). L'inhibition d'informations non pertinentes et la flexibilité, c'est-à-dire passer d'une tâche à une autre, se sont montrées être en lien avec les capacités en mathématiques. Si un déficit est présent au niveau de ces fonctions exécutives, deux choses peuvent alors se produire : l'enfant arrive à un résultat qui est faux et le mémorise, ou, il calcule le bon résultat mais a mis trop de temps, ne se souvient plus des opérands et ne peut faire l'association de celles-ci avec résultat correct (Bull & Scerif, 2001 ; Fürst & Hitch, 2000 ; Gragg & Gilmore, 2014). La mise à jour est également très importante pour alléger la charge cognitive et améliorer ses capacités en mathématiques (Chen et al., 2017 ; Gragg & Gilmore, 2014). En effet, une mémoire de travail trop chargée a un impact sur la vitesse de réalisation de calculs (Chen & Bailey, 2021 ; Abreu-Mendoza, 2018).

Concernant l'aspect visuo-spatial et la boucle phonologique, un débat a lieu dans la littérature quant au domaine spécifique utilisé en mathématiques.

Pour certains chercheurs, les performances en mathématiques pourraient être en partie prédites par les compétences en traitement simultané visuo-spatial (Bull, Espy & Wiebe, 2008 ; Holmes, Adams & Hamilton, 2008 ; Kyttälä et al., 2008; Schuchardt, Maehler & Hasselhorn, 2008; Vieira et al., 2021). La mémoire à court terme visuo-spatiale serait impliquée dans certaines difficultés chez les enfants dyscalculiques (Andersson & Östergren, 2012 ; Mc Lean & Hitch 1999).

Cependant, d'autres auteurs ont constaté une corrélation entre l'utilisation de la boucle phonologique et les compétences en comptage et en calcul d'additions chez des enfants de 5-6 ans (Fürst & Hitch, 2000 ; Noël, 2009). L'utilisation de la boucle phonologique lors d'une réalisation de calcul continuerait chez l'enfant de 9-10 ans (Andersson, 2008). En effet, lors du maintien d'un résultat intermédiaire, par exemple, ce serait la boucle audio-phonologique qui entrerait en jeu (Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002). D'autres auteurs n'ont pas trouvé d'implication de la boucle phonologique dans les capacités en mathématiques chez les enfants (Hitch, 1999 ; Gathercole, Brown & Pickering, 2003 ; Passolunghi, Vercelloni & Schadee, 2007).

Certains auteurs ont observé une utilisation en parallèle de la stratégie visuo-spatiale et phonologique (Bull 2008 ; Liang et al., 2021). Les adultes utiliseraient également à la fois leur mémoire à court terme phonologique pour se souvenir des éléments et leur mémoire visuo-spatiale pour calculer et retenir les informations (Zago et al., 2008).

Pour d'autres, les aspects visuo-spatiaux et phonologiques auraient un impact de manière différée sur les compétences en arithmétiques. Jusqu'à 6 ans les enfants auraient tendance à s'appuyer sur une aide visuo-spatiale durant les tâches en mathématiques alors que vers l'âge de 9 ans, ce serait la boucle phonologique qui entrerait en jeu pour effectuer des calculs (Andersson, 2008 ; De Smedt et al., 2009).

Certains partagent l'avis inverse en observant qu'au début des apprentissages, les enfants utiliseraient la boucle phonologique pour effectuer des tâches en mathématiques tandis que l'aspect visuo-spatial prendrait le relais en 3-ème primaire (Meyer et al., 2010). Pour d'autres, les résultats seraient plus nuancés. Les aspects visuo-spatiaux et phonologiques ne dépendraient pas de l'âge mais auraient chacun une action spécifique. La mémoire visuo-spatiale servirait à encoder le calcul ou le problème, tandis que la boucle phonologique servirait à la rétention d'informations, notamment lors de calculs complexes avec passage à la dizaine (Berg, 2008).

Comme nous avons pu le voir, la question des stratégies utilisées lors d'une réalisation de calcul fait encore débat. L'aspect visuo-spatial semblerait avoir un lien assez fort avec les habiletés en calcul et ce tout au long du développement de l'enfant. Cependant, la méthodologie de plusieurs études peut être discutée pour évaluer la mémoire de travail. En effet, certaines études n'impliquaient pas de tâche prenant en compte la boucle phonologique ou l'incluait dans l'étude mais ne distinguait pas l'aspect item de l'aspect ordre que nous pouvons retrouver dans cette composante et qui pourrait avoir une forte implication dans la réalisation de tâches en mathématiques.

Lorsque nous devons réaliser un calcul, l'aspect item est nécessaire pour se souvenir du calcul à réaliser si celui-ci est de tête, mais l'aspect ordre est primordial, sans quoi nous ne trouverons pas le bon résultat. Par exemple, pour l'opération  $17-5+4 = ?$ , nous n'obtiendrions pas le même résultat qu'avec l'opération  $17-4+5 = ?$ . Si les nombres ne sont pas retenus dans le bon ordre, cela induira un résultat faux. Cependant, cela fonctionne aussi avec de plus petits calculs, ce qui peut vite entraver l'encodage et la récupération des faits arithmétiques. Les capacités au niveau de la mémoire à court terme d'ordre sériel prédiraient mieux les capacités de calculs un à deux ans plus tard chez des enfants contrairement à l'aspect item (Attout, Salmon & Majerus, 2015).

Attout & Majerus (2022) ont analysé le lien de la mémoire à court terme ordre sériel verbale ainsi que la mémoire à court terme visuo-spatiale pour tenter de comprendre le lien avec les habiletés en mathématiques. Les résultats ont montré que chez les enfants de 7 ans les capacités en mémoire à court terme verbale ordre sériel et tâche d'arithmétique étaient fortement liées, alors que pour les enfants de 8 ans un rôle plus important des capacités en mémoire à court terme visuo-spatiale, tant séquentielle que simultanée, était corrélé avec les calculs. La présentation des informations visuo-spatiales sous forme séquentielle fait appel à une analyse d'encodage des positions individuelles précises et leur ordre dans la séquence tandis que l'aspect simultané, lui, est important pour visualiser l'ensemble de la séquence et l'intégrer en mémoire à court terme (Attout, Noël & Rousselle, 2018 ; Mammarella, Caviola, Giofrè & Szűcs, 2018). Cependant, aucun lien entre la mémoire à court terme et l'arithmétique a été trouvé chez les enfants de 9 ans (Attout & Majerus, 2022). Cette étude n'a été réalisée avec des enfants sans difficultés particulières en mathématiques, la mémoire à long terme servant à récupérer les faits arithmétiques a pu aider les enfants plus âgés. Cependant, les enfants dyscalculiques peuvent avoir un déficit de la mémoire, que nous détaillerons plus tard, avec potentiellement une difficulté à encoder et récupérer les faits arithmétiques (Cárdenas et al., 2021). Ils pourraient donc encore se servir de la mémoire à court terme verbale et/ou visuo-spatiale lors d'une tâche simple d'arithmétique même à un âge avancé.

Après cette discussion, nous voyons l'utilité de se concentrer sur la composante ordre sériel de la mémoire à court terme verbale qui est encore trop peu étudiée, afin d'envisager l'amélioration de certaines habiletés en mathématiques et en calcul.

Notre travail de recherche porte donc sur deux aspects utilisant l'ordre: l'ordinalité numérique et la mémoire à court terme verbale ordre sériel. Nous allons maintenant nous

pencher sur le lien entre les deux domaines pour tenter de comprendre ce qui les unie et les différencie.

#### 2.1.5. Ordinalité et mémoire ordre sériel

Le jugement de l'ordinalité et les informations ordre en mémoire de travail pourraient être liés au niveau cognitif (Attout & Majerus, 2014). Pour certains auteurs, les activations cérébrales impliquées dans le codage de l'ordre en mémoire de travail partageraient des processus communs avec ceux impliqués dans l'encodage de l'ordre numérique (Marshuetz, 2000). Cependant, le lien n'est pas encore très clair.

Un déficit en mémoire ordre sériel n'aurait pas de lien avec celui dans le jugement ordinal (Attout & Majerus, 2018) et les tâches de position sérielle en mémoire de travail ne dépendraient pas des codes numériques (Majerus & Oberauer, 2020). De plus, l'ordinalité serait en lien avec les habiletés en arithmétique après le contrôle de la mémoire ordre sériel (Attout & Majerus, 2018).

Pour d'autres, la récupération en mémoire pourrait être nécessaire pour maintenir le lien entre l'ordre numérique et l'arithmétique (Lyons & Beilock, 2009 ; Sommerauer et al., 2020). D'autres auteurs pensent que ce serait différents facteurs qui entreraient en jeu pour récupérer l'ordre numérique, sans faire appel à la mémoire. Mais que sont-ils ? Cela reste encore assez flou. Certains affirment que nous pourrions utiliser la comparaison avec nos connaissances sur la magnitude lors de l'évaluation de certaines séquences inconnues. Par exemple, pour juger de l'ordre de la série « 4-7-10 » nous évaluons que 7 est plus grand que 4 mais plus petit que 10 (Dubinkina et al 2021). Cependant, Vos et ses collaborateurs (2021) ont observé des effets de distance inverse lors d'une tâche de vérification de l'ordre réalisée chez des enfants et affirment que ces effets ne sont pas en lien avec les effets de distance que nous retrouvons lors d'une tâche de comparaison.

La récupération des informations en mémoire expliquerait la relation entre l'ordre et l'arithmétique (Sasanguie & Vos, 2018). Dubinkina et al. (2021) ont observé que les enfants pourraient également utiliser la mémoire lors d'un jugement d'ordre de triplets. Dans une de leurs expériences, ils demandaient aux enfants quelle stratégie ils utilisaient pour juger de l'ordre des nombres et la majorité des enfants rapportaient qu'ils devaient se rappeler et vérifier avec la chaîne numérique pour juger de l'ordre.

Pour émettre un jugement d'ordre, il serait donc parfois nécessaire de récupérer les formes

verbales des chiffres stockées en mémoire et de comparer la suite de comptage stockée en mémoire à long terme avec celle indiquée par écrit. Finke et al. (2021) ont également observé que les capacités en mémoire à court terme verbale des enfants de première année et leurs compétences en jugement d'ordre symbolique en deuxième et troisième années primaire seraient en lien.

Les réseaux neuronaux utilisés pour le traitement de l'ordre dans l'aspect numérique, alphabétique et en mémoire pourraient partager être commun (Attout, Fias, Salmon & Majerus, 2014 ; Marschuetz et al., 2000)

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, l'acquisition des habiletés numériques et arithmétiques se fait tout au long du développement de l'enfant. Cependant, certains enfants ont du mal à suivre ce développement et présentent des difficultés dans l'acquisition de ces habiletés ce qui se répercute ensuite sur les compétences en calculs.

## 2.2. La dyscalculie

Selon le « Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders V » (DSM-5), un trouble d'apprentissage est un trouble dû à un déficit neurodéveloppemental venant perturber la capacité d'un individu à apprendre et utiliser des compétences scolaires spécifiques, comme la lecture, l'écriture et le calcul. Nous nous intéressons ici au calcul.

Pour poser le diagnostic de dyscalculie, quatre critères doivent être remplis lors du diagnostic de l'enfant :

- 1) Des difficultés au niveau du sens des nombres, de la mémorisation de faits arithmétiques, du calcul précis ou du raisonnement mathématique précis. Les difficultés persistent pendant au moins 6 mois et ne s'améliorent pas malgré des interventions mises en place.
- 2) Les difficultés rencontrées doivent affecter les compétences scolaires. Le diagnostic doit être établi sur base de tests psychométriques et les résultats doivent montrer un écart significatif entre les performances présentes et l'âge chronologique.
- 3) Le trouble survient au cours de la première année primaire et persiste à l'âge adulte.

- 4) Enfin, avant de confirmer le diagnostic de dyscalculie, les difficultés énoncées ci-dessus ne doivent pas être expliquées par : une déficience intellectuelle, un déficit au niveau des capacités auditives ou visuelles, un trouble neurologique, des conditions défavorables pour l'enfant comme une non assiduité à l'école, des problèmes psychosociaux, un enseignement reçu qui n'est pas favorable à l'individu ou une difficulté d'acquisition de la langue scolaire.

Les difficultés en mathématiques chez les enfants ayant une dyscalculie ou des difficultés d'apprentissage en mathématiques « DAM » peuvent être expliquées par un ou plusieurs des facteurs numériques et/ou des facteurs généraux. (Noël, 2020).

Nous allons tout d'abord nous pencher sur les facteurs numériques pouvant expliquer les difficultés rencontrées chez des personnes dyscalculiques.

#### 2.2.1. Déficit dans un facteur numérique : l'ordinalité

Plusieurs études sont controversées quant aux facteurs numériques déficitaires chez les enfants dyscalculiques.

Parmi les hypothèses les plus soutenues, nous retrouvons celle d'un déficit au niveau du système numérique approximatif (SNA), c'est-à-dire au niveau de l'aspect quantitatif faisant appel au non-symbolique. En effet, les enfants dyscalculiques auraient des difficultés à représenter et estimer ces quantités de base (Wilson & Dehaene, 2007). On observerait chez ces enfants des déficits dans le jugement de comparaison de quantités non symboliques dès la maternelle (Desoete et al., 2010). Or, cette capacité de comparaison non numérique serait liée aux performances en mathématiques en maternelle (Halberda et al., 2008). Les enfants atteints de dyscalculie développementale seraient donc particulièrement déficitaires sur ce type d'épreuve (Butterworth, 2010 ; Piazza et al. ; 2010), ce qui renforcerait l'hypothèse de l'importance du SNA dans les apprentissages en mathématiques (Dehaene, 1992).

Pour Butterworth (1999), cité par Noël (2015), un déficit de la représentation de la magnitude des nombres pourrait être à la base de la dyscalculie. Cependant, après avoir testé trois groupes d'enfants dyscalculiques, dyslexiques-dyscalculiques et un groupe contrôle, Noël & Rousselle (2007) concluent que ces enfants n'auraient pas de déficit de représentation de la magnitude en tant que telle mais concernant son accès.



En effet, d'autres auteurs pencheraient plutôt pour une difficulté d'accès à la représentation symbolique, c'est-à-dire la représentation et l'association d'une quantité à son nombre sous forme arabe ou verbale. Les enfants présentant des déficits en mathématiques seraient particulièrement en difficulté lors d'exercices de manipulation des représentations sémantiques des nombres avec un matériel symbolique sans aucune difficulté pour accéder à la magnitude de formes non-symboliques (De Smedt & Gilmore, 2010 ; Rousselle & Noël, 2007 ; Castro Cañizares et al., 2012). En effet, les enfants dyscalculiques ayant entre 6 et 9 ans auraient des performances égales à celles des enfants non dyscalculiques lors des tâches de comparaison avec des formes non symboliques (Rousselle & Noël, 2007 ; De Smedt & Gilmore, 2010). Les enfants dyscalculiques auraient donc de grandes difficultés avec l'accès à la magnitude des nombres, par exemple, lors des tâches de comparaison de chiffres ou d'estimation, c'est-à-dire placer un nombre sur une ligne numérique, cela serait dû à une mauvaise organisation mentale des quantités (Booth & Siegler, 2008 ; Ashkenazi, Mark-Zigdon & Henik, 2013).

Cependant, les difficultés seraient plus remarquables dans une tâche de jugement d'ordre chez ces enfants (Morsanyi et al., 2018). Comme nous l'avons vu dans un des chapitres précédents, l'ordinalité est une compétence qui influencerait les capacités en mathématiques. Des études ont été réalisées avec des enfants dyscalculiques et la plupart d'entre elles ont montré que, comparés au groupe contrôle, ils seraient en difficulté dans les tâches de type jugement d'ordre d'une série de 3 chiffres, mais également lors de tâches de jugement d'ordre avec des formes non symboliques, comme des points (Rubinsten & Sury, 2011 ; Morsanyi et al., 2018). Les temps de réponse seraient également plus longs chez les enfants dyscalculiques pour effectuer ces jugements d'ordre (Attout & Majerus, 2014). Ces temps de réponse seraient plus lents lorsqu'ils sont confrontés à des chiffres dans un mauvais ordre.

Le jugement de l'ordinalité avec du matériel symbolique serait également déficitaire chez les adultes dyscalculiques en dépit d'un déficit au niveau du système de la magnitude. Ils seraient en difficulté comparé à des adultes non dyscalculiques lors d'une tâche de jugement de l'ordre alors qu'ils ne présentaient pas de difficultés lors d'une tâche de jugement d'ordinalité non symbolique (Rubinsten & Sury, 2011).

Les personnes dyscalculiques auraient donc plus de difficultés avec les capacités d'ordre et cela de manière générale. Par exemple, il serait difficile pour eux de ranger dans l'ordre des événements particuliers de l'année, l'alphabet ou encore de constituer chronologiquement les étapes d'une journée (Morsanyi et al., 2018).

D'autres facteurs plus généraux pourraient également expliquer les difficultés en mathématiques dont notamment la mémoire de travail mais plus particulièrement l'aspect ordre dans cette mémoire à court terme verbale.

### 2.2.2. Déficit dans un facteur général : mémoire ordre sériel

Nous avons vu, dans un des chapitres précédents, qu'un lien unirait la mémoire de travail et les habiletés en mathématiques, notamment les calculs.

De nombreux auteurs soulignent que les enfants dyscalculiques présenteraient un déficit au niveau de la mémoire à court terme, plus précisément au niveau des capacités visuo-spatiales, contrairement aux enfants de leur âge sans difficultés scolaires (Gathercole & Pickering, 2000 ; Andersson & Östergren, 2012 ; Mc Lean & Hitch, 1999; Rotzer et al., 2009). Ce déficit en mémoire à court terme visuo-spatiale pourrait avoir des conséquences sur la représentation des nombres sur la ligne numérique mentale et donc entraver les performances futures comme les calculs (Von Aster & Shalev, 2007). Ils auraient un déficit au niveau de la mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle et simultanée (Mammarella et al., 2018).

Concernant de potentielles difficultés que les enfants faibles en mathématiques peuvent rencontrer au niveau de la mémoire à court terme verbale, la plupart des études ne faisaient pas la distinction entre mémoire à court terme item et ordre lors de l'évaluation.

Attout & Majerus (2015) ont observé que l'aspect item en mémoire à court terme verbale était préservé chez les enfants dyscalculiques, tandis que l'aspect ordre était déficitaire chez eux. Cela voudrait dire que les enfants ayant des difficultés en mathématiques auraient des difficultés pour rappeler dans le bon ordre une liste de mots ou de nombres, par exemple 2-3-6-4 (aspect ordre), tandis qu'ils n'auraient pas de difficulté à rappeler la liste librement avec des informations verbales entendues au préalable, sans devoir la rappeler dans l'ordre (aspect item). Le stockage des informations ne poserait donc pas de problème, ce serait en fait la récupération avec stratégie qui serait déficitaire.

Les difficultés dans le traitement des nombres pourraient être dues en partie à un déficit au niveau du traitement et de la mémorisation d'informations ordinales. La mise en place des faits arithmétiques en mémoire à long terme sera également perturbée et ne pourra être fonctionnelle (Geary, Hoard & Hamson, 1999 ; Gómez-Velázquez, 2022). En effet, si l'enfant ne retient pas le calcul dans le bon ordre, la maintenance intermédiaire peut être faussée et ainsi entraîner un

résultat erroné. Les calculs complexes seront également difficiles à réaliser si la maintenance intermédiaire des résultats est déficitaire chez l'enfant, notamment quand il y a des passages à la dizaine. Cet aspect est crucial notamment lors de réalisation de calculs mentaux. Par exemple, dans la réalisation d'un calcul tel que  $10-8+5$ , il est nécessaire de retenir l'opération avec les opérands dans le bon ordre, sinon le résultat sera faussé, et il est nécessaire de retenir le résultat intermédiaire pour effectuer la seconde opération. Un déficit concernant le maintien temporaire d'informations ordinales pourrait se répercuter sur certaines tâches avec utilisation du traitement des nombres (Attout & Majerus, 2014).

Les mêmes résultats ont été trouvés chez des adultes ayant des antécédents de difficultés en mathématiques. Attout, Salmon & Majerus (2015), ont réalisé une étude pour évaluer la mémoire de travail ordre sériel chez des adultes dyscalculiques. Les participants ont dû répondre oralement à des calculs mentaux de base proposés visuellement et effectuer également d'autres opérations données oralement avec une contrainte de temps. Pour évaluer la mémoire ordre sériel, les examinateurs ont proposé une tâche de reconstruction d'une série ordinale avec une liste de chiffres allant jusqu'à 9. Les participants devaient mettre à la fin de l'énonciation de la série, des cartes avec les chiffres inscrits dessus, dans le bon ordre. Cette étude a été la première à découvrir et mettre en lumière une mémoire de travail verbale ordre sériel altérée chez les adultes présentant une dyscalculie. En effet, un lien significatif était présent entre les résultats obtenus en calculs et ceux pour la tâche ordre sériel. Les difficultés en mémoire ordre sériel ne seraient pas spécifiques aux nombres, cela engloberait l'aspect ordinal plus général avec aussi les lettres par exemple.

Nous allons maintenant nous focaliser sur les différentes interventions que nous avons trouvées dans la littérature scientifique qui ont été réalisées en cognition numérique et en mémoire de travail, pour tenter d'améliorer les domaines travaillés et/ou les habiletés en arithmétique.

### 2.3. Les interventions validées

Pour comprendre et analyser les bénéfices d'une rééducation en mémoire à court terme verbale ordre sériel et en ordinalité numérique, il semble important de dresser un tableau global de quelques rééducations qui ont été validées dans la littérature scientifique, portant sur la mémoire de travail ou sur la cognition numérique. Nous voulons analyser ici, si ces rééducations ont pu améliorer, tout d'abord, leur domaine spécifique travaillé mais également indirectement les habiletés en mathématiques et, plus particulièrement, l'arithmétique.

Tableau 1. Résumé de différents entraînements en cognition numérique et mémoire de travail

Études	N	Profils	Groupe contrôle	Entraînement	Durée	Amélioration spé	Transfert math
<b>Cognition numérique</b>							
Hyde et al. (2014)	96	6-7 ans	Comparaison de 4 groupes	-Ajout numérique NS -Ajout longueur ligne -Comparaison collections NS -Comparaison de luminosité	60 essais	Amélioration vitesse dans le domaine spé travaillé	Ajout NS et comparaison = Améliorent tâche d'addition symbolique
Park & Brannon (2013)	26	Adultes	Oui	Ajout ou soustraction collections de points visuellement (9 à 36 points)	10 sessions	Oui : amélioration SNA	Oui
Honoré & Noël (2016)	56	5-6 ans Tout venant	Comparaison 2 groupes	1 grp : Comparaison nombres et placement sur droite numérique 2 -ème grp : comparaison NS, estimation point sur ligne	10 séances/30 minutes	Oui	Oui : groupe symbolique amélioration en calculs
Dyson, Jordan & Glutting (2013)	121	5 ans et demi Economiquement faible	Oui	Transcodage, subitizing, mapping, comparaisons, problème additions et soustractions, comptage, jeu en ligne	8 semaines 24 séances/30 min	Reconnaissance nombre, résolution problème, stratégie comptage,	Oui
Michels et al. (2018)	31	7-11 ans dyscalculiques	Oui	Ligne numérique, placement nombres, problème addition/soustraction	5 semaines 5X/ semaine 15 min	Oui : Ligne numérique	Oui
Friso Van den Bos et al. (2018)	90	5-6 ans Tout venant	Oui	1 grp : compter objets, cartes avec nombres 1 grp positionner nombre sur ligne, trouver nombre associé à l'emplacement	6 semaines 12 sessions 20 min	Oui : groupe comptage amélioration de ce qu'il a travaillé + positionnement sur ligne numérique	Groupe comptage : amélioration capacité en addition
<b>Mémoire de travail</b>							
Chen et al. (2017)	54	10-11 ans TA	Oui	Rappel 3 derniers animaux, lettres, emplacements.	5 semaines, 20 jour/45 min	Amélioration mise à jour mdt	Oui maintient 6 mois après
Holmes et al. (2009)	42	8-11 ans Déficit mdt verbale	Comparaison 2 groupes	Jeux informatisés, mdt visuo spatiale/ verbale item et ordre sens inverse	20 jours/45 min	Oui	Oui + effet maintenu 6 mois après
Layes et al. (2018)	28	9-10 ans dyscalculiques	Oui	Comparaison de chiffres, étendue de chiffres, mémoire visuelle/auditive	8 semaines 45 minutes/séances	Oui	Oui calculs
Passolunghi & Costa (2016)	48	5 ans Tout venant	Groupe mémoire vs numérique spécifique	Jeux mdt verbale et visuelle, ex : rappel liste en arrière, rappel d'un chemin	5 semaines 2X / semaine 1 heure	Oui	Groupe mdt : oui amélioration compétences numériques précoces
Witt (2011)	38	9-10 ans	Oui	Suite d'objets, rappeler en arrière nombres, tâche de mise à jour, identification intrus	6 semaines 15 min	Oui	Oui

Note. N= effectif ; spé= spécifique ; math= mathématiques ; mdt= mémoire de travail ; NS= non- symbolique ; SNA= système numérique approximatif ; grp = groupe ; STM= short term memory, TA= Trouble des apprentissages

### 2.3.1. Les interventions en cognition numérique

Certains auteurs en faveur de la théorie d'un déficit au niveau du SNA ont tenté d'observer si une intervention ciblant spécifiquement ce domaine pourrait améliorer les habiletés en calculs.

Park & Brannon (2013) ont proposé un entraînement avec des adultes pour observer si un travail d'arithmétique approximative non symbolique sur ordinateur permettrait d'améliorer les habiletés en calculs. Les exercices consistaient à visualiser une collection, puis une autre était ajoutée ou retirée à la première. Une troisième collection était présentée et les participants devaient énoncer si la dernière était plus grande ou plus petite que le résultat prédit de l'opération. Les résultats montrent une amélioration dans les tâches de calculs d'additions et soustractions à plusieurs chiffres. Nous pouvons tout de même réfléchir à la méthodologie de cette étude. En effet, les participants étaient des adultes, sans difficultés en mathématiques. Les exercices proposés reposaient en partie sur l'utilisation de la mémoire visuelle. Hyde, Khanum & Spelke (2014), ont également effectué un entraînement avec des enfants âgés entre 6 et 7 ans, reprenant les mêmes principes que l'étude de Park & Brannon, pour tenter d'observer si un travail ciblé sur le SNA permettrait d'améliorer les compétences en mathématiques. Les résultats ont montré que les enfants se sont améliorés en vitesse lors de la tâche d'arithmétique symbolique comparé au groupe contrôle. Cependant, les enfants n'ont pas passé de test les évaluant avant l'entraînement, il n'y a donc aucun point de comparaison. De plus, les résultats auraient peut-être été meilleurs avec une aide ne prenant pas la mémoire en compte.

En faveur de l'hypothèse d'un déficit de l'accès à la représentation numérique, Honoré & Noel (2016) ont comparé l'effet de deux entraînements sur les habiletés en calcul chez des enfants de 5-6 ans. Un groupe d'enfants a suivi une remédiation numérique. Elle concernait une comparaison de nombres, une tâche verbale de comparaison de nombres et un autre exercice était sur le positionnement de nombres allant de 2 à 19 sur une droite numérique. L'autre groupe d'enfants a reçu un entraînement avec du matériel non symbolique : une comparaison non symbolique : donner à un animal le sac avec le plus de bonbons par exemple, un autre exercice consistait à placer des ensembles de points sur une droite numérique. Les auteures observent que l'entraînement de la magnitude des nombres symboliques a permis d'améliorer la comparaison numérique non symbolique et placement de collection non symbolique sur une droite numérique. L'entraînement des représentations symboliques améliorait l'aspect SNA. Les résultats ont également montré que l'entraînement magnitude symbolique et placement sur droite numérique prédisait mieux les tâches d'arithmétique que le non symbolique.

En ce qui concerne les rééducations avec du matériel symbolique, Dyson, Jordan & Glutting (2013), ont réalisé un entraînement avec des enfants de 5 ans et demi, provenant de familles ayant un faible statut socio-économique. Les auteurs voulaient observer si une rééducation axée sur le sens du nombre permettrait une amélioration sur les compétences en calculs. Les exercices proposés étaient très variés : transcodage, subitizing, mapping, comparaisons, problèmes demandant la réalisation d'additions et de soustractions, comptage, jeu avec plateau en ligne. Les résultats ont montré un transfert sur les compétences en calculs. Cependant, au vu de la multitude d'exercices proposés dans ce programme, il est difficile de savoir quelle compétence a eu un impact sur l'arithmétique. De plus, des calculs étaient proposés directement durant le travail.

Nous retrouvons le même problème méthodologique dans l'étude de Michels et al., 2018. Les auteurs ont proposé des exercices de placement de nombres, de collections sur une ligne numérique, mais les enfants étaient amenés parfois à réaliser une addition ou soustraction avant d'estimer et de placer le résultat sur la ligne numérique.

Friso-van den Bos et al. (2018), ont comparé deux entraînements pour observer leur impact sur l'arithmétique. Un portant sur le comptage et l'autre sur un placement numérique symbolique sur une droite (tâche d'estimation avec matériel symbolique). Les résultats ont montré que l'entraînement au comptage était plus efficace pour améliorer les habiletés précoces en arithmétique.

Un travail sur le comptage, la comparaison symbolique et le mapping pourraient s'avérer être efficaces pour améliorer les habiletés en calcul. Cependant, comme nous pouvons le voir, parfois ces rééducations mélangent plusieurs concepts et nous ne savons pas quel domaine a un impact sur quelle compétence en mathématiques. De plus, la plupart d'entre elles ont réalisé leur entraînement avec des enfants sans difficultés en mathématiques. Bien entendu, notre liste n'est pas exhaustive mais cela nous donne un premier aperçu de ce que nous avons trouvé dans la littérature scientifique au niveau des rééducations montrant un transfert d'un travail en cognition numérique sur les habiletés en mathématiques. À ce jour, nous n'avons pas trouvé d'études proposant un entraînement en ordinalité chez des enfants dyscalculiques.

Comme nous l'avons vu précédemment, la mémoire de travail joue un rôle important en mathématiques notamment pendant la réalisation de calculs, et les enfants dyscalculiques semblent avoir un déficit dans ce domaine cognitif. Nous allons maintenant nous pencher sur différents entraînements que nous trouvons dans la littérature, à ce jour, pour tenter d'observer

si un entraînement en mémoire permet d'améliorer directement ce domaine mais également si un transfert est possible sur les habiletés en calcul.

### 2.3.2. Les interventions en mémoire de travail

Witt (2011) a étudié, chez des enfants de 9-10 ans sans difficulté en mathématiques, l'effet d'une intervention en mémoire de travail. Durant 6 semaines et pendant 15 minutes par séance, les enfants étaient amenés à retenir mentalement une série d'objets en inventant une histoire pour que cela soit imagé et que les objets soient reliés pour pouvoir récupérer leur nom plus facilement ; ils devaient également retenir une liste d'objets en les répétant à l'aide de la technique subvocale (répéter les objets en tête pour pouvoir les mémoriser). Ils ont également effectué des exercices pour travailler la mise à jour d'informations en retenant seulement les objets les plus petits d'une liste. Enfin, une tâche d'inhibition leur a été également proposée en enlevant des objets non énoncés d'une liste. Les résultats montrent que le groupe ayant reçu la rééducation a vu ses résultats en mémoire de travail augmenter. Leurs capacités en mathématiques étaient également meilleures comparées à leurs scores pré entraînement. Cependant, les auteurs se posent la question quant à la durabilité des résultats dans le temps. Il est intéressant ici d'observer ces stratégies qui peuvent être utiles à une rééducation axée spécifiquement sur l'ordre sériel notamment la stratégie subvocale, sémantique ou imagée. Nous voyons également que l'utilisation de matériel non numérique permet tout de même un transfert sur les compétences numériques.

D'autres auteurs ont voulu s'intéresser aux effets de ces rééducations chez des enfants en difficulté au niveau des mathématiques.

Layes et al. (2018) ont réalisé un entraînement avec des enfants dyscalculiques pour tenter d'évaluer si un entraînement de la mémoire permettrait d'améliorer la mémoire de travail en tant que tel, et si un transfert éloigné serait possible sur les performances en mathématiques. La rééducation était sur 8 semaines et les séances duraient 45 minutes. L'entraînement était porté sur le sens du nombre, la comparaison de chiffres, la mémoire visuelle et auditive de nombres, par exemple écouter une série de chiffres et ensuite identifier sur une série écrite le numéro n'ayant pas été prononcé. Les participants devaient également mémoriser des associations de cartes ayant des nombres inscrits avec des cartes ayant des images non symboliques et les associer ensemble ; se souvenir du chiffre le plus grand énoncé oralement dans une série. Les résultats ont montré que les enfants ayant reçu cet entraînement ont vu leurs performances en mémoire de travail s'améliorer. Ils ont également observé un effet positif sur les calculs mentaux (additions et soustractions). Cependant, la rééducation utilisait quelques exercices

centrés sur le sens du nombre et l'accès à la représentation symbolique. Nous pouvons donc nous demander si cela n'a pas contribué à l'amélioration des habiletés numériques.

Certains auteurs pensent que si une amélioration est visible de la mémoire de travail après son entraînement, celle-ci serait spécifique à l'entraînement et que les améliorations obtenues ne pourraient se généraliser plus globalement, par exemple sur les calculs, ou qu'elles seraient perdues avec le temps (Melby-Lervag et al., 2016 ; Van der donk et al., 2015 ; St Clair-Thompson et al., 2010). Cependant, certaines de ces études telles que celle de St Clair-Thompson, ont proposé l'entraînement à des enfants sans difficultés scolaires signalées. Nous nous demandons si les résultats auraient été concluant avec des enfants dyscalculiques par exemple. D'autres ont, au contraire, observé un transfert durable dans le temps (Chen et al., 2017). Chen et al. (2017) ont proposé un entraînement de la mémoire de travail avec des enfants ayant des difficultés en mathématiques. Ils ont travaillé avec des supports non numériques en utilisant des images d'animaux, des lettres et des lieux. Durant l'entraînement, les enfants devaient mémoriser les trois dernières images diffusées sur un ordinateur. Ils devaient alors mettre à jour leur mémoire car ils ne connaissaient pas la longueur de la liste. Les résultats ont montré, 6 mois après la rééducation, une amélioration de la capacité de mise à jour de la mémoire de travail qui est importante lors d'un calcul mental, ainsi que des améliorations plus générales en mathématiques.

Zhang et al. (2018) ont trouvé les mêmes résultats positifs sur le domaine travaillé et un transfert sur l'arithmétique, après un entraînement intensif de la mémoire de travail pendant 28 jours durant 40 minutes, chez des enfants de 10 à 13 ans faibles en mathématiques.

Nous avons trouvé dans la littérature une étude où l'aspect numérique a été comparé et séparé de l'aspect mémoire. Passolunghi & costa (2016), ont voulu observer ces deux rééducations chez des enfants de 5 ans pour tenter de savoir quel entraînement permettrait d'améliorer le mieux les habiletés précoces en mathématiques. Les résultats ont montré dans le groupe d'entraînement numérique une amélioration significative dans les compétences numériques précoces mais aucun transfert en mémoire de travail. En revanche, le groupe d'entraînement à la mémoire de travail a obtenu des améliorations significatives en mémoire de travail mais également un transfert sur les compétences numériques, notamment en comparaison de chiffres, sériation ou comptage. Cette étude permet d'émettre l'hypothèse qu'un entraînement en mémoire pourrait soit améliorer directement les compétences arithmétiques ou améliorer les compétences numériques comme l'ordinalité qui, elles, ont un lien fort avec les calculs selon plusieurs études.



Holmes, Gathercole & Dunning (2009) ont également observé une amélioration significative spécifique à la mémoire mais également un transfert sur les habiletés arithmétiques 6 mois après l'entraînement en mémoire à l'aide de jeux informatisés durant 5 à 7 semaines pendant 35 minutes. Les exercices impliquaient le stockage et la manipulation d'information verbale et visuo-spatiale séquentielle ou les deux ensemble. Il y avait également des exercices d'entraînement au rappel dans le bon ordre.

### 2.3.3. Conclusion

Après avoir passé en revue quelques entraînements que nous retrouvons dans la littérature, nous constatons qu'aucune d'entre elles ne s'est penchée spécifiquement sur l'aspect ordinal en cognition numérique, ou sur l'aspect ordre sériel en mémoire à court terme verbale, chez des enfants dyscalculiques. Concernant les interventions réalisées en cognition numérique durant ces dernières années, nous retrouvons de nombreuses rééducations encourageantes quant à un transfert sur les compétences en calculs. Cependant, la plupart mélangent plusieurs aspects du nombre, et incluent parfois des exercices de calculs d'additions et de soustractions au sein de l'entraînement. Il est donc difficile de savoir concrètement ce qui a permis des améliorations en calculs lorsqu'il y en a. De nombreuses rééducations ont été également réalisées avec des adultes ou enfants sans difficulté en mathématiques. Du côté des rééducations en mémoire, la plupart d'entre elles sont également prometteuses concernant un transfert sur les habiletés en mathématiques. Cependant, la majorité se sont focalisées sur l'aspect global de la mémoire de travail ou ne distinguait pas l'aspect item de l'ordre si la mémoire à court terme verbale était travaillée. Certaines ont également intégré un entraînement numérique en parallèle. Nous avons vu dans les chapitres précédents que des recherches récentes ont mis en avant une nouvelle composante spécifique de la mémoire de travail, qui s'avère être déficitaire chez les enfants ayant des difficultés d'apprentissage en mathématiques et en lien avec les habiletés en calculs: la mémoire ordre sériel. Or, à ce jour, nous n'avons pas trouvé de rééducation portant uniquement sur ce domaine. Suite à nos recherches sur les rééducations en cognition numérique et en mémoire de travail, aucune étude dans la littérature n'est présente concernant un travail spécifique en ordinalité. Pourtant, les recherches sont de plus en plus nombreuses à trouver un lien entre ordinalité numérique et arithmétique (Lyons & Beilock, 2013 ; Morsanyi et al., 2016) et ordre sériel en mémoire et arithmétiques (Attout & Majerus , 2022).

Il serait donc très intéressant de nous focaliser essentiellement sur cet aspect ordinal de manière spécifique en cognition numérique ainsi que de manière plus générale en mémoire de travail.

### 3. Objectifs et hypothèses

Ces dernières années, les découvertes en cognition numérique et en mémoire ne cessent de se multiplier.

En cognition numérique, la majorité des études a eu pendant longtemps les yeux rivés sur l'aspect quantitatif du nombre. De nombreux entraînements ont été proposés comme nous l'avons vu, en ciblant spécifiquement l'aspect magnitude. De multiples chercheurs évoquent ainsi l'importance de travailler la cardinalité pour favoriser de bonnes performances en mathématiques, telles que le calcul. L'aspect ordinal, lui, a longtemps été laissé de côté. Pourtant, de nombreuses études montrent que ce domaine serait une habileté à part entière de la cardinalité (Turconi et al., 2004) et qu'il serait un fort prédicteur des habiletés numériques et arithmétiques (Lyons et al., 2014 ; Sasanguie et al., 2018).

Du côté de la mémoire de travail, les chercheurs s'intéressant à ce domaine plus général ont débattu dans la littérature des aspects de celle-ci qui entrent en jeu lors de tâches en mathématiques. De nombreuses études ont observé les effets d'entraînements de la mémoire de travail sur les compétences numériques et arithmétiques. Cependant, aucune d'entre elles ne s'est focalisée principalement sur l'aspect ordre en mémoire à court terme. Or, cet aspect découvert récemment aurait toute son importance dans les habiletés en calculs (Attout & Majerus, 2018).

Ajouté à ceci, l'ordre de manière générale, c'est-à-dire tant en ordinalité numérique ou non numérique ainsi qu'en mémoire, serait déficitaire chez les personnes ayant des difficultés en mathématiques (Attout & Majerus, 2015 ; Morsanyi et al., 2018 ; Rubinsten & Sury, 2011). Nous voyons ici toute l'importance de réaliser un entraînement dans le domaine qu'est l'ordre avec des enfants en difficulté dans l'apprentissage des mathématiques.

L'objectif de notre étude est de comparer un entraînement en ordinalité numérique avec un autre en mémoire à court terme verbale ordre sériel. Nous tenterons d'observer si ces rééducations peuvent, d'une part, avoir un impact sur les habiletés qu'elles travaillent directement, c'est-à-dire en ordinalité ou mémoire ordre sériel, et, d'autre part, si un transfert est visible sur les compétences en calculs chez des enfants ayant des difficultés en mathématiques. Nous aimerions également observer si un transfert est possible d'un travail plus global en mémoire à court terme ordre vers l'ordinalité, plus spécifique en cognition numérique, au vu de plusieurs études mettant en avant un processus commun partagé de la mémoire ordre.

Afin de prendre en compte les profils hétérogènes que nous retrouvons chez les enfants faibles en mathématiques, nous effectuerons une étude de cas multiples pour comprendre au mieux les effets des entraînements sur les enfants. Chaque enfant bénéficiera des deux entraînements. Si deux enfants sont dans le même niveau scolaire, l'un commencera par la rééducation en ordinalité tandis que l'autre débutera par celle en mémoire ordre sériel. Nous pourrons ainsi plus facilement observer les différents effets de transfert d'un entraînement à l'autre ainsi que d'un entraînement sur un transfert plus lointain, les calculs. Ce design va permettre d'observer directement les effets sur chaque enfant et non un effet général sur un groupe.

Pour pouvoir objectiver d'éventuelles améliorations, nous administrerons des lignes de base multiples que nous détaillerons dans la partie méthodologie. Pour ce faire, nous recruterons cinq enfants ayant entre 7 et 10 ans. Cet âge nous permettra d'identifier des difficultés en mathématiques et de proposer deux entraînements qui resteront adaptés à l'âge des enfants. En effet, nos rééducations resteront assez simples étant donné qu'elles traiteront d'habiletés basiques.

Au vu des différentes études que nous avons pu lire, voici nos différentes hypothèses pour la réalisation de notre travail.

Notre **première hypothèse** est que les rééducations dans chaque domaine pourraient améliorer directement les compétences ciblées dans leurs domaines respectifs. En d'autres mots, nous nous attendons à ce que le travail en ordinalité permette d'améliorer directement les capacités en ordinalité numérique et que l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel permette d'améliorer directement les compétences en mémoire ordre sériel. En effet, la plupart des études réalisées en cognition numérique et en mémoire permettaient la plupart du temps une amélioration des domaines spécifiques qu'elles travaillaient (Holmes et al., 2009 ; Honoré & Noël, 2016 ; Park & Brannon, 2013 ; Passolunghi & Costa, 2016).

Pour notre **deuxième hypothèse**, nous nous demandons si une rééducation en mémoire ordre sériel pourrait avoir un effet de transfert sur les capacités en ordinalité numérique. En effet, quelques études ont montré que la mémoire ordre sériel pourrait partager les mêmes processus cognitifs que l'ordinalité et coder de la même manière l'ordre (Attout & Majerus, 2018). Si les stratégies utilisées en entraînement de l'ordre sériel en mémoire permettent d'améliorer ce domaine, alors cela pourrait peut-être se répercuter sur la récupération plus précise des relations ordinales numériques et permettre un meilleur jugement de l'ordinalité.

**Troisième hypothèse** : Chaque entraînement améliorera les compétences en arithmétiques chez les enfants. Un transfert éloigné en calcul sera donc visible après chaque rééducation. En effet, l'ordinalité serait en lien avec les habiletés en arithmétique (Lyons et al., 2014 ; Morsanyi et al., 2016) tout comme l'aspect ordre sériel en mémoire à court terme verbale (Attout & Majerus, 2022).

Pour notre **quatrième hypothèse**, nous nous demandons si les deux rééducations seront complémentaires et si un transfert éloigné en calcul pourra être observé seulement après la fin des deux rééducations passées.

## 4. Méthodologie

### 4.1. Participants

#### 4.1.1. Critères de recrutement

Pour notre travail, nous avons sélectionné cinq enfants de 7 à 10 ans ayant des difficultés en mathématiques. Nous avons choisi de sélectionner plusieurs enfants pour tenir compte des profils hétérogènes que nous pouvons retrouver chez les enfants ayant des difficultés en mathématiques mais également pour tester différents ordres de passation et analyser ainsi les effets de chaque intervention sur différents domaines. Pour le recrutement des enfants, nous avons choisi de prendre en compte des critères d'inclusion et d'exclusion.

Concernant nos critères d'inclusion, étant donné que nous voulions travailler avec des enfants ayant un trouble des apprentissages en mathématiques, les enfants devaient présenter des difficultés en mathématiques. Les enfants devaient également être âgés entre 7 et 10 ans. Nous avons délimité ces âges pour correspondre aux rééducations que nous voulions proposer reprenant des habiletés de base. Concernant nos critères d'exclusion, les enfants ne devaient pas présenter de handicap intellectuel, de surdité non diagnostiquée, de trouble visuel ou de retard de langage pour que leurs difficultés en mathématiques ne soient pas expliquées par d'autres facteurs.

Les enfants ont été recrutés à l'école élémentaire Saint-André à Liège. Nous avons vu les enfants 2 fois par semaine, durant le temps de midi à leur école, pendant 11 semaines.

#### 4.1.2. Tests administrés en prétest

Tout d'abord, pour procéder au recrutement des enfants, nous avons discuté avec la logopède de l'école ainsi qu'avec les instituteurs qui nous ont permis de nous orienter vers des élèves en difficultés dans le domaine des mathématiques. Pour établir le profil des enfants, nous avons commencé par administrer une série de tests permettant d'évaluer les habiletés numériques et arithmétiques. Pour cela, nous avons fait passer une série d'épreuves en prétest.

Voici les tests que nous avons sélectionnés en prétest pour permettre le recrutement des enfants.

Tout d'abord, nous avons sélectionné quelques épreuves du TEDI-MATH petits (Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., Noël, M-P, 2001). Nous avons administré certaines épreuves. Les parties « Comptage », « Dénombrement » et « Compréhension du système numérique » ont été administrées.

Pour le subtest « **Comptage** », nous évaluons ici l'acquisition de la chaîne numérique de l'enfant. Nous demandons à l'enfant de compter le plus loin possible, compter avec une borne supérieure et inférieure, compter à rebours et compter par pas de deux et de dix.

Pour l'item « **Dénombrement** », nous évaluons différents principes du dénombrement. L'enfant est amené à dénombrer différents animaux sur une feuille.

La partie « **Compréhension du système numérique** » comprend plusieurs sous-tests, nous avons fait passer la partie « Système en base dix », le subtest « Représentation avec des jetons » et l'épreuve « Reconnaissance des unités et des dizaines ». Ici, la compréhension et l'acquisition du système base dix sont observées au moyen de différentes manipulations à effectuer. Enfin, nous avons fait passer l'épreuve de « Transcodage » qui comprend une partie lecture de nombre et une partie écriture de nombre.

Pour assurer un de nos critères d'exclusion, à savoir le recrutement d'enfants sans retard langagier, nous avons fait passer le test de l'**EVIP** (Échelle De Vocabulaire en Image Peabody) de Dunn, Theriault-Whalen & Dunn, (1993). Ce test permet d'évaluer le vocabulaire réceptif. Lors de cette épreuve, nous énonçons un mot à l'enfant et celui-ci doit désigner l'image correspondante parmi quatre propositions.

Nous avons également administré les **Matrices** du test **WISC-IV** (Wechsler, 2003). Ce test permet d'évaluer l'intelligence non-verbale de l'enfant. Nous présentons à l'enfant cinq figures et il doit choisir parmi les propositions l'image permettant de compléter la suite logique.

Pour évaluer les habiletés en calculs des enfants, nous avons administré le test **Tempo Test Rekenen** (TTR), (De vos, 1992). Ce test a été proposé en prétest pour observer d'éventuelles difficultés pouvant guider notre recrutement. Il sera de nouveau administré en inter-évaluation ainsi qu'en post-test. En effet, cela nous permettra d'observer si un effet de transfert a été réalisé suite à nos différentes rééducations, sur les habiletés en calculs. Nous détaillerons cela dans notre partie ligne de base. Ce test permet d'évaluer les opérations arithmétiques simples composées d'additions, de soustractions, de multiplications et de divisions. L'enfant doit réaliser le plus d'opérations possibles en 1 minute par catégorie d'opération. Ce test nous permet d'observer si l'enfant est dans la moyenne par rapport à son niveau de classe pour les compétences en calculs.

#### 4.1.3. Profil des participants

##### 4.1.3.1. Profil de K.

K. est une petite fille âgée de 7 ans et 7 mois lors de la passation des tests. Elle est scolarisée en 2-ème primaire. Elle n'a jamais été suivie en logopédie et n'a jamais doublé de classe. Selon sa professeure, elle présente principalement des difficultés en mathématiques. K. a besoin de temps supplémentaire pour réaliser les tâches en mathématiques en classe.

La passation de ces tests s'est déroulée au mois de mars 2023.

Tableau 2. Résultats de K. au TEDI-MATH, TTR, EVIP et WISC-IV en pré-test

Épreuves	Scores bruts	Résultats normés
<b>TEDI-MATH</b>		
		<b>Percentiles</b>
Comptage	9/12	<P5
Dénombrement	13/13	P100
Système en base 10	9/27	<P5
Transcodage	32/40	<P8
<b>TTR</b>		
	<b>Calculs réalisés sans erreur</b>	<b>Niveau scolaire équivalent</b>
Additions	9	1 ère primaire (mars)
Soustractions	3	1 ère primaire (novembre)
Multiplications	5	1 ère primaire (mai)
Divisions	0	1 ère primaire (octobre)
Mélangés	6	2 -ème primaire (septembre-octobre)
<b>EVIP</b>		
	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Vocabulaire en réception	95	0.72
<b>WISC-IV</b>		
	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Matrices	26/35	1.93

Globalement, nous pouvons observer que K. présente des difficultés principalement au niveau du comptage, du système base 10 et du transcodage.

Pour le subtest « comptage », K. obtient un score déficitaire par rapport aux autres enfants de son niveau scolaire. Durant le test, elle oublie un nombre de la chaîne numérique lors du comptage à rebours et omet également le passage à la dizaine de « 30 » lors du comptage par 10.

Nous pouvons voir que le dénombrement est acquis chez elle, K. obtient une très bonne performance. Nous notons une bonne coordination œil-main.

Concernant la base 10, K. obtient un score déficitaire. Sa compréhension du système en base 10 n'est pas encore optimale. Elle commet de nombreuses erreurs lors de l'épreuve d'identification de l'unité et la dizaine sur les nombres présentés.

Enfin, concernant le transcodage, elle obtient un score déficitaire. Pour la lecture de nombres, elle commet principalement des erreurs sur les nombres contenant une centaine. Par exemple, elle énonce « 140 » pour « 400 » ou encore « 117 » pour « 170 ». Concernant l'écriture, elle commet quelques erreurs également sur des nombres contenant une centaine. Par exemple, elle écrit « 119 » pour « 109 » ou encore « 61143 » pour « 643 ».

Nous avons ensuite fait passer le Tempo Test Rekenen (TTR).

Pour les calculs d'additions, de soustractions, de multiplications et de divisions, K. se situe avec un niveau de 1ère primaire, soit environ 1 an de retard par rapport à sa classe actuelle. Pour la partie des opérations mélangées, K. se situe à un niveau de 2-ème primaire mais avec cinq mois de retard.

Au niveau des additions, elle effectue 11 calculs et commet 2 erreurs. Au niveau des soustractions, elle effectue 7 calculs avec 4 erreurs. Pour les multiplications, elle réussit à en réaliser 6 avec 1 erreur. Concernant les divisions, K. n'arrive pas à réaliser d'opération. Enfin, pour les calculs mélangés, elle en effectue 6, sans erreur.

Nous observons donc que K. présente des difficultés lors de la réalisation de calculs simples. Elle compte sur ses doigts ce qui lui fait perdre du temps ou se perdre pendant le calcul et qui engendre ainsi des erreurs. Son résultat est souvent proche de celui attendu mais se trompe d'un chiffre, par exemple «  $8-3=6$  ».

#### 4.1.3.2. Profil de J-P.

J-P. est un enfant de 7 ans et 9 mois lors de la passation des tests. Il est en deuxième primaire. Il porte des lunettes. Une demande en logopédie est introduite depuis 1 an par l'institutrice qui évoque chez J-P. des difficultés en français, notamment en orthographe, mais également en mathématiques. J-P. est un enfant très volontaire durant les séances mais peut rapidement se laisser déconcentrer si des distracteurs sont présents. La passation de ces tests s'est déroulée au mois de mars 2023.

Tableau 3. Résultats de J-P. au TEDI-MATH, TTR, EVIP et WISC-IV en pré-test

Épreuves	Scores bruts	Résultats normés
<b>TEDI-MATH</b>		<b>Percentiles</b>
Comptage	8/12	<P5
Dénombrement	13/13	P100
Système en base 10	15/27	P8
Transcodage	40/40	P100
<b>TTR</b>	<b>Calculs réalisés sans erreur</b>	<b>Niveau scolaire équivalent</b>
Additions	14	2 -ème primaire (juin)
Soustractions	13	2 -ème primaire (mars-mai)
Multiplications	6	1 ère primaire (juin-septembre)
Divisions	1	1 ère primaire (novembre-février)
Mélangés	7	1 ère primaire ( novembre- décembre)
<b>EVIP</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Vocabulaire en réception	108	1.48
<b>WISC-IV</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Matrices	28/35	2.35

Après la passation du TEDI-MATH, nous pouvons observer que, pour l'épreuve du dénombrement et du transcodage, J-P. obtient de très bonnes performances. Ces domaines sont acquis par l'enfant.

Au niveau du comptage, J-P. obtient un score déficitaire. Il commet des erreurs lors du comptage d'une borne inférieure et d'une borne supérieure par manque de compréhension des termes « à partir de ». Cependant, sa chaîne numérique est parfaitement connue.

La compréhension du système en base 10 n'est pas encore optimale.

Nous avons ensuite administré le TTR. Concernant les additions, J-P. présente un avancement de 3 mois par rapport au niveau attendu pour sa classe. Il obtient un score dans la moyenne des enfants de sa classe en soustraction. Pour les multiplications, il présente un niveau de fin première, début 2-ème primaire. Pour les divisions et les calculs mélangés, il présente un niveau



de première primaire. Il réalise 8 calculs pour les multiplications et commet deux erreurs. Pour les divisions, J-P. réalise seulement 1 opération en 1 minute.

Nous pouvons observer que J-P. éprouve plus de difficultés au niveau des multiplications et divisions mais nous verrons lors de la passation des lignes de base qu'il a également des difficultés avec les additions et soustractions plus complexes, notamment lors de passage à la dizaine.

#### 4.1.3.3. Profil de E.

E. est âgée de 9 ans et 5 mois lors de la passation des tests. Elle est scolarisée en troisième primaire. E. a doublé sa 3-ème primaire l'année passée. Elle est prise en charge par la logopède de l'école depuis un an pour difficultés en français et en mathématiques. C'est une petite fille volontaire mais pouvant être vite découragée à cause de ses difficultés. Elle a besoin de beaucoup d'encouragement pour prendre confiance en elle et garder la motivation pendant les séances. E. a également des difficultés pour rester concentrée durant les séances et est vite fatiguée.

La passation de ces tests s'est déroulée au mois de mars 2023.

Tableau 4. Résultats de E. au TEDI-MATH, TTR, EVIP et WISC-IV en pré-test

Épreuves	Scores bruts	Résultats normés
<b>TEDI-MATH</b>		<b>Percentiles</b>
Comptage	12/12	P100
Dénombrement	13/13	P100
Système en base 10	17/27	<P4
Transcodage	40/40	P100
<b>TTR</b>	<b>Calculs réalisés sans erreur</b>	<b>Niveau scolaire équivalent</b>
Additions	11	1 ère primaire (juin)
Soustractions	6	1 ère primaire (février)
Multiplications	13	2-ème primaire (octobre-novembre)
Divisions	3	1 ère primaire (septembre-janvier)
Mélangés	5	1 ère primaire (mai-juin)
<b>EVIP</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Vocabulaire en réception	125	1.51
<b>WISC-IV</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Matrices	27/35	2.14

La chaîne numérique, le dénombrement et le transcodage sont acquis par E. qui obtient une très bonne performance. La compréhension en base 10 n'est pas encore acquise. E. y obtient un score déficitaire. Durant le test, E. a du mal à comprendre l'exercice de la représentation avec des bâtonnets. Elle a également des difficultés à identifier les unités et dizaines au sein de quelques nombres.

Concernant les calculs simples, E. obtient un score équivalent à un niveau de 1ère primaire pour les additions, soustractions, divisions et les opérations mélangées, soit environ deux ans de retard par rapport à sa classe actuelle. Concernant les additions et soustractions, elle ne commet pas d'erreur mais effectue peu de calculs en 1 minute. Elle commet trois erreurs sur six opérations réalisées pour les divisions. E. comprend le lien entre divisions et multiplications mais applique la mauvaise procédure et multiplie les deux opérands entre elles. Elle commet une erreur sur six opérations pour la colonne des opérations mélangées, par exemple «  $6:3 = 18$  ». Concernant les multiplications, E. obtient un score correspondant à un niveau de 2-ème primaire. Elle ne commet aucune erreur mais effectue peu de calculs pour son niveau scolaire.

E. présente donc des difficultés lors de la réalisation de calculs, elle a besoin de beaucoup plus de temps que ses camarades pour réaliser des calculs simples. Elle utilise également toujours ses doigts pour compter ce qui la ralentit ou la fait se perdre dans ses calculs.

#### 4.1.3.4. Profil de C.

C. est une petite fille de 9 ans et 9 mois lors de notre rencontre. Elle est scolarisée en 3-ème primaire. Elle a doublé la 1ère primaire et est suivie par la logopède de l'école depuis un peu plus d'un an pour travailler principalement les mathématiques. C. est très active et pleine d'énergie. Elle a souvent des difficultés à rester concentrée et se laisse vite distraire. Cependant, elle montre une grande motivation et veut toujours faire de son mieux lors des séances. La passation de ces tests s'est déroulée au mois de mars 2023.

Tableau 5. Résultats de C. au TEDI-MATH, TTR, EVIP et WISC-IV en pré-test

Épreuves	Scores bruts	Résultats normés
TEDI-MATH		Percentiles
Comptage	12/12	P100
Dénombrement	13/13	P100
Système en base 10	11/27	<P4
Transcodage	36/40	<P5

<b>TTR</b>	<b>Calculs réalisés sans erreur</b>	<b>Niveau scolaire équivalent</b>
Additions	8	1ère primaire (février)
Soustractions	8	1ère primaire (avril-mai)
Multiplications	10	2-ème primaire (avril-mai)
Divisions	2	1ère primaire (mars-juin)
Mélangés	5	1ère primaire (mai-juin)
<b>EVIP</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Vocabulaire en réception	110	0.48
<b>WISC-IV</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Matrices	31/35	2.9

La passation du TEDI-MATH nous permet d'observer que C. éprouve des difficultés au niveau de la compréhension du système en base 10 et du transcodage, où elle obtient des scores déficitaires. C. a de nombreuses difficultés lors des épreuves avec les paquets de bâtonnets et ne semble pas comprendre que 10 bâtonnets/unités forment un paquet, 1 dizaine. Elle éprouve également des difficultés à identifier les unités et dizaines dans des nombres composés de dizaine-unité ou centaine-dizaine-unité. Au niveau de l'épreuve de transcodage, C. lit tous les nombres correctement. L'écriture des nombres devient plus compliquée pour elle, notamment l'écriture des nombres entiers contenant une centaine. Par exemple, pour l'écriture des nombres sous dictée de « 643 », elle écrit « 6043 », pour « 101 », elle écrit « 1001 » ou encore pour « 190 », est écrit « 10090 ».

Concernant la réalisation de calculs simples, les résultats de C. sont équivalents à ceux de première primaire pour les additions, soustractions, divisions et opérations mélangées, soit environ deux ans de retard par rapport à sa classe actuelle. C. semble assez stressée par le chronomètre et tente de réaliser le plus de calculs possible mais effectue de nombreuses erreurs. Elle commet 5 erreurs sur 13 calculs en addition, 3 erreurs sur 11 opérations effectuées en soustraction. Certains résultats sont dus à un manque de concentration et une perturbation engendrée par le stress des épreuves. Par exemple, elle commet l'erreur «  $2+1=2$  » alors qu'elle est capable de réaliser ce calcul sans problème dans un contexte moins stressant. Pour d'autres opérations, elle compte sur ses doigts et se perd dans le calcul, par exemple «  $4+6=12$  ». L'utilisation de la chaîne numérique n'est pas encore optimale. En effet, elle n'a pas acquis la compréhension de la chaîne sécable et commence à compter à partir de 1, ce qui lui fait perdre beaucoup de temps et devient compliqué avec l'utilisation des doigts pour des calculs plus complexes que nous verrons lors des lignes de base.

Elle commet 3 erreurs en division sur 5 calculs. La procédure des divisions n'est pas encore acquise.

Enfin, 2 erreurs sont commises sur 7 opérations effectuées pour les calculs mélangés et, pour les multiplications, C. obtient un score équivalent aux enfants de 2-ème primaire, soit un an de retard. Elle commet deux erreurs sur 15 opérations.

#### 4.1.3.5. Profil de N.

N. est un garçon de 9 ans et 6 mois lors de notre rencontre. Il est scolarisé en 3-ème primaire, n'a pas doublé de classe et n'a jamais bénéficié de séances en logopédie. Son institutrice s'interroge quant au profil de N. Un bilan neuropsychologique a été effectué après de nombreuses demandes mais les parents de N. refusent de l'apporter à l'école. L'enfant est en souffrance et n'arrive plus à suivre à l'école. N. est souvent distrait, il a besoin de manipuler et de changer rapidement d'activité pour rester concentré et intéressé par la séance. La passation de ces tests s'est déroulée au mois de mars 2023.

Tableau 6. Résultats de N. au TEDI-MATH, TTR, EVIP et WISC-IV en pré-test

Épreuves	Scores bruts	Résultats normés
<b>TEDI-MATH</b>		<b>Percentiles</b>
Comptage	12/12	P100
Dénombrement	13/13	P100
Système en base 10	9/27	<P4
Transcodage	35/40	<P5
<b>TTR</b>	<b>Calculs réalisés sans erreur</b>	<b>Niveau scolaire équivalent</b>
Additions	5	1ère primaire (décembre)
Soustractions	4	1ère primaire (décembre)
Multiplications	7	2-ème primaire (octobre-novembre)
Divisions	2	1ère primaire (mars-juin)
Mélangés	3	1ère primaire (janvier-février)
<b>EVIP</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Vocabulaire en réception	112	0.61
<b>WISC-IV</b>	<b>Scores bruts</b>	<b>Z score</b>
Matrices	24/35	1.5

Au niveau des épreuves du TEDI-MATH, N. obtient des scores déficitaires au niveau du système base 10 et du transcodage. La base 10 n'est pas encore comprise, les exercices semblent difficiles au niveau de la compréhension. Il commet le plus d'erreurs lors de l'identification de la dizaine dans des nombres contenant une centaine. Au niveau du transcodage, N. commet quelques erreurs pour la lecture de nombres avec centaine : « 800 » est lu « 180 », « 160 » est lu « 116 » et « 400 » est prononcé « 104 ». Concernant la partie écriture, deux erreurs sont

commises sur des nombres contenant également une centaine, « 623 » est écrit « 6403 » et « 101 » est écrit « 1000 ».

Concernant la réalisation de calculs simples, N. obtient des scores équivalents à un niveau de 1ère primaire pour ce qui est des additions, soustractions, divisions et opérations mélangées, soit un niveau environ deux classes en dessous de la sienne. Pour les multiplications, son niveau est équivalent à celui d'un enfant de 2-ème primaire, soit un peu moins de 2 ans de retard.

Il ne commet aucune erreur dans les opérations, mais réalise très peu de calculs en 1 minute. N. a également des difficultés au niveau de la flexibilité. Il est difficile pour lui de passer d'une tâche à une autre, par exemple si nous passons des additions aux soustractions, il va continuer d'additionner les nombres. N. utilise ses doigts pour compter ce qui peut le ralentir durant les calculs.

#### 4.2. Déroulement général de l'étude

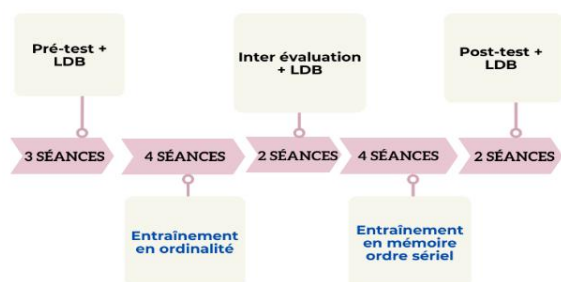
Notre étude porte sur la comparaison de deux entraînements en ordre sériel, reprenant d'une part un domaine numérique, l'ordinalité, et, d'autre part un domaine plus général, la mémoire à court terme ordre sériel. Chaque enfant participera aux deux rééducations.

Pour commencer, 3 séances sont consacrées au prétest. Nous avons fait passer le TEDI-MATH petits, le Tempo Test Rekenen, les matrices de la WISC-IV et l'EVIP que nous avons détaillés ci-dessus, pour sélectionner les participants et mettre en avant leurs difficultés au niveau des habiletés numériques et en calculs.

Pour permettre d'évaluer les effets de nos interventions, nous avons fait passer des lignes de base à chaque enfant. Nous détaillerons plus bas la construction de nos lignes de base. Celles-ci ont été administrées en pré-test, en inter-évaluation, c'est-à-dire à la fin de la première rééducation et juste avant la deuxième, puis en post-test, à la fin de la deuxième rééducation.

Après la passation de ces tests et lignes de base pré-test, nous avons consacré 4 séances pour la première intervention. À la fin de celle-ci, 2 séances d'évaluation inter-intervention ont été organisées. L'inter-évaluation comporte donc nos lignes de base mais également le TTR. Puis, 4 autres séances ont été consacrées à la deuxième rééducation. Pour terminer, 2 séances post-test ont été organisées à la fin de la deuxième intervention pour administrer de nouveau nos lignes de base ainsi que le TTR.

Figure 1. Ligne du temps illustrant un exemple d'intervention pour un enfant commençant par l'entraînement en ordinalité numérique.



Notre étude se compte donc sur 15 séances à raison de 30 à 40 minutes chacune. Les séances sont individuelles.

Pour tester un ordre de passation différent, nous avons commencé l'entraînement en ordinalité avec un enfant de 2<sup>ème</sup> primaire et un de 3<sup>ème</sup> primaire, et nous avons commencé l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel avec deux enfants de 3<sup>ème</sup> primaire et un enfant de 2<sup>ème</sup> primaire.

#### 4.2.1. Description des lignes de base

Nos lignes de base ont été construites pour évaluer l'efficacité de notre prise en charge et sa spécificité. Nous avons élaboré des lignes de base multiples de type procédural.

Elles contiennent une mesure 1 « prise en charge », mesure 2 « transfert proche », mesure 3 « transfert éloigné » et mesure 4 « contrôle ».

La stabilité des mesures a été prise en considération pour contrôler la variabilité intra-individuelle. Nous avons donc, pour chaque mesure, 3 listes : Liste A, liste B, liste C qui ont été administrées à des moments différents.

Nos lignes de base reprennent les domaines que nous voulions observer, à savoir : **L'ordinalité numérique, la mémoire à court terme ordre sériel et les calculs d'additions et de soustractions**, ainsi que **l'orthographe de mots** pour notre mesure contrôle.

Chaque domaine mesuré comprend 3 listes, passées à différents moments, et chaque liste comprend 6 items, soit 18 items en tout pour les listes en ordinalité, calculs et mesure contrôle. Pour le domaine mémoire ordre sériel, les listes sont composées de 7 items chacune, soit 21 items pour chaque temps. Toutes les listes ont été appariées en terme de complexité. Nous avons pris en compte les recommandations de Martinez-Perez, Dor et Maillart (2015) qui préconisent

d'avoir au minimum 10 items pour observer plus facilement les progrès du patient ainsi que d'apparier au mieux les listes pour ne pas interpréter, par erreur, des progrès qui seraient dus à une liste avec des items plus faciles pour le patient.

Chaque domaine a été testée en 3 temps. Temps 1 = pré-test ; temps 2 = inter-rééducation et temps 3 = post-test.

Nous allons maintenant présenter la construction de chaque mesure.

Notre mesure 1 « **prise en charge** » comprend 3 listes (A, B et C). Cette mesure nous aidera à évaluer la compréhension et l'acquisition de la procédure travaillée en rééducation. Par exemple, si l'enfant commence avec l'entraînement en ordinalité numérique, notre mesure 1 sera composée d'items pour tester le jugement d'ordinalité. Si l'enfant commence avec l'entraînement en mémoire ordre sériel, notre mesure 1 sera alors composée d'items évaluant le domaine mémoire. Nous nous attendons à une amélioration dans cette mesure pour pouvoir confirmer notre première hypothèse.

La mesure 2 « **transfert proche** » comprend 3 listes (A, B et C). Cette mesure nous permet d'observer s'il y a un effet de transfert avec une amélioration d'un domaine travaillé sur celui non travaillé. Par exemple, si l'enfant a commencé avec la prise en charge en ordinalité, notre mesure 2 sera donc nos items de mémoire à court terme ordre sériel. Nous voulons observer si une de nos prises en charge a pu impacter positivement le domaine de notre deuxième prise en charge (qui sera travaillé dans un second temps). Nous nous attendons à une amélioration dans cette mesure pour un transfert de l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel sur les items de jugement d'ordinalité, étant l'une de nos hypothèses.

La mesure 3 « **transfert éloigné** » comprend 2 X 3 listes (A, B et C). 3 listes contiennent des items de calculs en addition et les 3 autres listes des soustractions. Nous avons apparié nos items de chaque liste en fonction des nombres à additionner ou soustraire pour garder le même niveau de complexité. Nous retrouvons unité-unité, dizaine-dizaine, dizaine-unité et unité-dizaine. Nous avons également pris en considération le passage à la dizaine que le résultat indiquait. Nous nous attendons à voir un transfert positif dans cette mesure. En effet, comme nous l'avons vu dans notre partie théorie, de nombreux auteurs s'accordent à dire qu'un travail dans ces deux domaines permet un transfert positif dans les habiletés en calculs.

Pour terminer, la mesure 4 « **contrôle** » comprend 3 listes (A, B et C). Cette mesure est utilisée pour s'assurer de la spécificité de notre prise en charge, si des améliorations sont notables. Nous avons utilisé des mots utilisant l'orthographe d'usage ou des mots irréguliers,

en fonction du niveau de l'enfant et de sa classe. Nous avons apparié nos mots en fonction de la fréquence d'apparition et des graphies. Nous n'attendons pas d'amélioration dans cette mesure.

Nous allons maintenant détailler les épreuves pour la construction de nos lignes de base, en ordinalité numérique, mémoire à court terme ordre sériel, calculs et orthographe de mots.

- Tâche ordinalité numérique

Nous avons construit nos items en ordinalité numérique en suivant la majorité des modèles que nous avons trouvés dans la littérature scientifique. La tâche pour évaluer ce domaine consiste en une vérification ordinale de trois nombres dans un ordre croissant (Lyons & Beilock, 2013 ; Vogel et al., 2019). 3 items sont dans un ordre consécutif et 3 autres non consécutif. Toutes les séquences sont régulières. Nous avons respecté le même nombre d'items consécutifs et non consécutifs pour ne pas fausser nos résultats au niveau du temps. En effet, selon Lyons & Ansari (2015), un effet de distance inverse peut être présent en ordinalité, c'est-à-dire répondre plus rapidement lors du jugement de séquences consécutives, par exemple 2-3-4. Nous avons également construit 3 items avec des séquences correctement ordonnées et 3 autres items avec des séquences non ordonnées, également pour être objectif au niveau du temps. En effet, les enfants répondraient plus rapidement lors d'un jugement de séquence correctement ordonnée (Lyons & Beilock, 2009).

Nous avons chronométré cette épreuve car, selon plusieurs auteurs, la rapidité de vérification de l'ordre est en lien avec de meilleures performances en arithmétiques (Vogel et al., 2021, Sasanguie & Vos, 2018).

Pour évaluer cette compétence, nous présentons sur un écran d'ordinateur une séquence avec trois nombres et demandons à l'enfant « Est-ce que les nombres sont rangés dans le bon ordre ? ». L'enfant doit répondre « oui » si la suite est correctement ordonnée ou « non » si les nombres ne sont pas rangés dans le bon ordre.

Nous avons fait passer deux items tests pour s'assurer de la bonne compréhension de la consigne. Nous avons prévenu l'enfant que les nombres pouvaient tout de même être dans le bon ordre même s'il manquait des nombres entre eux, ce que l'on retrouve pour les suites non consécutives.

1 point était accordé par bonne réponse et nous avons chronométré cette évaluation.



- Tâche mémoire à court terme verbale ordre sériel

Pour évaluer ce domaine, la course des animaux a été utilisée et adaptée (Majerus et al., 2006). Nous devons énoncer un résultat de course que sept animaux ont effectuée. Après avoir entendu le résultat de la course, l'enfant doit placer les images des animaux dans le bon ordre sur un podium allant de 1 à 7. Cette tâche se focalise essentiellement sur l'aspect ordinal de la mémoire à court terme verbale. En effet, les mots sont présentés à l'avance et sont tous des mots monosyllabiques, respectant l'âge d'acquisition pour les jeunes enfants ainsi qu'une grande fréquence lexicale. Pour utiliser cette tâche dans nos lignes de base, nous avons présenté à chaque passation les sept animaux. Pour chaque temps, nous avons fait passer trois courses d'animaux. Le résultat sur 7 indique l'empan maximal de l'enfant pour la course, sur 7 animaux. Par exemple, si l'enfant réussit à placer 3 animaux sur les 7, le résultat indiqué sera 3/7.

- Tâche de calculs d'additions et soustractions

Pour évaluer un transfert au niveau des calculs, nous avons proposé aux enfants des calculs plus complexes que ceux du test Tempo Tests Rekenen pour se rapprocher un peu plus de ce qui est vu en classe. Nous avons présenté les calculs sur un écran d'ordinateur, et l'enfant devait les résoudre mentalement. Cette tâche a été chronométrée. 1 point a été accordé pour chaque calcul correctement réalisé.

- Tâche d'orthographe de mots

Pour évaluer la spécificité de la rééducation, nous avons fait passer aux enfants une dictée de mots contenant soit des graphies complexes, soit des mots irréguliers, en fonction de leur niveau. Les mots ont été appariés au niveau de leur fréquence et de la graphie utilisée. Nous avons accordé un point par mot correctement orthographié.

Nous allons maintenant présenter le déroulement des séances dans les deux entraînements.

#### 4.2.2. Description des rééducations

##### 4.2.2.1. Entraînement en ordinalité numérique

Les illustrations du matériel utilisé en séance se trouvent en annexe.

Pour chaque séance, nous avons varié le niveau de difficulté en fonction des capacités de l'enfant. Pour cet entraînement, nous avons d'abord travaillé avec des suites de nombres

consécutives puis non consécutives, allant de 2 espaces entre les nombres à 3 par exemple. Nous proposons aussi parfois des suites non régulières, par exemple : 3-5-9. Nous proposons par moments des suites avec passage à la dizaine supérieure, par exemple : 18-20-22. Les suites pouvaient également s'agrandir. Ces niveaux de complexité s'appliquent pour chaque séance tant en réception qu'en production.

Lors de la première séance, nous avons commencé le travail en introduisant le concept d'ordre de manière générale avec des exemples de la vie quotidienne. Nous avons présenté des images illustrant une journée type et l'enfant devait nous dire si elles étaient dans le bon ordre et, si ce n'était pas le cas, les remettre dans le bon ordre. Le même exercice a été proposé avec les lettres de l'alphabet, les mois de l'année, les saisons et les évènements comme Halloween ou l'anniversaire de l'enfant. Nous avons également proposé différentes images à remettre dans l'ordre de manière chronologique pour constituer une histoire à raconter oralement. Nous avons directement introduit une ligne pour permettre à un moment donné l'arrivée des chiffres en lien avec la ligne numérique. Nous avons introduit du matériel non symbolique pour commencer à se rapprocher du numérique. Nous proposons à l'enfant des suites avec des collections de points/bâtonnets, et il devait juger si la suite était dans le bon ordre croissant ou non.

Lors de la deuxième séance, nous avons commencé à travailler l'ordre des chiffres de 0 à 20 ou 30 en fonction des difficultés de l'enfant. Nous avons commencé avec un travail en réception. Pour citer quelques exercices, nous proposons par exemple à l'enfant des numéros de sièges dans un bus, et il devait nous dire si les places étaient dans le bon ordre ou non. Nous identifions le ou les nombres n'étant pas dans le bon ordre et essayons de comprendre pourquoi. Puis, l'enfant devait réarranger la suite pour la mettre dans le bon ordre. Le même exercice était proposé avec du matériel différent. Par exemple, l'enfant devait aider un facteur à distribuer du courrier. Il fallait donc vérifier au préalable que les numéros des boîtes aux lettres soient dans le bon ordre et les réécrire si besoin.

Si l'enfant était en difficulté, nous allions nous référer à la droite numérique graduée. Cette droite a été nommée « La maison de Monsieur Bondineur » par un des enfants, terme que nous avons proposé ensuite aux autres. « Monsieur Bondineur » peut faire différents bonds en avant ou en arrière, avant ou après, en fonction du numéro sur lequel il se situe.

Pour travailler également la rapidité du jugement ordinal, nous avons proposé un exercice avec des cartes. L'enfant devait le plus rapidement possible faire défiler les cartes comme lors d'une bataille et énoncer à voix haute si oui ou non le numéro de la carte venant avant ou après était correct. Nous nous sommes inspirés des propositions de rééducation de Noël (2020).

Pour continuer le travail en production nous avons proposé un jeu de course avec des vaisseaux spatiaux. Une suite de vaisseaux était rangée en ligne et chaque vaisseau avait un numéro en dessous correspondant à sa place dans la course. Nous choissions au préalable une délimitation du classement dans la course pour pouvoir travailler avec différents nombres de la suite numérique. Par exemple, nous prenions la délimitation de 10 à 20 pour le classement dans la course. L'enfant prenait donc la partie de la maison de Monsieur Bondineur de 10 à 20 (droite graduée) pour l'aider s'il en éprouvait le besoin. Durant l'exercice, nous faisons en sorte que des vaisseaux se dépassent, soient éliminés ou ajoutés à la course, et l'enfant devait réinscrire en dessous des vaisseaux leur nouveau placement dans la course. Nous nous sommes inspirés de l'article de Cheung & Lourenco (2019) pour cet exercice.

Pour la troisième séance, nous avons proposé un exercice de complétion de suite. Tout d'abord, un nombre était inscrit au milieu dans une suite composée de 3 nombres. Nous demandions à l'enfant de choisir parmi plusieurs propositions les nombres à mettre avant et après. Le même exercice était ensuite réalisé sans l'aide des étiquettes, nous rajoutions au feutre un nombre au début ou à la fin de la suite et l'enfant devait la compléter en mettant un nombre respectant le même écart entre les nombres que nous avons choisis. Par exemple ?-17-19 ou 33-?-37 ou encore 9-10- ?. S'il était en difficulté il pouvait avoir recours à la maison de « Monsieur Bondineur ».

Pour un autre exemple d'activité, nous avons proposé un exercice avec des dessins de t-shirts ayant chacun un numéro respectif et qui étaient accrochés sur une corde à linge. L'enfant devait accrocher d'autres t-shirts entre ceux déjà installés pour pouvoir compléter la suite et ainsi faire sécher les t-shirts dans le bon ordre. Nous alternions ces exercices avec d'autres en réception tels que des vérifications d'ordinalité, c'est-à-dire juger si une suite est dans le bon ordre, avec des défis de temps. Nous proposons des exercices similaires mais en augmentant le niveau de difficulté ; en allongeant par exemple la suite des nombres à remettre dans l'ordre et en utilisant les nombres à partir de 50.

Pour la dernière séance, nous avons travaillé avec les nombres de 0 à 100. Les mêmes jeux étaient réutilisés. Nous avons parfois adapté des exercices. Par exemple, l'exercice du bus a été utilisé ici en production de complétion d'une suite lacunaire. L'enfant avait en ligne des numéros de places dans un bus et devait écrire lui-même les numéros manquants. Par exemple : ?- 17- 20- ?- ou encore ?- 55-56-57. Pour aider l'enfant, nous lui disions que « Monsieur Bondineur » faisait toujours le même nombre de bonds entre les places.

Il était important pour nous de varier au maximum le matériel pour que l'enfant reste motivé.

#### 4.2.2.2. Entraînement de la mémoire à court terme ordre sériel

Pour cet entraînement, nous avons travaillé avec du matériel numérique et non numérique. Nous avons utilisé des noms d'animaux et de fruits/légumes comme matériel pour cet entraînement. La liste des mots utilisés et le matériel se trouvent en annexe.

Tout au long des séances nous augmentons le niveau de difficulté en fonction des capacités de l'enfant. Les mots étaient d'abord monosyllabiques puis bi ou trisyllabiques pour complexifier le travail, et les suites pouvaient être agrandies en fonction de l'empan de l'enfant. Pour cibler principalement l'aspect ordre, nous nous assurons au préalable que les noms étaient connus de l'enfant. Nous donnions également à l'avance les mots que nous allions utiliser durant l'exercice en regardant au préalable les différentes images utilisées pour le jeu.

Tout au long de l'entraînement, nous avons adopté une stratégie explicite en parlant avec l'enfant des différentes stratégies qu'il était possible d'utiliser pour mémoriser plus facilement des éléments comme la visualisation en tête des images, des mots écrits ou la forme des nombres lorsque le matériel était numérique par exemple. Mais également les associations sémantiques, phonologiques, ou encore la répétition subvocale. Nous lui demandions de verbaliser ce qu'il avait fait pour mémoriser la séquence.

Pour commencer, lors de la première séance, nous avons débuté avec des exercices de mémorisation et de reconnaissance visuelle pour travailler d'abord en réception. Nous commençons par montrer une image avec 3 colonnes où étaient inscrits différents animaux, fruits ou légumes que l'enfant devait regarder et mémoriser. Après quelques secondes, nous proposons d'abord deux choix de listes d'images et l'enfant devait désigner celle qu'il avait vue au préalable. Pour augmenter en complexité, nous proposons ensuite de choisir parmi 3 listes d'images ou plus.

Nous avons poursuivi la séance avec un travail en production. Un des jeux consistait à mémoriser visuellement une liste de courses contenant des fruits/légumes. L'enfant devait ensuite placer les images d'aliments qu'il avait mémorisés au préalable sur une liste de courses vierge. Nous avons essayé de varier au maximum les supports pour que l'enfant ne s'ennuie pas. Nous avons proposé ensuite le même principe mais avec des animaux de la ferme, ou encore des voitures de différentes formes et couleurs sur une route. Tout au long de la séance, nous avons adopté une stratégie explicite en parlant avec l'enfant des différentes stratégies qu'il était possible d'utiliser pour mémoriser plus facilement des éléments et nous lui demandions de verbaliser ce qu'il avait fait pour mémoriser la séquence.

Pour la deuxième séance, nous avons repris les mêmes jeux et avons essayé de complexifier en fonction du niveau de l'enfant. La deuxième partie de la séance était consacrée à un exercice de reconstruction oral-image. Nous proposons à l'enfant un support (forêt, ville, ou campagne) puis nous énonçons une histoire concernant une rencontre entre un petit garçon et différents animaux tout au long d'une promenade. Nous donnons des repères à l'enfant en associant un indice visuel avec un animal ou une action associée à l'animal pour que l'enfant puisse mieux mémoriser. Puis, l'enfant devait remettre correctement et dans le bon ordre d'apparition les animaux énoncés. Pour complexifier l'exercice, nous énonçons simplement l'ordre d'apparition des animaux et c'était à l'enfant d'imaginer des stratégies pour pouvoir mémoriser plus facilement l'ordre.

Nous avons proposé un exercice similaire où nous énonçons à l'enfant la recette d'une potion magique de Panoramix. L'enfant devait écouter et mémoriser les ingrédients à mettre dans un ordre particulier puis replacer dans le bon ordre les ingrédients de la recette sur une planche.

Nous alternions l'entraînement avec du matériel numérique. Par exemple, nous disions à l'enfant de retenir le code secret énoncé à l'oral pour ouvrir le coffre-fort ou bien un numéro de téléphone pour appeler un ami. Il devait ensuite remettre les images avec les numéros inscrits dessus dans le bon ordre pour accéder au butin ou pour que leur ami décroche au téléphone. Le même exercice pouvait être réalisé au niveau oral-oral, c'est-à-dire que l'enfant devait répéter à voix haute la suite entendue.

Pour la troisième séance, nous avons repris au début les exercices de la séance précédente puis la deuxième moitié de la séance, nous avons proposé des jeux pour travailler la modalité orale-orale. Nous avons repris les mêmes supports : recettes, animaux de la ferme, potion magique ou encore animaux dans la forêt. Nous énonçons une suite à l'enfant, il devait écouter puis ensuite redire la suite oralement. Pour l'aider, nous laissions à disposition sur la table les images pour qu'il puisse s'appuyer d'une aide visuelle puis, petit à petit, nous enlevions cette aide.

Enfin, pour la quatrième séance, nous avons repris les mêmes exercices vus précédemment.

## 5. Résultats

Les tableaux contenant les scores bruts se trouvent en annexe. Nous avons également illustré par des graphiques les résultats de chaque participant. Les graphiques se trouvent en annexe (annexes 9.1)

Pour pouvoir observer les effets de chaque intervention et correspondre à la méthode de l'étude de cas multiples, nous avons utilisé des statistiques non paramétriques, en calculant le pourcentage de non-chevauchement (NAP) des points. Plus le pourcentage NAP est élevé, moins les points se chevauchent et plus l'intervention a été efficace (Parker & Vannest, 2009). Pour compléter cela, nous avons indiqué la significativité des résultats associés aux résultats. Les résultats inférieurs à  $p < 0.05$  montrent une significativité de la rééducation. Dans notre tableau, si le résultat est souligné en vert cela montre une amélioration significative et s'il est indiqué en rouge cela montre une baisse significative des scores.

Nous avons également utilisé le Tau-U pour analyser l'efficacité des interventions. La valeur de Tau est également un pourcentage de non-chevauchement, il peut varier entre -1 et 1. Plus le Tau-U est élevé, plus la taille de l'effet est importante (Parker et al., 2010).

Nous avons aussi voulu réaliser des analyses visuelles avec la construction de différents graphiques pour chaque patient, permettant d'observer si les performances augmentent ou diminuent après chaque intervention (Gage & Lewis, 2013).

Au vu du peu de mesures que nous avons dans chaque domaine, les résultats peuvent manquer de sensibilité. Pour venir compléter nos observations, nous avons calculé le Delta de Glass qui permet d'analyser la taille d'effet en calculant l'écart à la moyenne des mesures comparées. Si cet écart est en dessous de 0.87, la taille d'effet est considérée comme petite, si elle est entre 0.87 et 2.67 la taille d'effet est moyenne et si elle est au-dessus de 2.67, elle est considérée comme grande (Saldert et al., 2015).

Cependant, concernant les calculs des temps, les résultats seront inversés pour le calcul de la taille d'effet. Si le TAU et le Delta de Glass sont négatifs, cela montrera un effet positif de la taille de l'effet.

Nous commencerons par présenter les résultats de nos lignes de base des deux enfants ayant commencé par l'entraînement en ordinalité, à savoir K. et E., puis, les trois enfants ayant commencé par l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel, à savoir, J-P., C. et N.

## 5.1. Résultats de K.

K. a commencé par l'entraînement en ordinalité numérique et a terminé avec l'entraînement en mémoire ordre sériel. Voici les résultats qu'elle a obtenus.

Tableau 7. Résultats statistiques de K. des lignes de base et du TTR en pré-test, inter-évaluation et post-test

Épreuves		NAP	P value	TAU	Delta de Glass
<b>Pré VS Post 2 (effet global)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	3
	Temps	50	1	0	-0.06
Mémoire	Score	1	0.049	1	4.03
Calculs : additions	Score	0.88	0.12	0.77	1.33
	Temps	55.56	0.83	-0.11	-0.23
Calculs : soustractions	Score	0.94	0.08	0.88	2.31
	Temps	0	0.049	1	2.24
Calculs : TTR	Score	0.78	0.14	0.56	0.71
Contrôle : orthographe	Score	0.11	0.13	-0.78	-2.33
<b>Pré VS Post 1 (effet spécifique ordinalité)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	2.33
	Temps	83.33	0.19	-0.66	-0.78
Mémoire	Score	0.66	0.51	0.33	0.59
Calculs : additions	Score	0.5	1	0	0
	Temps	55.56	0.83	-0.11	-0.35
Calculs : soustractions	Score	0.38	0.66	-0.22	-0.57
	Temps	33.33	0.51	0.33	2.02
Calculs : TTR	Score	0.64	0.46	0.28	0.38
Contrôle : orthographe	Score	0.61	0.66	0.22	0.60
<b>Post 1 VS Post 2 (effet spécifique mémoire)</b>					
Ordinalité	Score	0.83	0.19	0.66	1.15
	Temps	1	0.049	1	1.89
Mémoire	Score	1	0.049	1	3.45
Calculs : additions	Score	1	0.049	1	1.33
	Temps	44.44	0.83	-0.11	0.30
Calculs : soustractions	Score	0.94	0.08	0.88	1.67
	Temps	33.33	0.51	0.33	0.06
Calculs : TTR	Score	0.66	0.40	0.32	0.31
Contrôle : orthographe	Score	0.16	0.19	-0.67	-1.09

De manière globale, après les deux entraînements (Pré VS Post 2), nous pouvons observer que K. a amélioré de manière significative ses performances en jugement d'ordinalité. Nous remarquons une grande taille d'effet.

Concernant ses scores en mémoire ordre, K. les a également améliorés de manière significative. Nous pouvons en conclure que l'aspect ordre, de manière générale, est mieux compris et pratiqué par l'enfant après les deux entraînements.

Concernant un transfert plus éloigné en arithmétique, bien que les scores bruts de K. aient augmenté, les résultats ne sont pas significatifs. Cependant, nous observons des tailles d'effet intéressantes, les interventions ont eu tout de même un effet positif sur les compétences en calculs. Les améliorations observées sont bien dues à notre prise en charge au vu de notre mesure contrôle qui ne s'est pas améliorée de manière significative.

Nous allons maintenant détailler les résultats obtenus après chaque intervention pour tenter d'analyser les effets de chacune sur les différents domaines.

De façon plus détaillée, après la rééducation en ordinalité numérique (Pré VS Post 1), nous observons un effet précis de l'intervention sur les compétences ciblées spécifiquement. Les scores ont augmenté de manière significative et la taille d'effet est cliniquement pertinente. Après cette intervention, nous n'observons pas d'effet de transfert sur l'aspect mémoire ordre. Concernant les transferts plus éloignés, la rééducation en ordinalité n'a pas permis une amélioration significative en calculs d'addition et de soustraction ou au TTR.

L'amélioration en ordinalité est spécifique à l'intervention au vu de notre mesure contrôle ne s'étant pas améliorée de manière significative.

Après l'entraînement en mémoire ordre sériel (Post 1 VS Post 2), K. s'est améliorée de manière significative dans les compétences ciblées. La rééducation a spécifiquement amélioré le domaine travaillé. Nous n'observons pas de transfert en ordinalité, cette compétence étant déjà à un niveau plafond car travaillée préalablement. Cependant, nous notons une augmentation significative des temps de vitesse lors de la tâche en jugement d'ordinalité.

Au niveau des calculs, un effet de transfert s'est produit sur les calculs d'addition avec une moyenne taille d'effet de l'intervention. Pour les calculs en soustraction et le TTR, les scores bruts se sont améliorés mais pas de manière significative.

Nous pouvons conclure à une spécificité de l'intervention, au vu des résultats dans notre mesure contrôle.

En conclusion, chez K., chaque rééducation a permis d'améliorer significativement le domaine qu'elle travaillait spécifiquement. Les deux entraînements montrent une grande taille d'effet sur les compétences travaillées. Nous n'avons pas noté d'effet de transfert d'un



entraînement sur un autre. Cependant, un transfert éloigné a pu être observé des compétences travaillées en mémoire sur les calculs d'additions.

## 5.2. Résultats de E.

E. a commencé par l'entraînement en ordinalité et a terminé avec l'entraînement en mémoire ordre sériel. Voici les résultats qu'elle a obtenus.

Tableau 8. Résultats statistiques de E. des lignes de base et du TTR en pré-test, inter-évaluation et post-test

Épreuves		NAP	P value	TAU	Delta de Glass
<b>Pré VS Post 2 (effet global)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	1.09
	Temps	33.33	0.51	0.33	5.17
Mémoire	Score	0.61	0.66	0.23	0.33
	Temps	0	0.049	1	4.57
Calculs : additions	Score	0.66	0.51	0.33	0.33
	Temps	44.44	0.83	0.11	0.52
Calculs : soustractions	Score	0.54	0.83	0.08	0.03
	Temps	0.61	0.66	0.22	0.58
<b>Pré VS Post 1 (effet spécifique ordinalité)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	1.73
	Temps	27.78	0.38	0.44	13.22
Mémoire	Score	0.72	0.38	0.44	0.66
	Temps	0	0.049	1	5.62
Calculs : additions	Score	0.83	0.19	0.66	0.67
	Temps	33.33	0.51	0.33	0.90
Calculs : soustractions	Score	0.56	0.75	0.12	0.07
	Temps	0.66	0.51	0.33	0.58
<b>Post 1 VS Post 2 (effet spécifique mémoire)</b>					
Ordinalité	Score	0.33	0.51	-0.33	-0.33
	Temps	55.56	0.827	-0.11	-0.36
Mémoire	Score	0.38	0.66	-0.22	-0.44
	Temps	55.56	0.827	-0.11	-0.35
Calculs : additions	Score	0.77	0.27	0.55	1.14
	Temps	66.67	0.51	-0.33	-1.56

Calculs : TTR	Score	0.48	0.97	-0.04	-0.03
Contrôle : orthographe	Score	0.50	1	0	0

De manière générale, après les deux entraînements (Pré VS Post 2), nous pouvons observer que E. a amélioré significativement ses performances en ordinalité numérique. Cependant, la taille d'effet n'est pas très élevée. Ses capacités en mémoire ordre sériel, elles, ne se sont pas améliorées de manière significative et nous ne pouvons pas noter d'effet de transfert des entraînements sur l'arithmétique. L'amélioration en ordinalité numérique est spécifique à notre intervention au vu des résultats qui ne se sont pas améliorés dans notre mesure contrôle.

Nous allons maintenant détailler les résultats obtenus après chaque entraînement pour tenter d'analyser les différents impacts qu'ils ont eus sur chaque domaine.

Suite au premier entraînement en ordinalité numérique (Pré VS Post 1), nous pouvons observer une amélioration spécifique de l'intervention sur les habiletés en ordinalité. Les performances de E. se sont améliorées de manière significative. Nous n'observons pas d'effet de transfert sur les compétences en mémoire ordre sériel. Concernant les performances en calculs d'additions et de soustractions, E. a légèrement amélioré ses performances mais pas de manière significative. En effet, elle commence la rééducation avec des performances déjà hautes. Au niveau des calculs simples du TTR, nous ne notons pas d'amélioration significative. L'amélioration en ordinalité est due à notre intervention au vu des résultats de notre mesure contrôle qui ne se sont pas améliorés.

Suite au deuxième entraînement en mémoire ordre sériel (Post 1 VS Post 2), nous n'observons pas d'effet spécifique de cette intervention sur les compétences qu'elle travaillait. En effet, les scores ne se sont pas améliorés de manière significative.

Nous n'observons pas d'effet de transfert sur les compétences en ordinalité.

Nous ne pouvons pas non plus conclure à un effet de transfert de l'intervention sur les habiletés en arithmétique.

En conclusion chez E., l'entraînement en ordinalité numérique a amélioré spécifiquement et de manière significative les compétences ciblées, à savoir l'ordinalité. L'entraînement en mémoire ordre sériel n'a pas montré d'amélioration significative sur les compétences ciblées. Nous ne pouvons pas conclure à un effet de transfert d'un entraînement sur un autre, ni d'un entraînement sur les compétences en arithmétique.

### 5.3. Résultats de J-P.

J-P. a commencé par l'entraînement en mémoire ordre sériel puis a terminé avec l'entraînement en ordinalité. Voici les résultats qu'il a obtenus.

Tableau 9. Résultats statistiques de J-P. des lignes de base et du TTR en pré-test, inter-évaluation et post-test

Épreuves		NAP	P value	TAU	Delta de Glass
<b>Pré VS Post 2 (effet global)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	6.33
	Temps	77.78	0.27	-0.55	-1.23
Mémoire	Score	0.94	0.08	0.88	1.67
Calculs : additions	Score	0.88	0.12	0.77	1.72
	Temps	1	0.049	-1	-1.31
Calculs : soustractions	Score	1	0.049	1	4.60
	Temps	22.22	0.27	0.55	0.82
Calculs : TTR	Score	0.62	0.53	0.24	0.21
Contrôle : orthographe	Score	0.56	0.82	0.12	0.22
<b>Pré VS Post 1 (effet spécifique mémoire)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	6.38
	Temps	61.11	0.66	-0.22	-0.09
Mémoire	Score	1	0.049	0.89	2.33
Calculs : additions	Score	0.72	0.38	0.44	1.72
	Temps	1	0.049	-1	-1.49
Calculs : soustractions	Score	0.33	0.51	-0.33	-0.57
	Temps	77.78	0.27	-0.55	-1.04
Calculs : TTR	Score	0.46	0.83	-0.08	-0.13
Contrôle : orthographe	Score	0.39	0.66	-0.22	-0.43
<b>Post 1 VS Post 2 (effet spécifique ordinalité)</b>					
Ordinalité	Score	0.66	0.51	0.33	0,57
	Temps	88.89	0.13	-0.77	-1.64
Mémoire	Score	0.38	0.66	-0.22	-0.44
Calculs : additions	Score	0.44	0.82	-0.11	0
	Temps	0.50	1	0	0.37
Calculs : soustractions	Score	1	0.049	1	3
	Temps	1	0.049	1	5.74
Calculs : TTR	Score	0.72	0.25	0.44	0.46
Contrôle : orthographe	Score	0.72	0.38	0.44	0.57

De manière générale, après les deux entraînements (Pré VS Post 2), J-P. a amélioré de manière significative ses résultats en ordinalité numérique, avec une grande taille d'effet de l'intervention. Au niveau de la mémoire ordre sériel, ses compétences dans ce domaine ne se

sont pas améliorées de manière significative.

Concernant les différents transferts, les scores en calculs d'additions ne se sont pas améliorés de manière significative, tandis que ses performances en calculs de soustractions se sont, quant à elles, améliorées de manière congruente avec une grande taille d'effet. Les améliorations notées sont spécifiques à notre intervention, au vu des résultats qui ne se sont pas améliorés dans notre mesure contrôle.

Nous allons maintenant détailler les résultats obtenus après chaque entraînement pour tenter d'analyser les différents impacts qu'ils ont eus sur chaque domaine.

Après l'entraînement en mémoire ordre sériel (Pré VS Post 1), nous pouvons observer que l'entraînement a eu un effet spécifique sur les compétences en mémoire ordre sériel. Les scores se sont améliorés de manière significative.

Nous pouvons également noter une observation intéressante. Un effet de transfert a été produit de l'intervention en mémoire ordre sur les performances en ordinalité numérique qui se sont, elles aussi, améliorées significativement sans être travaillées, avec une taille d'effet de l'entraînement très grande.

Concernant l'arithmétique, nous n'observons pas de transfert éloigné de l'entraînement sur ces habiletés. Les améliorations notées sont dues à notre prise en charge au vu des résultats qui ne se sont pas améliorés dans notre mesure contrôle.

Après l'entraînement en ordinalité numérique (Post 1 VS Post 2), nous n'observons pas d'amélioration significative sur les compétences travaillées. Cela peut être expliqué par le fait que J-P. a commencé cette deuxième rééducation avec des scores très élevés, suite au transfert du premier entraînement sur les compétences d'ordinalité. Il a cependant amélioré son score brut pour atteindre le maximum et ses temps de jugement d'ordre se sont améliorés avec une taille d'effet moyenne.

Nous n'observons pas d'effet de transfert sur les performances en mémoire ordre sériel. Concernant les habiletés en arithmétiques, J-P. n'a pas amélioré ses performances en calculs d'additions mais il s'est amélioré de manière significative en calculs de soustractions, avec une grande taille d'effet de l'intervention. Cependant, inversement, ses temps de réalisation pour les calculs se sont allongés de manière significative.

Les différentes améliorations sont dues aux entraînements, au vu des résultats dans notre mesure contrôle qui ne se sont pas améliorés.

En conclusion, chez J-P., nous pouvons observer un effet spécifique de l'entraînement en mémoire ordre sériel sur les habiletés que l'entraînement a ciblées. Cependant, les améliorations en mémoire ordre sériel n'ont pas été maintenues dans le temps. Nous notons qu'un effet de transfert a également été possible de l'entraînement en mémoire ordre sériel vers les compétences non travaillées en ordinalité numérique.

Nous observons également un effet de transfert éloigné de l'entraînement en ordinalité sur les habiletés en calculs de soustraction. Cependant, nous n'observons pas d'effet de transfert des entraînements sur les calculs plus complexes en addition et sur les calculs simples du TTR.

#### 5.4. Résultats de C.

C. a commencé par l'entraînement en mémoire ordre sériel puis a terminé avec l'entraînement en ordinalité. Voici les résultats qu'elle a obtenus.

Tableau 10. Résultats statistiques des lignes de base et TTR de C. en pré-test, inter-évaluation et post-test

Épreuves		NAP	P value	TAU	Delta de Glass
<b>Pré VS Post 2 (effet global)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	4
	Temps	5.56	0.27	0.88	1.96
Mémoire	Score	0.88	0.12	0.77	1.08
	Temps	22.22	0.049	0.55	0.92
Calculs : additions	Score	1	0.049	1	4.60
	Temps	22.22	0.049	0.55	0.92
Calculs : soustractions	Score	1	0.049	1	2.40
	Temps	11.11	0.27	0.77	2.04
Calculs : TTR	Score	0.74	0.21	0.51	0.50
Contrôle : orthographe	Score	0.83	0.19	0.67	1
<b>Pré VS Post 1 (effet spécifique mémoire)</b>					
Ordinalité	Score	0.94	0.08	0.88	2
	Temps	22.22	0.27	0.55	4.93
Mémoire	Score	1	0.049	1	3.04
	Temps	22.22	0.049	0.55	0.79
Calculs : additions	Score	0.94	0.08	0.88	2.31
	Temps	22.22	0.049	0.55	0.79
Calculs : soustractions	Score	0.94	0.08	0.88	1.74
	Temps	66.67	0.27	-0.33	-0.61
Calculs : TTR	Score	0.60	0.60	0.20	0.27
Contrôle : orthographe	Score	0.50	1	0	-0.33
<b>Post 1 VS Post 2 (effet spécifique ordinalité)</b>					

Ordinalité	Score	1	0.049	1	2
	Temps	11.11	0.13	0.77	1.41
Mémoire	Score	0	0.049	-1	-2.60
Calculs : additions	Score	0.88	0.12	0.77	2.30
	Temps	38.39	1	0.22	0.22
Calculs : soustractions	Score	0.83	0.19	0.66	1
	Temps	0	0.049	1	3.19
Calculs : TTR	Score	0.62	0.53	0.24	0.19
Contrôle : orthographe	Score	0.77	0.27	0.55	1.53

De manière générale, suite aux deux entraînements (Pré VS Post 2), C. a amélioré de manière significative ses performances en ordinalité numérique, avec une moyenne taille d'effet. Ses performances en mémoire ordre sériel ne se sont pas restées significatives quelques semaines après l'arrêt de cet entraînement. Nous pouvons observer un transfert sur les compétences en calculs d'additions et de soustractions mais avec des temps de réalisation ne s'étant pas améliorés. Les différentes améliorations sont dues à nos prises en charge au vu des performances dans notre mesure contrôle qui ne se sont pas améliorées.

Nous allons maintenant détailler les résultats obtenus par C. après chaque intervention pour tenter d'analyser leur impact sur les différents domaines étudiés.

Suite au premier entraînement en mémoire ordre sériel (Pré VS Post 1), nous observons un effet spécifique de cette intervention sur les habiletés qu'elle travaillait directement. Les résultats de C. se sont significativement améliorés, avec une taille d'effet cliniquement significative. Malgré une taille d'effet importante de l'intervention mémoire sur les compétences en ordinalité, les scores ne se sont pas améliorés de manière significative.

Au niveau de l'arithmétique, C. ne s'est pas améliorée de manière significative malgré des scores bruts plus élevés en fin de rééducation.

L'amélioration en mémoire ordre sériel est due à notre intervention au vu des résultats dans notre mesure contrôle ne s'étant pas améliorés de manière significative.

Suite au deuxième entraînement en ordinalité numérique (Post 1 VS Post 2), nous observons une spécificité de cette rééducation sur les habiletés qu'elle ciblait, avec une grande taille d'effet de l'intervention. Cependant, nous observons une baisse des performances statistiquement significative sur les habiletés en mémoire ordre sériel. Par ailleurs, les améliorations dues au premier entraînement ne se sont pas maintenues dans le temps concernant la mémoire ordre sériel.

Enfin, nous n'observons pas d'amélioration statistiquement significative sur les compétences

en calculs d'additions et de soustractions malgré une amélioration des scores bruts. L'amélioration notée est due à notre prise en charge au vu des performances dans notre mesure contrôle qui ne se sont pas améliorées de manière significative.

En conclusion, chez C., nous observons un effet spécifique de l'entraînement en ordinalité numérique sur les compétences en ordinalité. Nous notons également un effet spécifique de l'entraînement en mémoire ordre sériel sur les compétences travaillées mais les améliorations obtenues ne se sont pas maintenues dans le temps. En effet, les scores sont redescendus quelques semaines après la fin de cette intervention.

Nous observons un effet intéressant chez C. Un effet de transfert se réalise sur les calculs plus complexes en addition et en soustraction une fois que les deux entraînements ont été donnés. Chez elle, la complémentarité des deux interventions a été nécessaire pour améliorer l'arithmétique. En effet, C. avait besoin de l'entraînement en mémoire pour retrouver plus facilement la chaîne numérique mais également moins se perdre durant les calculs plus complexes. L'entraînement en ordinalité a affiné sa représentation de l'ordre en revoyant dans quel ordre se trouvaient les nombres de la chaîne numérique. En effet, avant les interventions, elle utilisait encore un comptage immature. Cependant, nous n'observons pas d'amélioration significative dans les calculs simples du TTR.

### 5.5. Résultats de N.

N. a commencé avec l'entraînement en mémoire ordre sériel puis a terminé avec l'entraînement en ordinalité. Voici les résultats qu'il a obtenus.

*Tableau 11. Résultats statistiques des lignes de base et du TTR de N. en pré-test, inter-évaluation et post-test*

Épreuves		NAP	P value	TAU	Delta de Glass
<b>Pré VS Post 2 (effet global)</b>					
Ordinalité	Score	1	<b>0.049</b>	1	1.54
	Temps	38.89	0.66	0.22	1.28
Mémoire	Score	0.66	0.51	0.33	0.58
	Temps	5.56	0.08	0.88	2.06
Calculs : additions	Score	0.83	0.19	0.66	1.15
	Temps	5.56	0.08	0.88	2.06
Calculs : soustractions	Score	0.66	0.51	0.33	-1.14
	Temps	33.33	0.51	0.33	0.93
Calculs : TTR	Score	0.48	0.92	-0.04	0.30

Contrôle : orthographe	Score	0.88	0.12	0.78	1.75
<b>Pré VS Post 1 (effet spécifique mémoire)</b>					
Ordinalité	Score	1	0.049	1	1.35
	Temps	0	0.049	1	6.57
Mémoire	Score	0.77	0.27	0.55	1.16
Calculs : additions	Score	0.38	0.66	-0.22	-0.57
	Temps	0	0.049	1	2.79
Calculs : soustractions	Score	0.22	0.27	-0.22	-1.14
	Temps	44.44	0.83	0.11	-0.26
Calculs : TTR	Score	0.56	0.75	0.12	0.14
Contrôle : orthographe	Score	0.88	0.12	0.78	1.75
<b>Post 1 VS Post 2 (effet spécifique ordinalité)</b>					
Ordinalité	Score	0.66	0.51	0.33	0.59
	Temps	88.89	0.13	-0.77	-1.93
Mémoire	Score	0.33	0.51	-0.33	-0.58
Calculs : additions	Score	0.83	0.19	0.66	1
	Temps	55.56	0.83	-0.11	-0.28
Calculs : soustractions	Score	0.88	0.12	0.77	1.72
	Temps	22.22	0.27	0.55	0.47
Calculs : TTR	Score	0.50	1	0	0.10
Contrôle : orthographe	Score	0.50	1	0	0

De manière générale, après les deux interventions (Pré VS Post 2), N. a vu ses performances en ordinalité numérique s'améliorer de manière significative avec une taille d'effet moyenne. Cette amélioration est due à notre intervention au vu des résultats non significatifs dans notre mesure contrôle. Nous ne notons pas d'amélioration significative sur les habiletés en mémoire à court terme ordre sériel. Nous ne pouvons pas non plus conclure à un transfert sur les compétences en calculs simples et plus complexes.

Nous allons maintenant observer les résultats obtenus par N. après chaque intervention pour tenter d'analyser leur impact sur les différents domaines étudiés.

Suite au premier entraînement en mémoire ordre sériel, les scores bruts de N. dans ce domaine se sont améliorés mais non de manière significative. Nous pouvons cependant observer un effet de transfert de cet entraînement sur les habiletés en ordinalité numérique sans avoir travaillé ce domaine. Les performances en jugement d'ordinalité se sont améliorées de manière significative.

Nous n'observons pas d'effet de transfert sur les capacités en calculs d'additions et de soustractions. Les calculs simples du test TTR ne se sont pas non plus améliorés de manière significative. À la suite du deuxième entraînement, celui en ordinalité numérique, les scores



bruts en jugement d'ordinalité se sont légèrement améliorés mais non de manière significative. En effet, N. commence l'intervention avec des scores déjà élevés et proches du maximum, dû au transfert de la première intervention.

Concernant les calculs, les scores bruts de N. en addition et soustraction se sont légèrement améliorés mais non de manière significative. N. obtient cependant des scores stables en soustraction contrairement à ses scores en pré-intervention qui variaient fortement.

En conclusion, chez N., nous observons un effet de transfert de l'entraînement en mémoire ordre sériel sur les compétences en ordinalité numérique. Nous ne pouvons cependant pas conclure à un effet spécifique de l'entraînement en mémoire ordre sériel sur les compétences qu'il ciblait directement. Nous ne pouvons pas non plus conclure à un effet de transfert éloigné d'une des interventions sur les compétences en calculs.

Tableau 12. Résultat global des différents patients après les entraînements

Patients	Ordinalité	Transfert ordinalité sur mémoire	Mémoire ordre	Transfert mémoire sur ordinalité	Calculs	Contrôle
K.	+	Non	+	Non	+	=
E.	+	Non	-	Non	-	=
J-P.	-	Non	+	Oui	+	=
C.	+	Non	+	Non	+	=
N.	-	Non	-	Oui	-	=

Note. + montre une amélioration significative, - montre qu'il n'y a pas d'amélioration significative et = montre la spécificité des entraînements

Globalement, l'entraînement en ordinalité et en mémoire ordre sériel a permis d'améliorer spécifiquement les habiletés qu'il ciblait directement. Les entraînements n'ont pas permis systématiquement d'améliorer les compétences plus éloignées en calculs mais nous notons tout de même un effet de transfert de ces entraînements sur certains calculs de l'arithmétique pour 3 enfants. Les améliorations notées sont spécifiques aux interventions.

## 6. Discussion

Les études réalisées dans le domaine de l'ordre en cognition numérique et en mémoire montrent depuis quelques années l'importance de prendre en compte et de ne pas négliger l'aspect ordre dans le développement des compétences numériques.

Du côté de la cognition numérique, l'aspect quantitatif a souvent été mis en avant et de nombreuses études ont montré l'importance de cet aspect dans la compréhension numérique et le développement des habiletés en calculs. L'aspect ordinal, lui, a longtemps été mis de côté. Pourtant, de nombreux auteurs ont montré qu'il pouvait être dissocié de la cardinalité, qu'il serait nécessaire à l'acquisition et la compréhension numérique et qu'il serait une compétence de base permettant de prédire les compétences futures en mathématiques telles que les calculs (Lyons & Beilock, 2013 ; Malone et al., 2021 ; Sasanguie & Vos, 2018 ; Sommerauer et al., 2020).

Au niveau de l'aspect mémoire, de nombreuses études se sont intéressées à la relation que la mémoire à court terme verbale pourrait entretenir avec les habiletés numériques telles que le calcul. Les études investiguant le rôle de cette mémoire montrent des contradictions dans leurs résultats (Andersson, 2008 ; Noël, 2009 ; Gathercole et al., 2003 ; Passolunghi et al., 2007). Cependant, la majorité ne distinguait pas l'aspect item de l'ordre que nous retrouvons en mémoire à court terme (Majerus et al., 2010). L'étude de Attout et al. (2012) a mis en avant cette dissociation importante à faire. L'aspect ordre aurait un lien important avec les mathématiques et, plus particulièrement, les calculs (Attout & Majerus, 2014).

Ajouté à ceci, ces deux aspects de l'ordre seraient déficitaires chez les enfants dyscalculiques (Attout & Majerus, 2015 ; Morsanyi et al., 2018 ; Rubinsten & Sury, 2011).

Le lien entre les deux domaines n'est pas encore bien compris. Il reste difficile de savoir s'ils sont fondés sur des processus distincts ou si un aspect commun de l'ordre peut ressortir en montrant qu'un entraînement dans un des domaines de l'ordre peut améliorer l'autre aspect non travaillé.

Nous avons voulu comparer deux entraînements reprenant chacun un aspect de l'ordre sériel. Un se focalisant spécifiquement sur l'ordinalité numérique, et l'autre, plus globalement, sur l'ordre sériel en mémoire.

Tout d'abord, nous avons voulu analyser l'effet spécifique de chaque intervention sur les habiletés que chacune ciblait. En effet, si ces deux compétences de base jouent un rôle important

dans le développement numérique et sont en lien avec l'arithmétique, il est alors essentiel d'observer si l'entraînement de ces compétences permet tout d'abord d'améliorer les habiletés qu'elles travaillent directement.

Ces deux entraînements ciblant tous deux l'aspect ordre, nous voulions savoir si l'un d'eux permettrait d'avoir un impact positif sur les compétences travaillées dans l'autre. Ceci nous permettrait de comprendre si un lien plus global de l'ordre est présent entre les deux domaines.

Nous voulions également observer si les entraînements permettraient un effet de transfert éloigné sur les compétences en mathématiques, plus spécifiquement, en calculs.

Pour cela, nous avons élaboré des lignes de base multiples afin d'analyser les effets des interventions en ordinalité numérique, mémoire à court terme ordre sériel, calculs mentaux simples et calculs plus complexes comprenant des additions et soustractions. Pour ce faire, nos tâches étaient : jugement d'ordinalité d'une suite composée de trois nombres, la course des animaux tirée du test de Majerus (2011), calculs mentaux tirés du Tempo Test Rekenen (De Vos, 1992) et la réalisation de calculs mentaux plus complexes.

Pour ce travail, nous avons réalisé une étude de cas multiples afin de répondre au mieux à l'hétérogénéité des profils que nous pouvons retrouver chez les enfants avec des difficultés en mathématiques mais également pour permettre d'observer les effets des deux entraînements, proposés dans un ordre différent. Les enfants ont suivi quatre séances en entraînement d'ordinalité numérique et quatre séances en mémoire ordre sériel. Ils étaient au nombre de cinq et avaient entre 7 et 10 ans.

Nous allons maintenant analyser les résultats obtenus en faisant un parallèle avec les hypothèses que nous avons formulées pour la construction de cette étude.

### 6.1. Interprétation des résultats

Notre **première hypothèse** stipulait que les compétences ciblées dans chacune des interventions s'amélioreraient directement. Autrement dit, nous cherchions à observer la spécificité de chaque entraînement.

Pour l'intervention en ordinalité, nous observons que 3 enfants sur 5 se sont améliorés de manière significative en jugement d'ordinalité numérique après l'intervention directe de celle-ci. Les deux autres ayant commencé la rééducation avec des scores déjà proches du maximum, il pouvait être difficile d'atteindre des résultats significatifs pour ceux-ci. En effet, un effet de

transfert de l'entraînement en mémoire ordre sériel sur les compétences de jugement d'ordinalité a été réalisé.

Concernant l'intervention en mémoire ordre sériel, de manière générale, trois enfants sur cinq ont vu leurs compétences en mémoire ordre sériel s'améliorer directement après l'intervention de celle-ci. Pour les deux autres enfants, il aurait probablement fallu quelques séances en plus pour voir leurs scores s'améliorer et utiliser les différentes stratégies. De plus, il est important de noter que ces deux enfants avaient des difficultés à rester concentrés et ces tâches entraînaient vite une fatigabilité chez eux.

Notre hypothèse peut être confirmée pour les deux entraînements qui, dans l'ensemble, ont amélioré directement les compétences qu'ils ciblaient spécifiquement. Cependant, nous nous interrogeons quant à la durabilité de ces effets. En effet, deux enfants ayant commencé par l'entraînement en mémoire et amélioré de manière significative leurs scores, ont vu leurs performances redescendre quelques semaines après l'arrêt de cette intervention. Pourtant, des études montrent une durabilité des effets dans le temps (Chen et al., 2017 ; Holmes, 2009). Cependant, ces études ont proposé une vingtaine de séances pour entraîner la mémoire. Le peu de séances dans notre étude pourrait expliquer ces résultats.

**Notre deuxième hypothèse** était que l'intervention en mémoire ordre sériel aurait un effet de transfert sur les compétences en ordinalité numérique. Sur les trois enfants ayant commencé par l'intervention en mémoire ordre sériel, un effet de transfert significatif sur les habiletés en ordinalité numérique s'est produit pour deux d'entre eux. Pour le troisième enfant, ses résultats bruts en ordinalité se sont améliorés mais pas de manière significative. Nous pouvons tout de même confirmer notre deuxième hypothèse.

Ce résultat est très intéressant et nous permet de nous interroger sur la question d'un travail spécifique en mémoire ordre sériel pour améliorer l'aspect ordinal plus global. En effet, un lien a déjà été mis en lumière concernant l'aspect ordre dans la mémoire et des compétences plus générales en capacité de jugement d'ordre (Attout et al., 2014). De plus, l'aspect général de l'ordre s'est montré déficitaire chez les enfants dyscalculiques (Mosanyi et al., 2018). Nous pensons donc qu'il pourrait être intéressant de travailler en mémoire ordre pour avoir plus d'effets positifs sur l'ordre sériel de manière générale.

Nous n'avons pas observé de transfert inverse, c'est-à-dire d'amélioration en mémoire ordre sériel suite à l'entraînement en ordinalité numérique. Ce résultat pourrait être intéressant pour de futures pistes cliniques. En effet, comme nous l'avons vu ci-dessus, l'entraînement en

mémoire ordre pourrait montrer un impact plus général sur l'ordre numérique ou non, tandis que l'entraînement en ordinalité avec des codes numériques, lui, pourrait en partie reposer sur un domaine plus spécifique de l'ordre et par ce biais, améliorer seulement l'aspect ordre qu'il travaille.

Notre **troisième hypothèse** était que chaque intervention améliorerait les habiletés en calculs. Cette hypothèse ne peut être confirmée. En effet, sur les cinq enfants, un a amélioré de manière significative ses capacités en calculs d'additions plus complexes après l'intervention en mémoire ordre sériel, et un autre ses compétences en calculs de soustractions plus complexes après l'intervention en ordinalité. Au niveau des calculs simples du TTR, aucun enfant n'a amélioré ses performances de manière significative même si pour tous les enfants les scores bruts ont augmenté. Plusieurs auteurs montrent dans la littérature que les capacités d'ordinalité et de mémoire ordre sériel seraient en lien avec les compétences en calculs (Attout & Majerus, 2022 ; Malone et al., 2021 ; Sommerauer et al., 2020), alors que d'autres n'ont pas trouvé d'amélioration en calculs (St Clair-Thompson, 2009 ; van der Donk, 2015). Nos résultats sont tout de même encourageants et vont plutôt dans le sens des auteurs ayant trouvé un effet de transfert sur les compétences en calculs. Le peu de résultats concluants pourrait peut-être s'expliquer par le peu de séances accordées aux différents entraînements. En effet, les études qui ont observé un effet de transfert sur l'arithmétique après un entraînement au niveau du sens du nombre proposaient au minimum 10 séances d'entraînement (Friso van den Bos et al., 2018 ; Honoré & Noël, 2016) tout comme en mémoire où les auteurs proposaient au minimum 20 jours d'entraînement (Chen et al., 2017 ; Holmes et al., 2009)

Enfin, notre **quatrième hypothèse** était que les deux interventions seraient complémentaires et permettraient ensemble d'améliorer les compétences en calculs suite à une compréhension et une acquisition globale de l'aspect ordre sériel. Nous ne pouvons pas confirmer cette hypothèse. En effet, un seul enfant sur cinq a amélioré ses habiletés en calculs d'additions et de soustractions complexes après avoir fini les deux entraînements. Cela pourrait donc dépendre du profil de l'enfant et de ses difficultés.

## 6.2. Implications et retombées cliniques

De nombreuses études se sont intéressées aux rééducations permettant d'améliorer les compétences numériques chez les enfants dyscalculiques. Certaines d'entre elles se sont intéressées à des rééducations ciblant un aspect spécifique des nombres, à savoir la magnitude

et l'effet qu'elles pourraient avoir sur les compétences en arithmétique. D'autres se sont focalisées sur un aspect plus général, à savoir, l'impact d'un entraînement en mémoire à court terme sur les habiletés en calcul. Cependant, depuis quelques années, de multiples chercheurs s'accordent à dire qu'un aspect devrait être mis en avant tant en cognition numérique qu'en mémoire, celui de l'ordre.

Au niveau de l'aspect plus spécifique de l'ordre, à savoir l'ordinalité numérique, de nombreuses études ont montré un lien entre capacité de jugement de l'ordinalité d'une suite de nombres et compétences en arithmétiques (Lyons & Ansari, 2015 ; Sasanguie & Vos, 2018 ; Sommerauer et al., 2020). Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a proposé d'entraînement spécifique en ordinalité numérique avec des enfants faibles en mathématiques. Or, de nombreux auteurs ont montré que ce domaine de la cognition numérique serait déficitaire chez les personnes dyscalculiques (Morsanyi et al., 2018 ; Rubinsten & Sury, 2011).

La plupart des études que nous avons trouvées dans la littérature entraînaient l'aspect quantitatif des nombres en ciblant parfois de nombreuses compétences numériques telles que la comparaison, l'estimation mais également parfois incluaient des calculs à réaliser durant l'entraînement dans certaines d'entre elles (Dyson, Jordan & Glutting, 2013 ; Jordan et al., 2012 ; Michels et al., 2018). Il peut être alors difficile de savoir clairement ce qui a permis des améliorations. Dans notre étude, nous nous sommes focalisés sur un seul aspect, l'ordinalité pour mesurer pleinement l'effet de ce domaine sur d'autres compétences. Nous avons également réalisé les entraînements avec des enfants ayant des difficultés en mathématiques, ce qui n'est pas toujours le cas dans certaines études (Hyde et al., 2014 ; Kim, Jang & Cho, 2018).

L'entraînement en ordinalité numérique qui a été proposé dans notre étude a montré des résultats congruents. En effet, le travail spécifique en ordinalité numérique a permis d'améliorer ces compétences-là chez des enfants faibles en mathématiques. Or, si un lien existe entre ordinalité numérique et compétences en arithmétique, ces résultats sont déjà très encourageants pour espérer, par la suite, un potentiel transfert sur d'autres habiletés numériques telles que l'arithmétique.

Les résultats n'ont pas montré d'effet de transfert de cet entraînement sur les compétences en mémoire ordre sériel. Cela montre que l'ordinalité numérique repose sur un aspect spécifique, qui ne s'étend pas à l'aspect plus général de l'ordre sériel.

Au niveau de l'aspect mémoire, de nombreuses études ont évalué l'effet d'un entraînement de la mémoire sur différents domaines, notamment l'arithmétique.

Cependant, la majorité des études qui ont proposé des programmes de rééducation n'ont pas

dissocié l'aspect item de l'aspect ordre et ont parfois travaillé plusieurs aspects de la mémoire (Holmes et al., 2009), Passolunghi & Costa, 2016) dont parfois le sens du nombre en même temps (Layes et al., 2018). Il est alors difficile de savoir exactement l'impact que le travail de la mémoire a eu sur les compétences en mathématiques. De plus, certaines études ont réalisé l'entraînement avec des enfants sans difficultés en mathématiques signalées (St Clair-Thompson, 2010 ; Witt, 2011). Pourtant, ce sont ces enfants qui ont le plus besoin de rééducation dans ce domaine.

En sachant que l'aspect ordre aurait un lien important avec les habiletés en mathématiques (Attout, Salmon & Majerus, 2015) et qu'il serait déficitaire chez les enfants dyscalculiques (Attout & Majerus, 2015), l'entraînement qui a été proposé dans notre étude s'est focalisé principalement sur l'aspect ordre en mémoire chez des enfants avec des difficultés en mathématiques. Cet entraînement en mémoire ordre met en avant des résultats probants au niveau des habiletés ciblées directement, à savoir l'ordre sériel. En effet, l'entraînement a montré une amélioration spécifique pour la majorité des enfants. Si un lien important existe entre mémoire ordre sériel et arithmétique, l'amélioration de cette compétence est encourageante pour espérer ensuite un transfert plus éloigné sur les calculs.

Une autre découverte à prendre en considération concerne l'effet de transfert que cet entraînement a permis. En effet, cet entraînement a amélioré les résultats dans la tâche de jugement d'ordre. Cela montrerait, en accord avec plusieurs études, que le domaine mémoire ordre sériel impliquerait un domaine général de l'ordre (Attout & Majerus, 2018) et que l'ordinalité et l'ordre sériel en mémoire reposeraient probablement sur un fondement commun.

Au niveau des résultats récoltés concernant l'effet d'un des entraînements sur l'arithmétique, les améliorations ne sont pas systématiques, mais les résultats sont encourageants. Ils montrent tout de même quelques progrès dans certains domaines de l'arithmétique chez trois enfants.

Nous montrons ainsi par des résultats récoltés sur le terrain, le lien souvent mis en avant dans la littérature scientifique entre ordinalité/mémoire ordre et arithmétiques. Nous pensons qu'il est important pour les logopèdes d'investiguer davantage l'aspect ordre lorsqu'un enfant a des difficultés en mathématiques. Cela permettrait de travailler une habileté de base étant, la plupart du temps, déficitaire et montrant un lien important avec l'arithmétique.

Au vu de tout ceci, il semble important de cibler les difficultés liées à l'ordre dans un bilan logopédique pour permettre de mieux comprendre le profil de l'enfant, ses difficultés, et ainsi

cibler les objectifs thérapeutiques pour pouvoir l'aider pleinement.

Lors de rééducations logopédiques, nous pensons qu'il pourrait être intéressant de commencer par l'entraînement en mémoire à court terme sériel pour optimiser et élargir les améliorations de manière plus générale. Il est important de penser à donner explicitement des stratégies de récupération de l'ordre mais également de discuter avec l'enfant pour qu'il puisse pleinement prendre conscience de ces stratégies à utiliser. Cela dit, il est important de garder en tête l'hétérogénéité des profils que nous pouvons rencontrer dans la dyscalculie. Pour certains enfants, un déficit en mémoire peut causer la plupart des difficultés en mathématiques. Dans ce cas-là, un entraînement en mémoire ordre pourrait être bénéfique et peut-être améliorer d'autres compétences numériques. Pour d'autres enfants, l'aspect numérique pourrait poser plus de problèmes. Il pourrait donc être nécessaire de proposer par la suite une rééducation spécifique en ordinalité numérique pour affiner les représentations numériques plutôt qu'uniquement des exercices en magnitude comme il a souvent été proposé dans les études.

### 6.3. Limites de notre étude

Nous avons relevé plusieurs biais pouvant engendrer différents résultats obtenus dans notre travail. Tout d'abord, notre étude comportait seulement quatre séances pour l'entraînement en ordinalité numérique et quatre séances pour l'entraînement en mémoire ordre sériel. Concernant la rééducation en ordinalité, les enfants ont pu améliorer leur compréhension des relations entre les nombres en quelques séances. Cependant, concernant la rééducation en mémoire ordre, nous pensons que le nombre de séances était trop faible pour permettre une amélioration durable dans le temps. Nous avons pu observer que la plupart des améliorations suite à l'entraînement en mémoire ne tenaient pas au-delà de quelques semaines après l'arrêt de l'entraînement. Ce domaine aurait probablement besoin d'être entraîné pendant plusieurs séances. En effet, aucune étude dans la littérature ne s'est contentée de 4 séances pour un entraînement en mémoire (Chen et al., 2017 ; Holmes et al., 2009 ; Passolunghi & Costa, 2016). Nous pensons qu'il serait préférable, si cela est possible, de proposer plus de séances d'intervention si une prochaine étude est réalisée dans ce domaine.

Nous nous posons également la question de notre construction de ligne de base en mémoire ordre. En effet, notre tâche consistait à mémoriser 7 animaux dans le bon ordre. Cependant, les enfants que nous avons pris en charge ayant des difficultés en mémoire, il aurait peut-être été préférable d'utiliser cette tâche, comme proposé par Majerus (2011), en notant les scores



obtenus sur des empans de 2, 3, 4, 5, 6 et 7, pour pouvoir avoir un contrôle plus sensible sur les différentes améliorations possibles.

Une des autres limites que nous pouvons noter dans cette étude concerne la troisième hypothèse que nous avons formulée. Nous avons supposé que les rééducations permettraient d'améliorer indirectement les habiletés en calculs. Cependant, nous avons fait passer nos lignes de base post-test directement après notre dernière rééducation. Or, la plupart des études évoquent un transfert plus tard sur les habiletés en calculs. Il aurait été préférable de les refaire passer quelques mois plus tard, pour pouvoir observer si un effet de transfert tardif aurait pu se mettre en place.

Enfin, une autre limite que nous aimerions partager concerne la construction des lignes de base de manière générale. Nous avons pu faire passer peu de mesures et d'items, ce qui engendre un manque de sensibilité dans les résultats lors des analyses quasi statistiques.

## 7. Conclusion et perspectives futures

Ce mémoire avait pour but de comparer deux entraînements travaillant l'ordre, un en ordinalité numérique et un autre en mémoire à court terme ordre sériel chez cinq enfants de 7 à 10 ans ayant des difficultés en mathématiques. Le but de cette étude était d'observer si ces interventions permettraient d'améliorer les aspects de l'ordre qu'elles ciblaient directement mais également d'analyser si l'une de ces rééducations pouvait être plus bénéfique que l'autre en améliorant directement des aspects de l'ordre qu'elle ne travaillait pas. Enfin, nous voulions également observer si un transfert indirect était possible sur les habiletés en calculs. Pour cela, nous avons choisi de réaliser une étude de cas multiples.

Nos résultats montrent que chaque entraînement a amélioré directement et spécifiquement les compétences qu'il ciblait. En ce qui concerne un effet d'une intervention sur une autre, nous observons que l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel a eu un effet positif sur les compétences de jugement d'ordre. L'inverse n'a pas été observé. Cette découverte est très intéressante pour des futures rééducations. Elle montre que les deux aspects de l'ordre sont en partie liés et qu'un travail en mémoire ordre permet d'améliorer l'ordre de manière plus générale. Il peut être alors intéressant de se focaliser directement sur cet entraînement pour améliorer directement l'aspect ordinal. Cependant, nous devons garder à l'esprit que les profils sont souvent assez hétérogènes lorsqu'il est question de troubles des apprentissages tels que la dyscalculie. En effet, un enfant pourrait avoir besoin des deux entraînements pour acquérir complètement la notion d'ordre et affiner les représentations ordinales des nombres. Nous avons également voulu observer si l'un ou l'autre entraînement permettrait d'améliorer les compétences en calculs. Globalement, nos résultats ne sont pas concluants. Un enfant sur les cinq a amélioré ses compétences en addition suite à l'entraînement en mémoire et un autre ses compétences en soustraction suite à l'entraînement en ordinalité numérique. Nous pensons que le peu de séances lors des entraînements a pu jouer sur les résultats en calculs. Il aurait également été intéressant de continuer la passation des tests quelques mois plus tard pour observer les effets de transfert dans le temps. Il serait intéressant d'effectuer des analyses plus poussées pour connaître le lien entre les différents domaines de l'arithmétique et ceux de l'ordre sériel. Enfin, nous pensons qu'il serait intéressant de réaliser une étude reprenant les deux domaines de l'ordre avec des enfants plus jeunes. En effet, pour prévenir les potentielles difficultés en mathématiques chez les enfants à risque, le domaine de l'ordre sériel reste une compétence basique et prédictive des compétences en calculs selon de nombreux auteurs. Les enfants plus jeunes pourraient y répondre favorablement.

## 8. Bibliographie

- Abreu-Mendoza, R., Chamorro, Y., Garcia-Barrera, M. A., & Matute, E. (2018). The contributions of executive functions to mathematical learning difficulties and mathematical talent during adolescence. *Plos One*, *13*(12). doi.org/10.1371/journal.pone.0209267
- American Psychology Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing
- Andersson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children : the importance of central executive functions. *The British Journal of Educational Psychology*, *78*(2), 181-203. doi.org/10.1348/000709907X209854
- 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. doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004
- Attout, L., Van der Kaa, M.-A., George, M., & Majerus, S. (2012). Dissociating short-term memory and language impairment: the importance of item and serial order information. *Aphasiology*, *26*, 355-382. DOI.org/10.1080/02687038.2011.604303
- Attout, L., Fias, W., Salmon, W., Majerus, S. (2014). Common neural substrates for ordinal representation in short-term memory, numerical and alphabetical cognition. *Plos One*, *9*(3), DOI: 10.1371/journal.pone.0092049
- Attout, L., Noël, M.-P., & Majerus, S. (2014). The relationship between working memory for serial order and numerical development : A longitudinal study. *Developmental Psychology*, *50*(6). doi:10.1037/a0036496
- Attout, L., & Majerus, S. (2015). Working memory deficits in developmental dyscalculia: the importance of serial order. *Child Neuropsychology : A journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *21*(4), 432-450. doi.org/10.1080/09297049.2014.922170

- Attout, L., & Majerus, S. (2018). Serial order working memory and numerical ordinal processing share common processes and predict arithmetic abilities. *The British Journal of Developmental Psychology*, *36*(2), 285-298. doi: 10.1111/bjdp.12211.
- Attout, L., Salmon, E., & Majerus, S. (2015). Working memory for serial order is dysfunctional in adults with a history of developmental dyscalculia : Evidence from behavioral and neuroimaging data. *Developmental Neuropsychology*, *40*(4), 230-247. doi.org/10.1080/87565641.2015.1036993
- Attout, L., Noël, M.-P., & Rousselle, L. (2018). The effect of visual arrangement on visuospatial short-term memory : Insights from children with 22q11.2 deletion syndrome. *Cognitive Neuropsychology*, *35*(7), 352-360. doi:10.1080/02643294.2018.1461616
- Attout, L., & Majerus, S. (2022). The distinct contribution of verbal and visuospatial short-term memory abilities to arithmetic development. *Cognitive Development*, *61*, 1-15. doi:10.1016/j.cogdev.2021.101139
- Ashkenazi, S., Mark-Zigdon, N., & Henik, A. (2013). Do subitizing deficits in developmental dyscalculia involve pattern recognition weakness ? *Developmental Science*, *16*(1). doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01190.x
- Baddeley, A. (2007). Working memory, thought, and action. *Oxford University Press*. doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528012.001.0001
- Berg, D. H. (2008). Working memory and arithmetic calculation in children: the contributory roles of processing speed, short-term memory, and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, *99*(4), 288-308. doi.org/10.1016/j.jecp.2007.12.002
- Ben-Shalom, T., Berger, A., & Henik, A. (2012). The beginning of the road : Learning mathematics for the first time. In Z. Breznitz, O. Rubinsten, V. J. Molfese, & D. L. Molfese (Eds.), *Reading, writing, mathematics and the developing brain : Listening to many voices*. 195-208. Springer Science + Business Media. doi.org/10.1007/978-94-007-4086-0\_12
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development*, *79*(4), 1016-1031. doi:10.1037/0012-1649.41.6.189

- Brannon, E. M. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition*, 83(3), 223-240. doi.org/10.1016/S0010-0277(02)00005-7
- Breznitz, Z., Rubinsten, O., Molfese, V. J., & Molfese, D.L. (2012). Reading, writing, mathematics and the developing brain: Listening to Many Voices. doi.org/10.1007/978-94-007-4086-0\_13
- Bull, R., & Scerif, G. (2001) Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293. doi:10.1207/S15326942DN1903\_3
- Bull, R., Andrews, Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228. doi:10.1080/87565640801982312
- Case, R., Okamoto, Y., Griffin, S., McKeough, A., Bleiker, C., Henderson, B., Marra Stephenson, K., Siegler, R. S., & Keating, D. P. (1996). The role of central conceptual structures in the development of children's thought. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 61. doi.org/10.2307/1166077
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2006) Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychological Science*, 17(5). doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01719
- Castro Cañizares, D., Reigosa Crespo, V., & González Alemañy, E. (2012). Symbolic and non-symbolic number magnitude processing in children with developmental dyscalculia. *The Spanish Journal of Psychology*, 15(3), 952-966. doi: 10.5209/rev\_sjop.2012.v15.n3.39387.
- Cárdenas, S. Y., Silva-Pereyra, J., Prieto-Corona, B., Castro-Chavira, S. A., & Fernández, T. (2021). Arithmetic processing in children with dyscalculia : an event-related potential study. PeerJ. DOI 10.7717/peerj.10489

- Chen, X., Ye, M., Chang, L., Chen, W., & Zhou, R. (2017). Effect of working memory updating training on retrieving symptoms of children with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 51(5), 507-519. doi.org/10.1177/0022219417712015
- Chen, E. H., & Bailey, D. H. (2021). Dual-task studies of working memory and arithmetic performance : A meta-analysis. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*. 47(2), 220-233. DOI: 10.1037/xlm0000822
- Cheung, C.-N., & Lourenco, S. F. (2019). Does  $1+1=2^{\text{nd}}$ ? The relations between children's understanding of ordinal position and their arithmetic performance. *Journal Of Experimental Child Psychology*, 187. doi.org/10.1016/j.jecp.2019.06.004
- Colomé, A., & Noël, M.-P. (2012). One first? Acquisition of the cardinal and ordinal uses of numbers in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(2), 223-247. doi:10.1016/j.jecp.2012.03.005
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, 26(2), 197-223. doi:10.1007/s10648-013-9246-y.
- Cowan, R., & Powell, D. (2014). The contributions of domain-general and numerical factors to third-grade arithmetic skills and mathematical learning disability. *Journal Of Educational Psychology*, 106(1), 214-229. doi.org/10.1037/a0034097
- Cragg, L., Richardson, S., Hubber, P. J., Keeble, S., & Gilmore, C. (2017). When is working memory important for arithmetic ? The impact of strategy and age. *Plos One*, 12(12). doi: 10.1371/journal.pone.0188693
- Cragg, L., & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics : the role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(2), 63-68. DOI:10.1016/j.tine.2013.12.001
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42. doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N

- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The Mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology General*, 122(3), 371-396. doi:10.1037//0096-3445.122.3.371
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.
- Dehaene, S (2009). Origins of mathematical intuitions : the case of arithmetic. *Annals of the New York Academy of Science*, 1156, 232-259. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04469.x
- Desoete, A., Ceulemans, A., De Weerdt, F., & Pieters, S. (2012). Can we predict mathematical learning disabilities from symbolic and non-symbolic comparison tasks in kindergarten? Findings from a longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 64-81. doi:10.1348/2044-8279.002002
- DeStefano, D., & LeFevre, J.-A. (2010). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(3), 353-386. doi.org/10.1080/09541440244000328
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: a longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 186-201. doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.004
- De Smedt, B., & Gilmore, C. K. (2010). Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(2), 278-292. doi: 10.1016/j.jecp.2010.09.003
- De Vos, T. (1992). Tempo-Test-Rekenen. Test voor het vaststellen van het rekenvaardigheidsniveau der elementaire bewerkingen (automatisering) voor het basis en voortgezet onderwijs. Handleiding. Nijmegen, the Netherlands: Berkhout.
- Diezmann, C.-M., & Lowrie, T. (2006). Primary students' knowledge of and errors on number lines. In P. Grootenboer, R. Zevenbergen, & M. Chinnappan (Eds), *Identities, cultures,*

- and learning spaces (Proceedings of the 29<sup>th</sup> annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia). (Vol 1, pp 171-178). Adelaide: MERGA.
- Dubinkina, N., Sella, F., & Reynvoet, B. (2021). Symbolic number ordering and its underlying strategies examined through self-reports. *Journal of Cognition*, 4, DOI: 10.5334/joc.157
- Dunn, L. M., Theriault-Whalen, C.M., & Dunn, L.M. (1993). Echelle de vocabulaire en images Peabody : Adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test-Revised. Toronto, Canada : Psycan
- Dyson, N. I., Jordan, N. C., & Glutting, J. (2013). A number sense intervention for low-income kindergartners at risk for mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 46(2),166-181. doi:10.1177/0022219411410233.
- Estévez-Pérez, N., Castro-Cañizares, D., & Martínez-Montes, E., Reigosa-Crespo, V. (2019). Numerical processing profiles in children with varying degrees of arithmetical achievement. *Acta Psychologica*, 198. doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.05.001
- Fayol, M. (2013). *L'acquisition du nombre (4)*. Que sais-je : Puf
- Finke, S., Banfi, C., Freudenthaler, H. H., Steiner, A. F., Vogel, S. E., Göbel, S. M., & Landerl, K. (2021). Common and distinct predictors of non-symbolic and symbolic ordinal number processing across the early primary school years. *Plos One*, 16(10). doi.org/10.1371/journal.pone.0258847
- Friso-van den Bos, I., Van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29-44. doi.org/10.1016/j.edurev.2013.05.003
- 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. doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00975
- Fürst, A. J., & Hitch. G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arithmetic. *Memory & Cognition*, 28(5), 774-782. doi: 10.3758/bf03198412.



- Gage, N. A., & Lewis, T. J. (2013). Analysis of effect for single-case design research. *Journal of Applied Sport Psychology*, 25(1), 46-60.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *The British Journal of Educational Psychology*, 70(2), 177-194. doi.org/10.1348/000709900158047
- Gathercole, S. E., Brown, L., & Pickering, S. J. (2003). Working memory assessment at school entry as longitudinal predictors of national curriculum attainment levels. *School of Education*, 20(3), 109-122. doi.org/10.53841/bpsecp.2003.20.3.109
- Geary, D. C., Hoard, M. K., & Hamson, C. O. (1999). Numerical and arithmetical cognition: patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 213-239. doi: 10.1006/jecp.1999.2515
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 37, 4-15. doi.org/10.1177/00222194040370010201
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Bailey, D. H. (2013). Adolescents' functional numeracy is predicted by their school entry number system knowledge. *Plos One*, 8. doi.org/10.1371/journal.pone.0054651
- Gersten, R., Chard, D. J., Jayathi, M., Baker, S. K., Morphy, P., & Flojo, J. (2009). Mathematics instruction for students with learning disabilities: a meta-analysis of instructional components. *Review of Educational Research*, 79(3), 1202-1242. DOI: 10.3102/0034654309334431
- Goffin, C., & Ansari, D. (2016). Beyond magnitude: Judging ordinality of symbolic number is unrelated to magnitude comparison and independently relates to individual differences in arithmetic. *Cognition*, 156, 68-76. DOI: 10.1016/j.cognition.2016.01.018
- Gómez-Velázquez, F. R., González-Garrido, A. A., Ruiz-Stovel, V. D., Villuendas-González, E. R., Martínez-Ramos, A., & Altamirano-Ríos, M. (2022). Event-related brain potentials study of arithmetic fact retrieval in children with different math achievement levels. *Journal of Cognitive Psychology*, 34(8), 996-1010. doi.org/10.1080/20445911.2022.2090571

- Gragg, L., & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trend in Neuroscience and Education*, 3(2), 63-68. doi.org/10.1016/j.tine.2013.12.001
- Holmes, J., Adams, J. W., & Hamilton, C. J. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 272-289. doi.org/10.1080/09541440701612702
- Holmes, J., & Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), 9-15. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00848.x
- Honoré, N., & Noël, M.-P. (2016). Improving preschoolers' arithmetic through number magnitude training : the impact of non-symbolic and symbolic training. *Plos One*, 11(11). doi.org/10.1371/journal.pone.0166685
- Hyde, D., Khanum, S., & Spelke, E. (2014). Brief non-symbolic, approximate number practice enhances subsequent exact symbolic arithmetic in children. *Cognition*, 131, 92-107. doi.org/10.1016/j.cognition.2013.12.007
- Imbo, I., Vandierendonck, A., & De Rammelaere, S. (2007). The role of working memory in the carry operation of mental arithmetic : Number and value of the carry. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(5), 708-731. doi.org/10.1080/17470210600762447
- Jordan, N. C., Glutting, J., Dyson, N., Hassinger-Das, B., & Irwin, C. (2012). Building kindergartner's number sense : a randomized controlled study. *Journal of Educational Psychology*, 104(3), 647-660. doi.org/10.1037/a0029018
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension : individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149. doi: 10.1037/0033-295x.99.1.122

- Kaufmann, L., Vogel, S., Starke, M., Kremser, C., & Schocke, M. (2009). Numerical and nonnumerical ordinality processing in children with and without developmental dyscalculia: evidence from fMRI. *Cognitive Development*, *24*(4), 486–494. doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.09.001
- Kim, N., Jang, S., & Cho, S. (2018). Testing the efficacy of training basic numerical cognition and transfer effects to improvement in children’s math ability. *Frontiers in Psychology*, *9*, 1-12. doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01775
- Kyttälä, M., & Lehto, J. E. (2008). Some factors underlying mathematical performance: The role of visuospatial working memory and non-verbal intelligence. *European Journal of Psychology of Education*, *23*, 77-94. doi.org/10.1007/BF03173141
- Layes, S., Lalonde, S., Lalonde, R., Bouakkaz, Y., & Rebai, M. (2018). Effectiveness of working memory training among children with dyscalculia: evidence for transfer effects on mathematical achievement—a pilot study. *Cognitive Processing*, *19*, 375- 385. doi.org/10.1007/s10339-017-0853-2
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: an investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, *105*(2), 395-438. DOI: 10.1016/j.cognition.2006.10.005
- Swanson, L. H., Jerman, O., & Zheng, X. (2008). Growth in working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, *100*(2), 343-379. DOI:10.1037/0022-0663.100.2.343
- Li, Y., Zhang, M., Chen, Y., Deng, Z., Zhu, X., & Yan, S. (2018). Children’s non-symbolic and symbolic numerical representations and their associations with mathematical ability. *Frontiers in Psychology*, *9*, 1-10. doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01035
- Liang, Z., Dong, P., Zhou, Y., Feng, S., & Zhang, Q. (2021). Whether verbal and visuospatial working memory play different roles in pupil’s mathematical abilities. *British Journal of Educational Psychology*, *92*(2), 409-424. doi.org/10.1111/bjep.12454
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2009). Beyond quantity : individual differences in working memory and the ordinal understanding of numerical symbols. *Cognition*, *113*(2), 189-204. doi.org/10.1016/j.cognition.2009.08.003

- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2011). Numerical ordering ability mediates the relation between number-sense and arithmetic competence. *Cognition*, *121*(2), 256-261. doi: 10.1016/j.cognition.2011.07.009.
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2013). Ordinality and the nature of symbolic numbers. *The Journal of Neuroscience*, *33*(43), 17052-17061. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1775-13
- Lyons, I. M., Price, G. R., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). Numerical predictors of arithmetic success in grades 1-6. *Developmental Science*, *17*(5), 714-726. doi.org/10.1111/desc.12152
- Lyons, I. M., & Ansari, D. (2015). Numerical order processing in children : from reversing the distance-effect to predicting arithmetic. *Mind, Brain, and Education*, *9*(4), 207-221. doi.org/10.1111/mbe.12094
- Majerus, S. (2010). Les multiples déterminants de la mémoire à court terme verbale : Implications théoriques et évaluatives. *Développements*, *4*, 5–15. doi:10.3917/devel.004.0005
- Majerus, S. (2011). Evaluation de la mémoire de travail, la course des animaux. [https://www.psyncog.uliege.be/cms/c\\_5469095/fr/psyncog-tests-et-outils-mis-a-](https://www.psyncog.uliege.be/cms/c_5469095/fr/psyncog-tests-et-outils-mis-a)
- Majerus, S. (2016). Optimisation et rééducation de la mémoire de travail : une synthèse critique. *A.N.A.E*, *141*, 167-174.
- Majerus, S., & Oberauer, K. (2020). Working memory and serial order: evidence against numerical order codes but for item-position associations. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *46*(12), 2244-2260. doi:10.1037/xlm0000792
- Majerus, S., Attout, L., Artielle, M.-A., & Van der Kaa, M.-A. (2015). The heterogeneity of verbal short-term memory impairment in aphasia. *Neuropsychologia*, *77*, 165-176. doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.010
- Malone, S. A., Pritchard, V. E., & Hulme, C. (2021). Separable effects of the approximate number system, symbolic number knowledge, and number ordering ability on early arithmetic development. *Journal of Experimental Child Psychology*, *208* doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105120

- Mammarella, I. C., Caviola, S., Giofrè, D., & Szűcs, D. (2018). The underlying structure of visuospatial working memory in children with mathematical learning disability. *The British Psychological Society*, 36 (2), 220-235. doi:10.1111/bjdp.12202
- Marshuetz, C., Smith, E. E., Jonides, J., DeGutis, J & Chenevert, T. L. (2000). Order information in working memory : fMRI Evidence for parietal and prefrontal mechanisms. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2), 130-144. doi:10.1162/08989290051137459
- Martinez-Perez, T., Majerus, S., & Poncelet, M. (2013). Impaired short-term memory for order in adults with dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 34(7), 2211-2223. DOI: 10.1016/j.ridd.2013.04.005
- Martinez-Perez, T., Dor, O., & Maillart, C. (2015). Préciser, argumenter et évaluer les objectifs thérapeutiques pour améliorer la prise en charge orthophonique. *Rééducation Orthophonique*, 261, 63-89. <https://hdl.handle.net/2268/184602>
- McLean, J. F., & Hitch, G. H. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 240-260. doi:10.1006/jecp.1999.2516
- Melby-Lervåg, M., Redick, T. S., & Hulme, C. (2016). Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of « far transfer » : evidence from a meta-analytic review. *Perspectives on Psychological Science*, 11(4), 512-534. DOI: 10.1177/1745691616635612
- Meyer, M. L., Salimpoor, V. N., Wu, S. S., Geary, D. C., & Menon, V. (2010). Differential contribution of specific working memory components to mathematics achievement in 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> graders. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 101-109. DOI: 10.1016/j.lindif.2009.08.004
- Michels, L., O’Gorman, R., Kucian, K. (2018). Functional hyperconnectivity vanishes in children with dyscalculia after numerical intervention. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 291-303. doi.org/10.1016/j.dcn.2017.03.005

- Morsanyi, K., O'Mahony, E., & McCormack, T. (2017). Number comparison and number ordering as predictors of arithmetic performance in adults : Exploring the link between the two skills, and investigating the question of domain-specificity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*(12), 2497-2517. doi.org/10.1080/17470218.2016.1246577
- Morsanyi, K., van Bers, B., O'Connor, P. A., & McCormack, T. (2018). Developmental dyscalculia is characterized by order processing deficits : Evidence from numerical ordering tasks. *Developmental Neuropsychology*, *43*(7), 595-621. DOI:10.1080/87565641.2018.1502294
- Noël, M.-P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add : A preschool study. *Developmental Psychology*, *45*(6), 1630-1643. doi.org/10.1037/a0016224
- Noël, M.-P., Rousselle, L. (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. doi:10.1016/j.cognition.2006.01.005
- Noël, M.-P. (2015). *La dyscalculie. Trouble du développement numérique de l'enfant*. Troubles du développement psychologique et des apprentissages. Solal
- Odic, D., & Starr, A. (2018). An introduction to the approximate number system. *Child Development Perspectives*, *12*(4), 223-229. doi.org/10.1111/cdep.12288
- Park, J., & Brannon, E. M. (2013). Training the approximate number system improves math proficiency. *Psychology Science*, *24*(10), 2013-2019. doi:10.1177/0956797613482944.
- Parker, R. I., & Vannest, K. (2009). An improved effect size for single-case nonoverlap of all pairs. *Behavior Therapy*, *40*(4), 357-367. doi.org/10.1016/j.beth.2008.10.006
- Passolunghi, M. C., Vercelloni, B., & Schadee, H. (2007). The precursors of mathematics learning : Working memory, phonological ability and numerical competence. *Cognitive Development*, *22*(2), 165-184. DOI:10.1016/j.cogdev.2006.09.001
- Passolunghi, M. C., & Costa, H.M. (2016). Working memory and early numeracy training in preschool children. *Child Neuropsychology*, *22*(1), 81-98. doi.org/10.1080/09297049.2014.971726

- Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, 47(13), 2859-2865.  
doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009
- 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. doi: 10.1016/j.cognition.2006.01.005
- Rubinsten, O., & Sury, D. (2011). Processing ordinality and quantity: the case of developmental dyscalculia. *Plos One*, 6(9). DOI: 10.1371/journal.pone.0024079
- Rubinsten, O., Dana, S., Lavro, D., & Berger, A. (2013). Processing ordinality and quantity : ERP evidence of separate mechanisms. *Brain and Cognition*, 82(2), 201-212.  
doi.org/10.1016/j.bandc.2013.04.008
- Saldert, C., Johansson, C., & Wilkinson R. (2015). An interaction-focused intervention approach to training everyday communication partners : a single case study. *Aphasiology* 29(3), 378-399. doi.org/10.1080/02687038.2014.948803
- Sasanguie, D., Lyons, I. M., De Smedt, B., & Reynvoet, B. (2017). Unpacking symbolic number comparison and its relation with arithmetic in adults. *Cognition*, 165, 26-38.  
DOI: 10.1016/j.cognition.2017.04.007
- Sasanguie, D., & Vos, H. (2018). About why there is a shift from cardinal to ordinal processing in the association with arithmetic between first and second grade. *Developmental Science*, 21(5). DOI:10.1111/desc.12653
- Schuchardt, K., Maehler, C., & Hasselhorn, M. (2008). Working Memory Deficits in Children With Specific Learning Disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 41(6), 514- 523. doi:10.1177/0022219408317856
- Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B, Torbeyns, J., Verschaffel, L., & Luwel, K. (2018). Associations of number line estimation with mathematical competence: A meta-analysis. *Child Development*, 89 (5), 1467-1484. doi: 10.1111/cdev.13068.

- Sella, F., Sasanguie, D., & Reynvoet, B. (2020). Judging the order of numbers relies on familiarity rather than activating the mental number line. *Acta Psychologica*, 204. doi.org/10.1016/j.actpsy.2020.103014
- Siegler, R., & Ramani, G. B. (2009). Playing linear number board games—but not circular ones—improves low-income preschoolers' numerical understanding. *Journal of Educational Psychology*, 101(3), 545-560. doi.org/10.1037/a0014239
- Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2002). Phonological loop and central executive processes in mental addition and multiplication. *Psychologische Beiträge*, 44(2), 275-302.
- Sommerauer, G., Grab, K\_H., Grabner, R. H., & Vogel, S. E. (2020). The semantic control network mediates the relationship between symbolic numerical order processing and arithmetic performance in children. *Neuropsychologia*, 141. doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107405
- St Clair-Thompson, H., Stevens, R., Hunt, A., & Bolder, E. (2010). Improving children's working memory and classroom performance. *Educational Psychology*, 30(2), 203-219. DOI:10.1080/01443410903509259
- Sury, D., & Rubinsten, O. (2012). Ordinal processing of numerical and non-numerical information. In Z. Breznitz, O. Rubinsten, V. J. Molfese, & D. L. Molfese (Eds.), *Reading, writing, mathematics and the developing brain : Listening to many voices* (pp. 209-232). Springer Science + Business Media. doi.org/10.1007/978-94-007-4086-0\_13
- Turconi, E., Jemel, B., Rossion, B., & Seron, X. (2004). Electrophysiological evidence for differential processing of numerical quantity and order in humans. *Brain Research*, 21, 22-38. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2004.05.003
- Turconi, E., Campbell, J., & Seron, X. (2006). Numerical order and quantity processing in number comparison. *Cognition*, 98(3), 273-285. DOI:10.1016/j.cognition.2004.12.002
- van der Donk, M., Hiemstra-Beernink, A-C., Tjeenk-Kalff, A., van der Leij, A., & Lindauer, R. (2015). Cognitive training for children with ADHD : A randomized



- controlled trial of cogmed working memory training and ‘paying attention in class’. *Frontiers in Psychology*, 28(6). DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01081
- van Dijck, J.-P., Abrahamse, E. L., Majerus, S., & Fias, W. (2013). Spatial attention interacts with serial-order retrieval from verbal working memory. *Psychological Science*, 24(9), 1854-1859. doi:10.1177/0956797613479610
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). *TEDI-MATH-Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques*. Pearson.
- Vieira, F. D., Ribeiro, D. O., Farias, H. B., & Freitas, P. M. (2021). The working memory as predictor of performance in arithmetic of Brazilian students. *Paidéia*, 31. doi.org/10.1590/1982-4327e3119
- Vogel, S. E., Koren, N., Falb, S., Martina, H., Spradley, A., Schadenbauer, P., Tranzmeister, S., & Grabner, R. H. (2019). Automatic and intentional processing of numerical order and its relationship to arithmetic performance. *Acta Psychologica*, 193, 30-41. doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.12.001
- Vogel, S. E., Faulkenberry, T. J., & Grabner, R. (2021). Quantitative and qualitative differences in the canonical and the reverse distance effect and their selective association with arithmetic and mathematical competencies. *Frontiers in Education*, 6. doi.org/10.3389/feduc.2021.655747
- von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(11), 868-873. DOI :10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x
- Vos, H., Sasanguie, D., Gevers, W., & Reynvoet, B. (2017). The role of general and number-specific order processing in adults’ arithmetic performance. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(4), 469-482. doi.org/10.1080/20445911.2017.1282490
- Vos, H., Gevers, W., Reynvoet, B., & Xenidou-Dervou, I. (2021). Ordinality : The importance of its trial list composition and examining its relation with adults’ arithmetic and mathematical reasoning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 74(11), 1935-1952. doi: 10.1177/17470218211016794

- Wechsler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children*, 4<sup>th</sup> Edn. San Antonio, TX: PsychCorp.
- 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*, 20(2). doi:10.1186/1744-9081-2-20
- Wilson, A. J., & Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. In D. Coch, G. Dawson, & K. W Fischer (Eds.), *Human behavior, learning, and the developing brain: Atypical Development* (pp. 212-238). The Guilford Press.
- Witt, M. (2011). School based working memory training: Preliminary finding of improvement in children's mathematical performance. *Advances in Cognitive Psychology*, 7, 7-15. doi:10.2478/v10053-008-0083-3
- Woods, D. M., Geller, L. K., & Basaraba, D. (2017). Number sense on the number line. *Intervention in School and Clinic*, 53(4), 229-236. DOI:10.1177/1053451217712971
- Xu, C., & LeFevre, J.-A. (2021). Children's knowledge of symbolic number in grades 1 and 2 : Integration of associations. *Child Development*, 92(3), 1099-1117. doi.org/10.1111/cdev.13473
- Zago, L., Petit, L., Turbelin, M.-R., Andersson, F., Vigneau, M., & Tzourio-Mazoyer. (2008). How verbal and spatial manipulation networks contribute to calculation: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 46(9), 2403-2414. doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.03.001
- Zhang, H., Chang, L., Chen, X., Ma, L., & Zhou, R. (2018). Working memory updating improves mathematics performance in middle school students with learning difficulties. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12. doi: 10.3389/fnhum.2018.00154

## 9. Annexes

### 9.1. Résultats des participants illustrés par graphiques

Figure 2. Graphique reprenant les résultats de K. en jugement d'ordinalité, mémoire ordre sériel et mots de liste contrôlé.

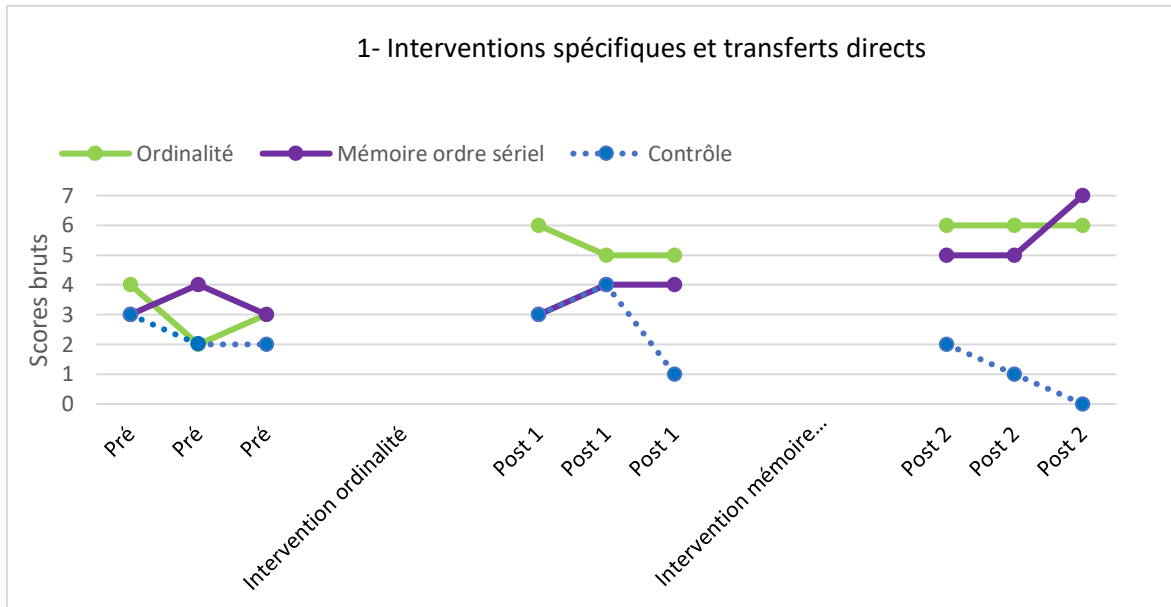


Figure 3. Graphique reprenant les résultats de K. en calculs d'additions et soustractions

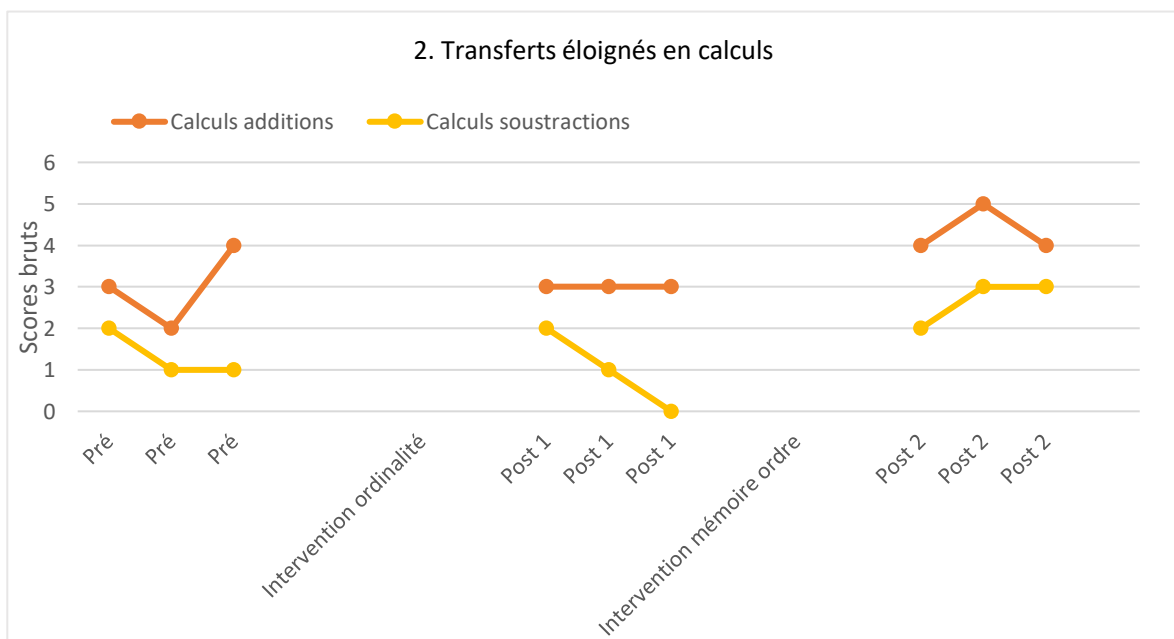
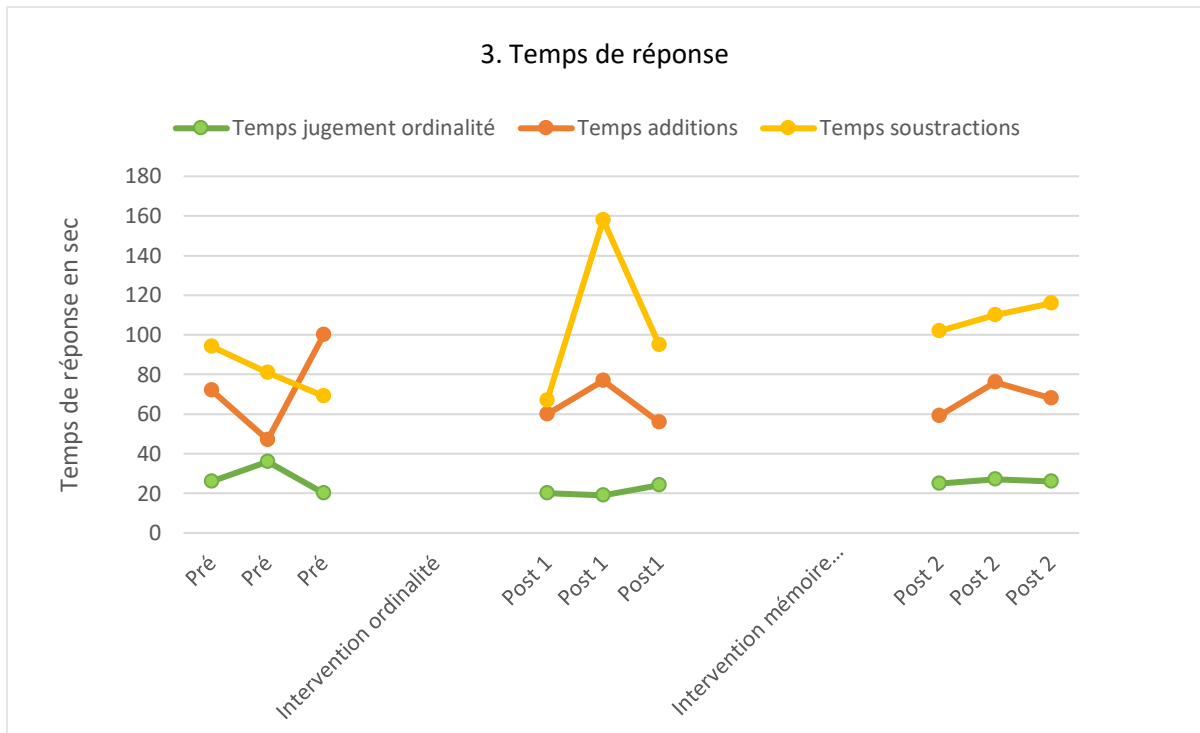


Figure 4. Graphique reprenant les résultats de K. pour les temps de réponse en jugement d'ordinalité, calculs d'additions et soustractions



## Résultats de E.

Figure 5. Graphique reprenant les résultats de E. en jugement d'ordinalité, en mémoire ordre sériel et mots de liste contrôle

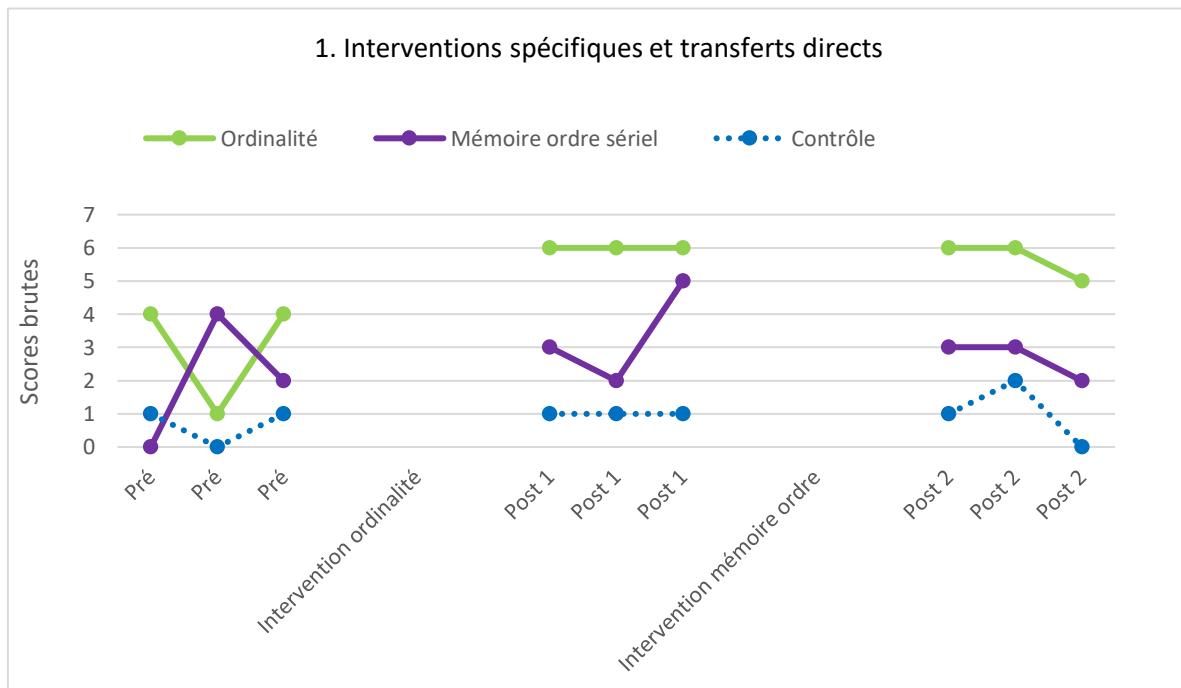


Figure 6. Graphique reprenant les résultats de E. en calculs simples d'additions et soustractions

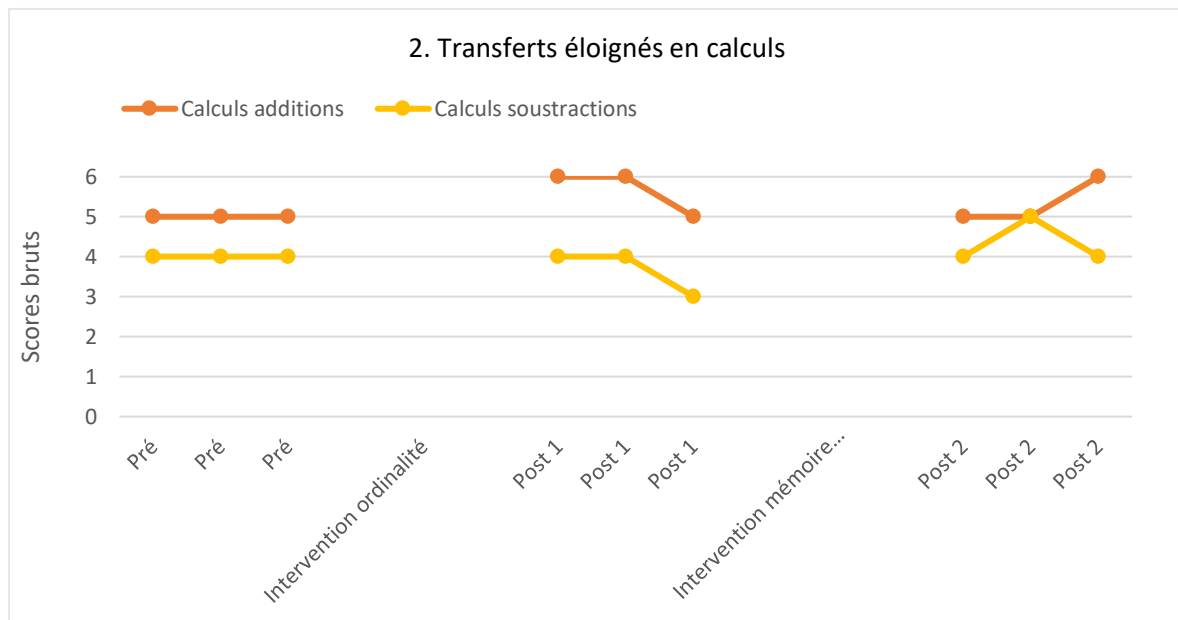
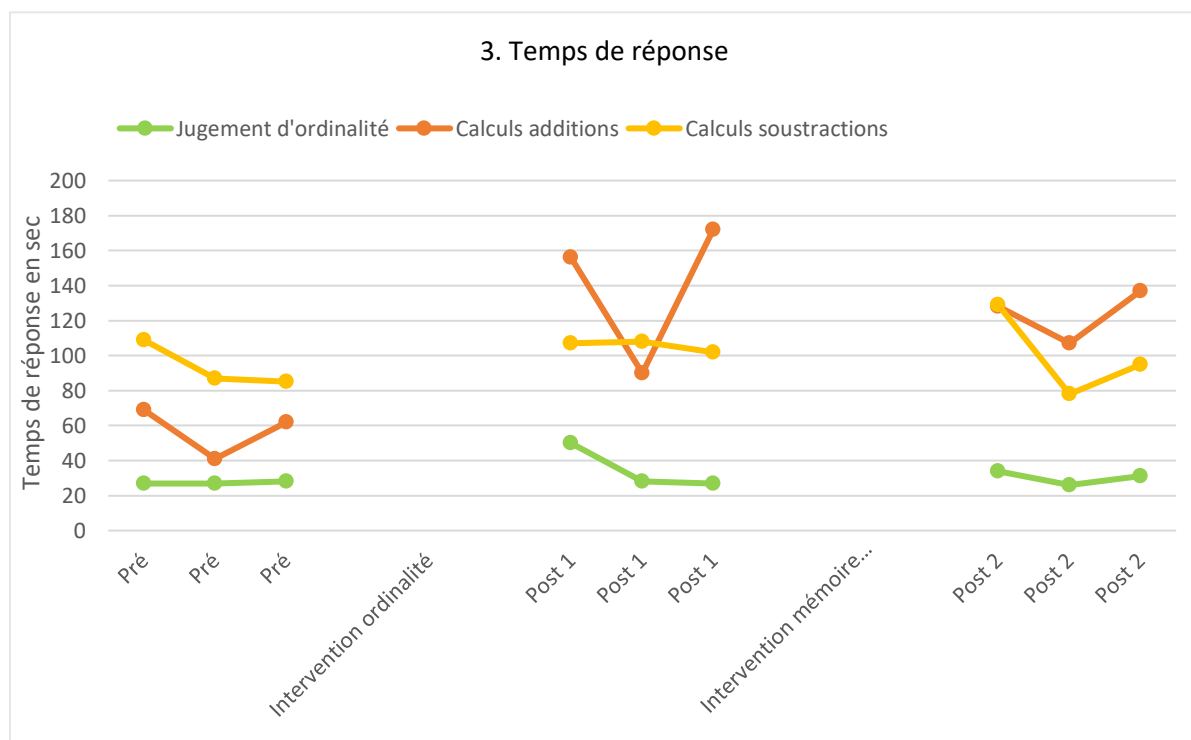


Figure 7. Graphique reprenant les résultats de E. pour les temps de réponse en jugement d'ordinalité, calculs d'additions et soustractions



## Résultats de J-P.

Figure 8. Graphique reprenant les résultats de J-P. en jugement d'ordinalité, mémoire ordre sériel et mots de liste contrôle

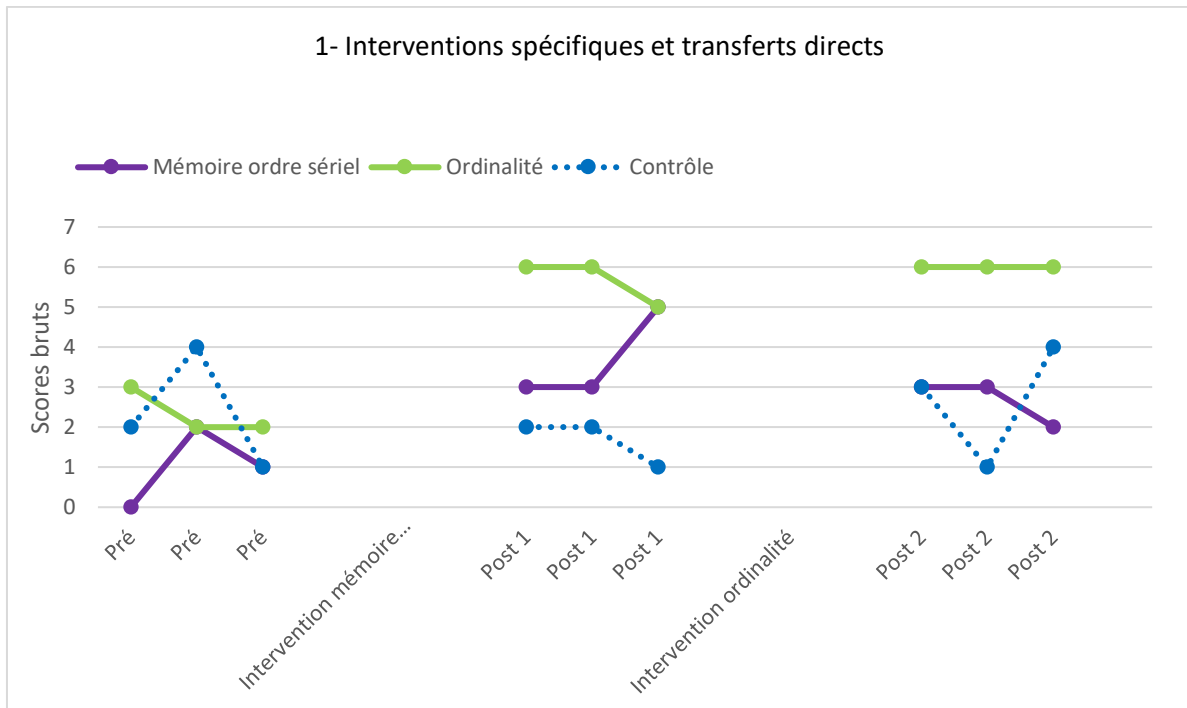


Figure 9. Graphique reprenant les résultats de J-P. en calculs d'additions et soustractions

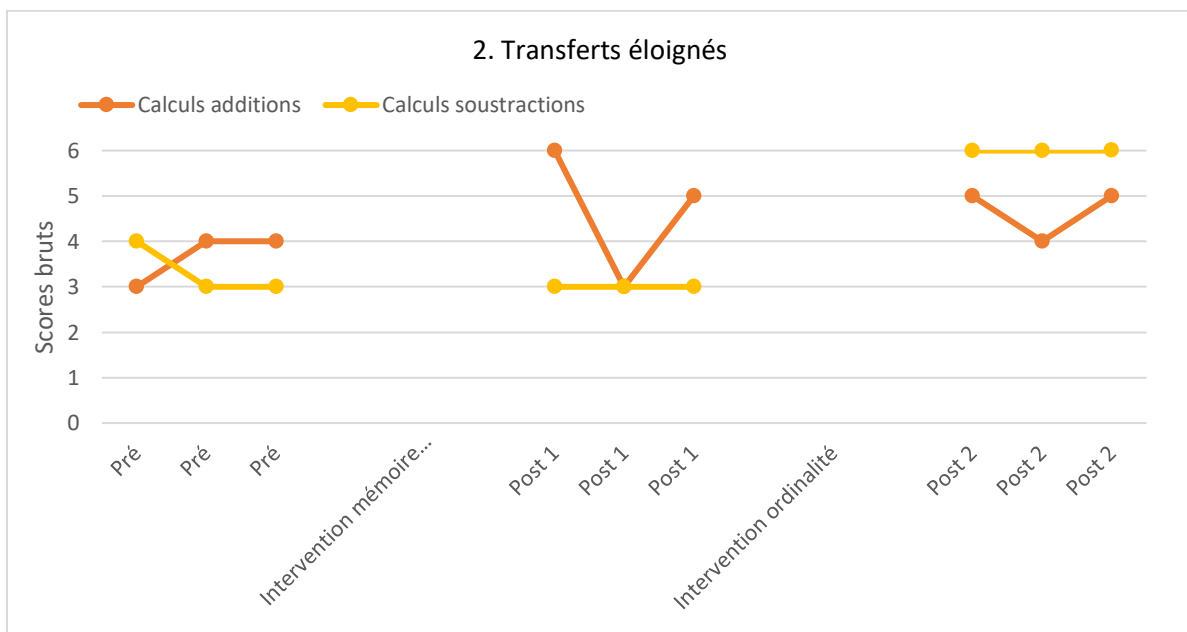
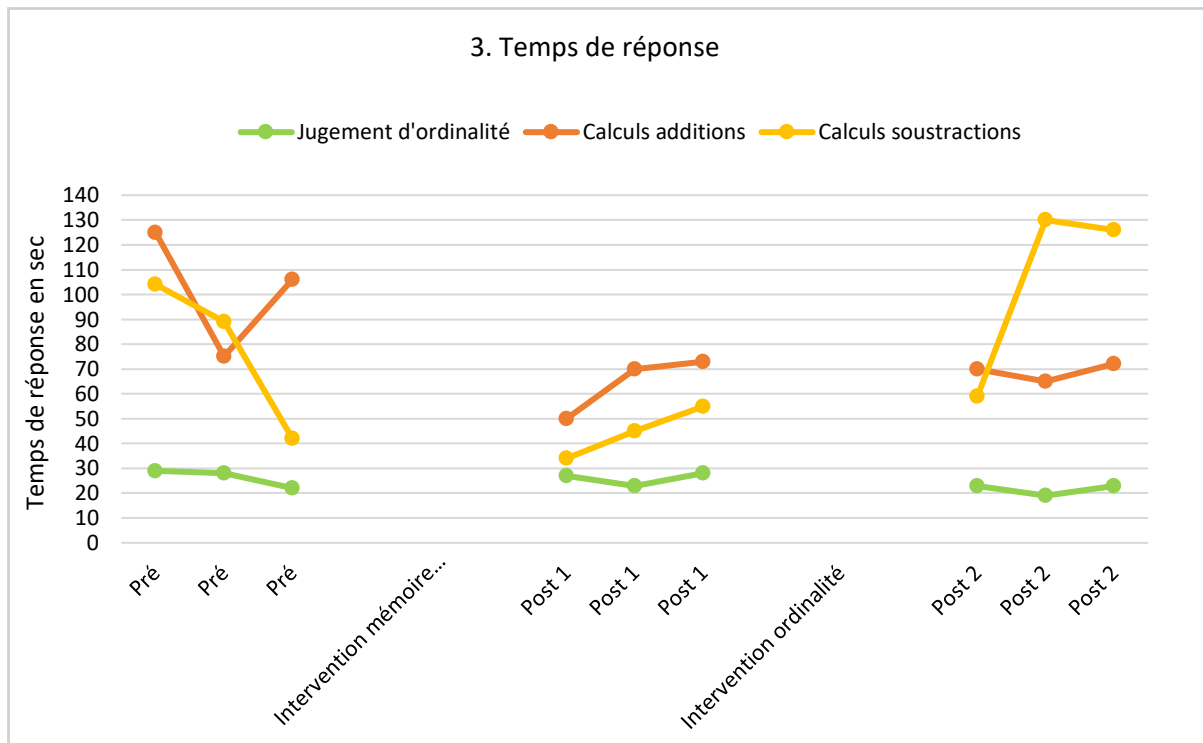


Figure 10. Graphique reprenant les résultats de J-P. pour les temps de réponse en jugement d'ordinalité, calculs d'additions et soustractions



Résultats de C.

Figure 11. Graphique reprenant les résultats de C. en jugement d'ordinalité, mémoire ordre sériel et mots de liste contrôle

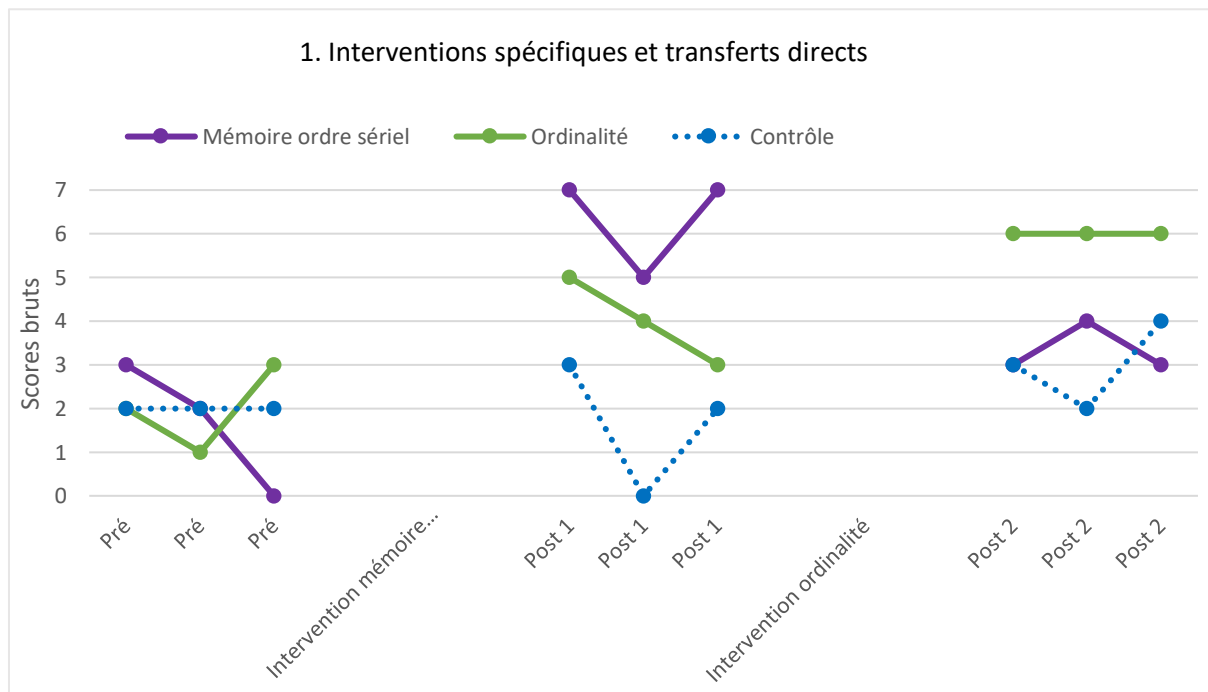


Figure 12. Graphique reprenant les résultats de C. en calculs d'additions et de soustractions

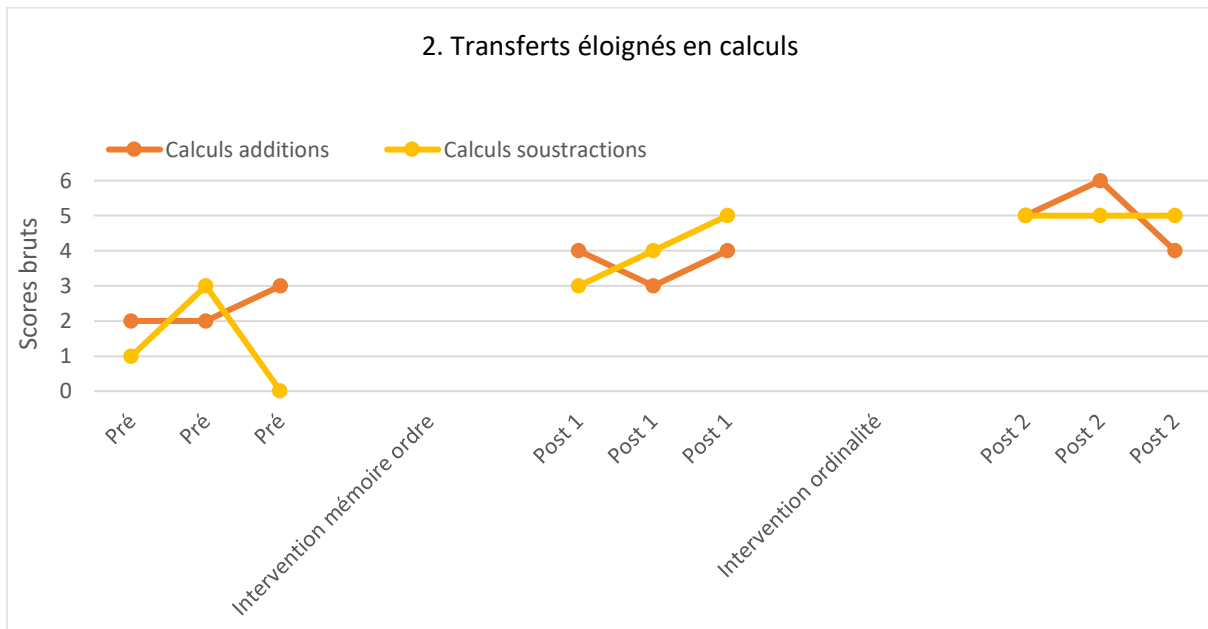
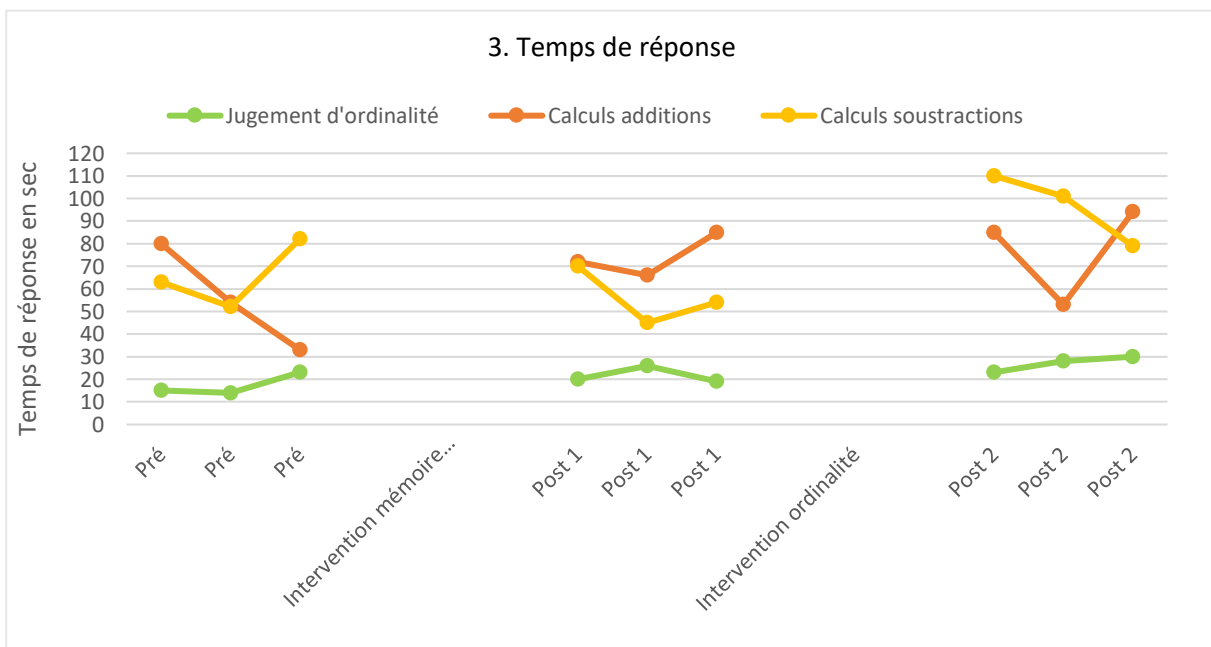


Figure 13. Graphique reprenant les résultats de C. pour les temps de réponse en jugement d'ordinalité, calculs d'additions et de soustractions





## Résultats de N.

Figure 14. Graphique reprenant les résultats de N. en jugement d'ordinalité, mémoire ordre sériel et mots de liste contrôle

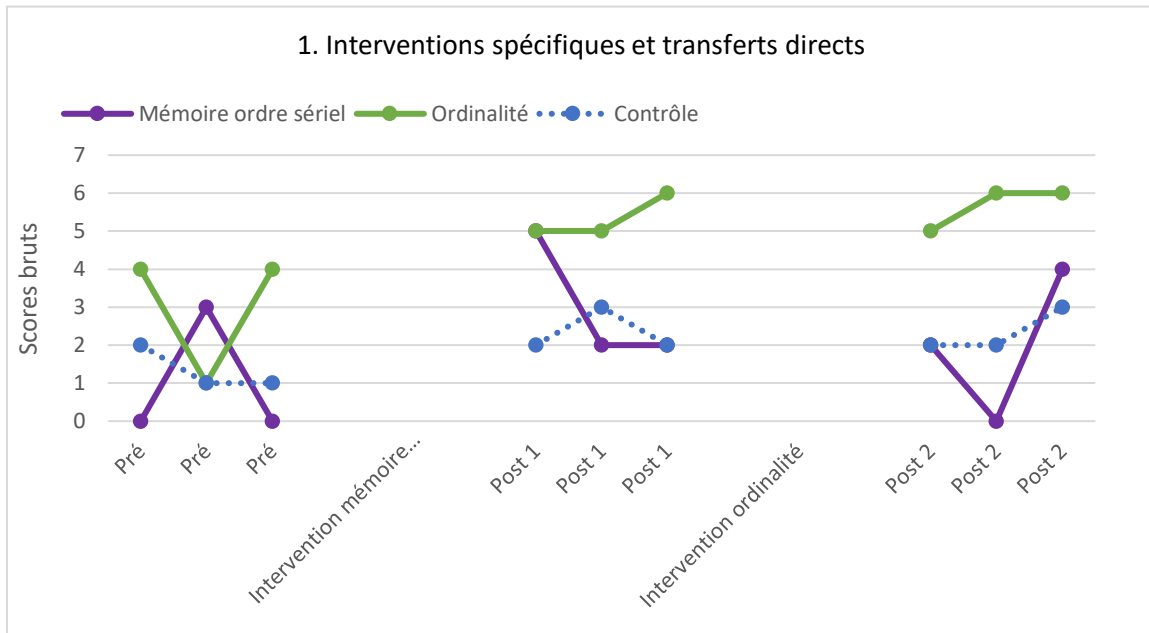


Figure 15. Graphique reprenant les résultats de N. en calculs simples d'additions et de soustractions

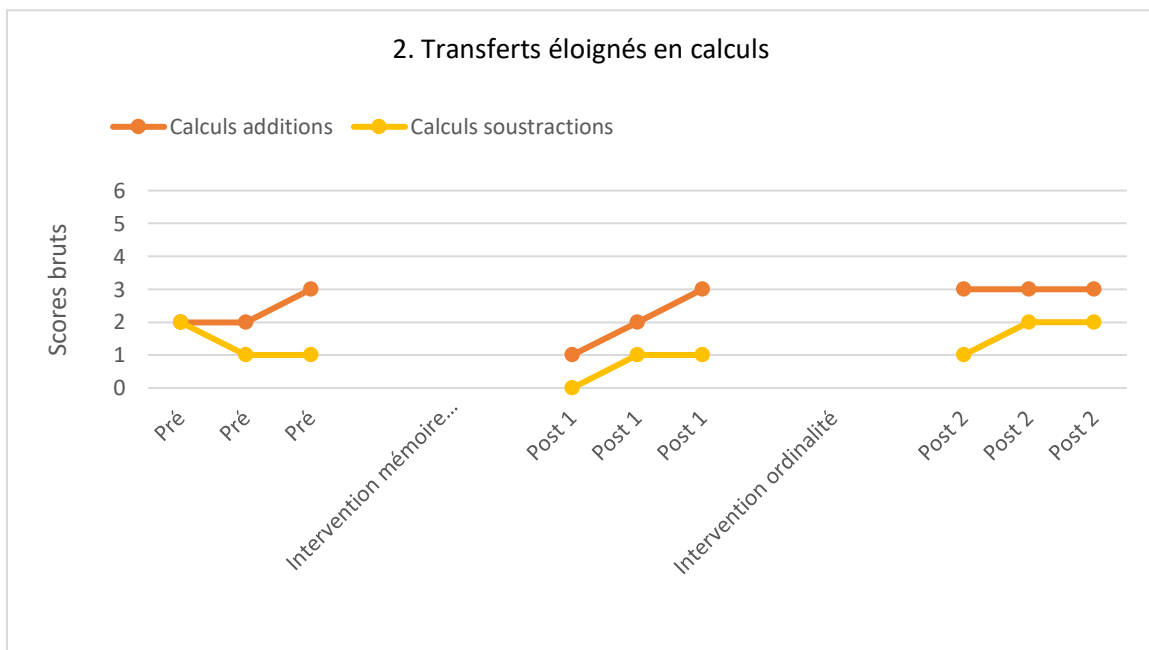
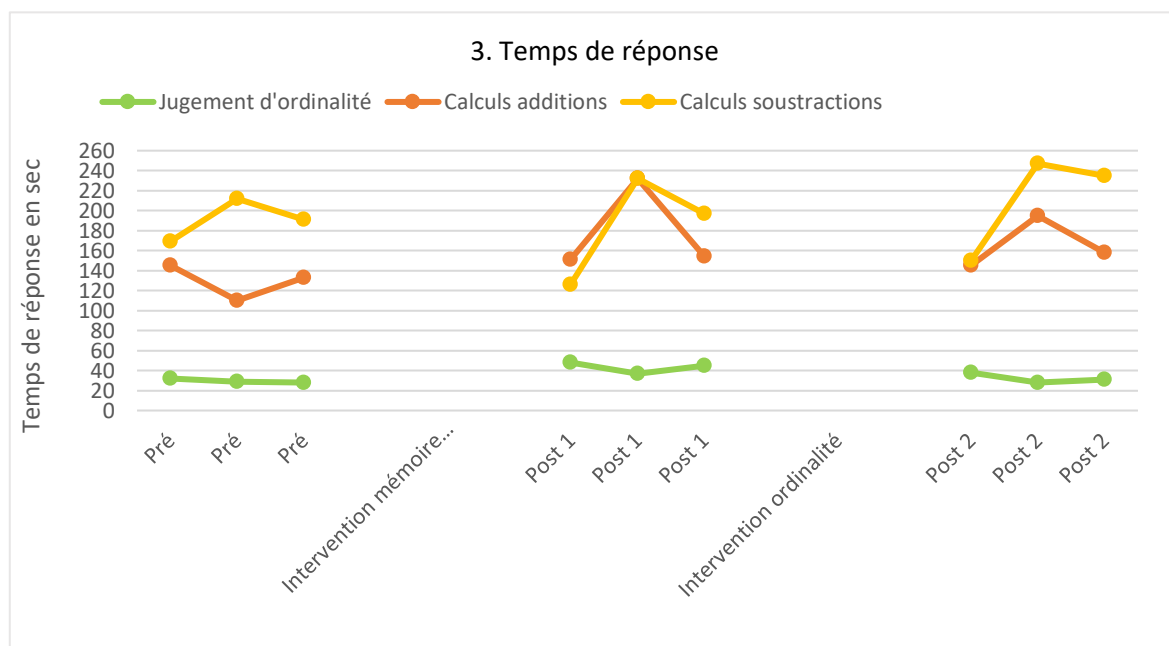


Figure 16. Graphique reprenant les résultats de N. pour les temps de réponse en jugement d'ordinalité, calculs d'additions et de soustractions



## 9.2. Résultats scores bruts de chaque participant

Résultats de K. au TTR :

Épreuves TTR	Calculs réalisés sans erreur	Niveau scolaire équivalent
<b>Résultats pré-test</b>		
Additions	9	1ère primaire (mars)
Soustractions	3	1ère primaire (novembre)
Multiplications	5	1ère primaire (mai)
Divisions	0	1ère primaire (octobre)
Mélangés	6	2-ème primaire (septembre-octobre)
<b>Résultats inter-évaluation</b>		
Additions	12	2-ème primaire (septembre-octobre)
Soustractions	7	1ère primaire (mars)
Multiplications	6	1 et 2 primaire (juin-septembre)
Divisions	2	1ère primaire (mars-juin)
Mélangés	5	1ère primaire (mars-juin)
<b>Résultats post-évaluation</b>		
Additions	13	2-ème primaire (novembre-décembre)
Soustractions	9	1ère primaire (juin)
Multiplications	7	2-ème primaire (octobre-novembre)
Divisions	5	2-ème et 3-ème (primaire juin-septembre)
Mélangés	6	2-ème primaire (septembre-octobre)

*Résultats de K. lignes de base :*

Mesures	Épreuves	Liste A	Liste B	Liste C
<b>Résultats pré-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordre	4/6	2/6	3/6
	Temps	26 sec	36 sec	20 sec
Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	4/7	3/7
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	3/6 1 min 14	2/6 47 sec	4/6 1 min 40
	Calculs soustractions Temps	2/6 1 min 34	1/6 1 min 21	1/6 1 min 09
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture de mots graphies complexes	3/7	2/7	2/7
<b>Résultats inter-intervention</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordre	6/6	5/6	5/6
	Temps	20 sec	19 sec	24 sec
Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	4/7	4/7
Mesure 3 « transfert éloigné »	Calculs additions Temps	3/6 1 min	3/6 1 min 17	3/6 56 sec
	Calculs soustractions Temps	2/6 1 min 07	1/6 1 min 98	0/6 1 min 35
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture de mots graphies complexes	3/7	4/7	1/7
<b>Résultats post-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	5/7	5/7	7/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordre numérique Temps	6/6 25 sec	6/6 27 sec	6/6 26 sec
	Calculs additions Temps	4/6 59 sec	5/6 1 min 16	4/6 1 min 08
Mesure 3 « transfert éloigné »	Calculs soustractions Temps	2/6 1 min 42	3/6 1 min 50	3/6 1 min 56
	Ecriture graphies complexes	2/7	1/7	0/7

Résultats J-P. au TTR :

Épreuves TTR	Calculs réalisés sans erreur	Niveau scolaire équivalent
<b>Résultats pré-test</b>		
Additions	14	2-ème primaire (juin)
Soustractions	13	2-ème primaire (mars-mai)
Multiplications	6	1ère primaire-2ème (juin-septembre)
Divisions	1	1ère primaire ( novembre-février)
Mélangés	7	1ère primaire (novembre-décembre)
<b>Résultats inter-évaluation</b>		
Additions	13	2-ème primaire (novembre-décembre)
Soustractions	8	1ère primaire (avril-mai)
Multiplications	7	2-ème primaire (octobre-novembre)
Divisions	2	1ère primaire (mars-juin)
Mélangés	6	2-ème primaire (septembre-octobre)
<b>Résultats post-évaluation</b>		
Additions	16	2-ème primaire (avril-mai)
Soustractions	9	1ère primaire (juin)
Multiplications	8	2-ème primaire (décembre-janvier)
Divisions	6	3-ème primaire (octobre-novembre)
Mélangés	10	2-ème-3-ème primaire (juin-septembre)

Résultats J-P. lignes de base :

Mesures	Épreuves	Liste A	Liste B	Liste C
<b>Résultat pré-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	0/7	2/7	1/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordre	3/6	2/6	2/6
	Temps	29 sec	28 sec	22 sec
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions	3/6	4/6	4/6
	Temps	2 min 05	1 min 15	1 min 46
	Calculs soustractions	4/6	3/6	3/6
	Temps	1 min 44	1 min 29	42 sec
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture graphies complexes	2/7	4/7	1/8
<b>Résultats inter-intervention</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	3/7	5/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordre	6/6	6/6	5/6
	Temps	27 sec	23 sec	28 sec

Mesure 3 « transfert éloigné »	Calculs additions Temps	6/6 50 sec	3/6 1 min 10	5/6 1 min 13
	Calculs soustractions Temps	3/6 34 sec	3/6 45 sec	3/6 55 sec
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture graphies complexes	2/7	2/7	1/7
<b>Résultat post-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordinalité Temps	6/6 23 sec	6/6 19 sec	6/6 23 sec
Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	3/7	2/7
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	5/6 1 min 10	4/6 1 min 05	5/6 1 min 12
	Calculs soustractions Temps	6/6 59 sec	6/6 2 min 10	6/6 2 min 06
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture graphies complexes	3/7	1/7	4/7

Résultats de E. au TTR :

Épreuves TTR	Calculs réalisés sans erreur	Niveau scolaire équivalent
<b>Résultats pré-test</b>		
Additions	11	1ère primaire (juin)
Soustractions	6	1ère primaire ( février)
Multiplications	13	2-ème primaire (octobre- novembre)
Divisions	3	1ère primaire (septembre-janvier)
Mélangés	5	1ère primaire (mai-juin)
<b>Résultats inter-évaluation</b>		
Additions	12	2-ème primaire (septembre- octobre)
Soustractions	6	1ère primaire (février)
Multiplications	14	3-ème primaire (décembre-février)
Divisions	2	1ère primaire (mars-janvier)
Mélangés	6	2-ème primaire (septembre- octobre)
<b>Résultats post-évaluation</b>		
Additions	11	1ère primaire (juin)
Soustractions	6	1ère primaire (février)
Multiplications	15	3-ème primaire (février-mars)
Divisions	1	1ère primaire (novembre-mars)
Mélangés	6	2-ème primaire (septembre- octobre)

Résultats E. lignes de base :

Mesures	Épreuves	Liste A	Liste B	Liste C
<b>Résultats pré-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordinalité Temps	4/6 27 sec	1/6 27 sec	4/6 28 sec
Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	0/7	4/7	2/6
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	5/6 1 min 09	5/6 41 sec	5/6 1 min 02
	Calculs soustractions Temps	4/6 1 min 49	4/6 1 min 27	4/6 1 min 25
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	1/7	0/7	1/7
<b>Résultats inter-intervention</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordinalité Temps	6/6 50 sec	6/6 28 sec	6/6 27 sec
Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	2/7	5/7
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	6/6 2 min 36	6/6 1 min 30	5/6 2 min 52
	Calculs soustractions Temps	4/6 1 min 47	4/6 1 min 48	3/6 1 min 42
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	1/7	1/7	1/7
<b>Résultats post-intervention</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	3/7	2/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Ordinalité Temps	6/6 34 sec	6/6 26 sec	5/6 31 sec
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs addition Temps	5/6 2 min 08	5/6 1 min 47	6/6 2 min 17
	Calcul soustractions Temps	4/6 2 min 09	5/6 1 min 18	4/6 1 min 35
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mot irréguliers	1/7	2/7	0/7

Résultats de C. au TTR :

Épreuves TTR	Calculs réalisés sans erreur	Niveau scolaire équivalent
<b>Résultats pré-test</b>		
Additions	8	1ère primaire (février)
Soustractions	8	1ère primaire (avril-mai)
Multiplications	10	2-ème primaire(avril-mai)

Divisions	2	1ère primaire(mars-juin)
Mélangés	5	1 ère primaire(mai-juin)
<b>Résultats inter-évaluation</b>		
Additions	12	2-ème primaire (septembre-octobre)
Soustractions	8	1ère primaire (avril-mai)
Multiplications	10	2-ème primaire (avril-mai)
Divisions	2	1ère primaire (mars-juin)
Mélangés	7	2-ème primaire (novembre-décembre)
<b>Résultats post-évaluation</b>		
Additions	12	2-ème primaire (septembre-octobre)
Soustractions	10	2-ème primaire (septembre-octobre)
Multiplications	11	2-ème primaire (juin)
Divisions	3	2-ème primaire (septembre-janvier)
Mélangés	8	2-ème primaire (janvier-février)

Résultats C. lignes de base :

Mesures	Épreuves	Liste A	Liste B	Liste C
<b>Résultats pré-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	2/7	0/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordre Temps	2/6 15 sec	1/6 14 sec	3/6 23 sec
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	2/6 1 min 20	2/6 54 sec	3/6 33 sec
	Calculs soustractions Temps	1/6 1 min 3	3/6 52 sec	0/6 1 min 22
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	2/7	2/7	2/7
<b>Résultats inter-évaluation</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	7/7	5/7	7/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordre Temps	5/6 20 sec	4/6 26 sec	3/6 19 sec
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	4/6 1 min 12	3/6 1 min 06	4/6 1 min 25
	Calculs soustractions Temps	3/6 1 min 10	4/6 45 sec	5/6 54 sec
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	3/7	0/7	2/7
<b>Résultats post-intervention</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordinalité Temps	6/6 23 sec	6/6 28 sec	6/6 30 sec

Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	3/7	4/7	3/7
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	5/6 1 min 25	6/6 53 sec	4/6 1 min 34
	Calculs soustractions Temps	5/6 1 min 50	5/6 1 min 41	5/6 1 min 19
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	3/7	2/7	4/7

Résultat de N. au TTR :

Épreuves TTR	Calculs réalisés sans erreur	Niveau scolaire équivalent
<b>Résultats pré test</b>		
Additions	5	1ère primaire (décembre)
Soustractions	4	1ère primaire (décembre)
Multiplications	7	2-ème primaire (octobre- novembre)
Divisions	2	1ère primaire (mars-juin)
Mélangés	3	1ère primaire (janvier-février)
<b>Résultats inter évaluation</b>		
Additions	6	1ère primaire (janvier)
Soustractions	3	1ère primaire (novembre)
Multiplications	8	2-ème primaire (décembre- janvier)
Divisions	1	1ère primaire (novembre-février)
Mélangés	5	1ère primaire (mai-juin)
<b>Résultats post évaluation</b>		
Additions	8	1ère primaire (février)
Soustractions	2	1ère primaire (octobre)
Multiplications	11	2-ème primaire (juin)
Divisions	1	1ère primaire (novembre-février)
Mélangés	3	1ère primaire (janvier-février)

Résultats de N. lignes de base :

Mesure	Épreuves	Liste A	Liste B	Liste C
<b>Résultats pré-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	0/7	3/7	0/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordinalité Temps	4/6 32 sec	1/6 29 sec	4/6 28 sec
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	2/6 2 min 25	2/6 1 min 50	3/6 2 min 13
	Calculs soustractions Temps	2/6 2 min 49	1/6 3 min 32	1/6 3 min 11
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	2/7	1/7	1/7



<b>Résultats inter-interventions</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Mémoire CTV ordre sériel	5/7	2/7	2/7
Mesure 2 « Transfert proche »	Jugement d'ordinalité Temps	5/6 48 sec	5/6 37 sec	6/6 45 sec
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	1/6 2 min 31	2/6 3 min 52	3/6 2 min 34
	Calculs soustractions Temps	0/6 2 min 06	1/6 3 min 50	1/6 3 min 17
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	2/7	3/7	2/7
<b>Résultats post-test</b>				
Mesure 1 « Prise en charge »	Jugement d'ordinalité Temps	5/6 38 sec	6/6 28 sec	6/6 31 sec
Mesure 2 « Transfert proche »	Mémoire CTV ordre sériel	2/7	0/7	4/7
Mesure 3 « Transfert éloigné »	Calculs additions Temps	3/6 2 min 25	3/6 3 min 15	3/6 2 min 38
	Calculs soustractions Temps	1/6 2 min 30	2/6 4 min 07	2/6 3 min 55
Mesure 4 « Contrôle »	Ecriture mots irréguliers	2/7	2/7	3/7

### 9.3. Items lignes de base

*Additions :*

#### T1

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	5+7	8+3	13+18
2	4+18	22+13	22+13
3	23+8	13+3	7+2
4	15+17	15+13	5+23
5	25+3	13+24	9+13
6	12+22	9+23	11+23

#### T2

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	6+8	7+6	17+18
2	6+15	23+14	24+14
3	26+5	15+4	5+3
4	13+18	16+13	4+24

5	21+8	15+21	6+16
6	14+23	7+27	14+21

**T3**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	7+9	9+5	15+16
2	5+18	25+11	21+11
3	28+4	12+6	6+3
4	11+19	11+12	7+22
5	23+4	18+21	8+17
6	17+21	5+28	12+24

*Soustractions :*

**T1**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	4-2	20-3	12-10
2	11-3	26-14	9-8
3	25-12	15-12	19-16
4	18-4	7-5	24-15
5	21-16	23-20	19-7
6	17-13	12-5	24-4

**T2**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	5-3	22-3	15-12
2	13-4	22-11	6-3
3	28-13	19-17	15-14
4	17-2	8-6	23-15
5	25-17	28-25	17-4
6	18-15	13-4	29-6

**T3**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	7-4	25-6	17-13
2	16-8	27-13	8-6
3	25-14	15-11	18-12
4	18-4	9-7	22-19
5	26-19	27-22	18-5
6	19-18	15-7	25-3

Items mémoire ordre sériel :

T1

Liste 1		
Série 1.A	Série 1.B	Série 1.C
Coq	Chat	Singe
Singe	Coq	Ours
Lion	Chien	Loup
Loup	Ours	Lion
Chat	Singe	Coq
Ours	Loup	Chien
Chien	Lion	Chat

T2

Liste 2		
Série 2.A	Série 2.B	Série 2.C
Loup	Ours	Lion
Chien	Loup	Chat
Chat	Singe	Coq
Lion	Chien	Singe
Singe	Lion	Chien
Coq	Chat	Ours
Ours	Coq	Loup

T3

Liste 3		
Série 3.A	Série 3.B	Série 3.C
Chien	Loup	Chat
Lion	Coq	Singe
Ours	Lion	Chien
Coq	Chat	Loup
Loup	Ours	Coq
Chat	Singe	Lion
Singe	Chien	Ours

Items vérification de l'ordre :

T1

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	2-3-4	5-1-3	8-9-10
2	19-18-20	40-39-38	10-14-12
3	21-23-25	14-16-18	3-5-7
4	43-41-45	31-30-29	21-22-23
5	6-8-10	20-22-24	10-13-15
6	50-51-49	28-29-30	36-35-37

**T2**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	4-5-6	5-7-9	9-10-11
2	10-9-11	49-50-51	17-19-15
3	25-29-27	20-18-22	4-6-8
4	10-12-14	23-22-24	23-25-24
5	47-45-49	45-47-49	18-14-16
6	51-52-50	7-9-11	49-50-48

**T3**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	8-7-9	9-11-13	19-18-20
2	19-20-21	37-35-36	21-23-25
3	22-24-26	17-19-15	3-7-5
4	30-32-34	24-25-26	33-35-34
5	39-43-41	53-51-49	13-14-17
6	42-43-44	19-20-21	48-47-49

*Liste mots mesure contrôle :*

**T1**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	Sapin	Jardin	Chemin
2	Réveil	Soleil	Vieille
3	Cochon	Maison	Ballon
4	Famille	Gorille	Chenille
5	Train	Pain	Main
6	Métier	Papier	Cahier
7	Serpent	Argent	Parent

**T2**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	Métier	Gorille	Chenille
2	Famille	Papier	Parent
3	Serpent	Argent	Chemin
4	Train	Soleil	Cahier
5	Sapin	Maison	Ballon
6	Cochon	Jardin	Main
7	Réveil	Pain	Vieille

**T3**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	Train	Papier	Main
2	Cochon	Pain	Cahier
3	Sapin	Jardin	Vieille
4	Serpent	Soleil	Parent
5	Réveil	Argent	Chenille
6	Famille	Gorille	Chemin
7	Métier	Maison	Ballon

*Mots irréguliers :*

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	Temps	Choral	Pays
2	Aquarium	Chaos	Poêle
3	Femme	Abdomen	Porc
4	Monsieur	Album	Seconde
5	Fusil	Cacahuète	Chronomètre
6	Respect	Paon	Pied
7	Orchestre	Août	moyen

**T2**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	Orchestre	Cacahuète	Porc
2	Temps	Paon	Pied
3	Fusil	Choral	Poêle
4	Respect	Août	Chronomètre
5	Femme	Abdomen	Moyen
6	Aquarium	Chaos	Seconde
7	Monsieur	Album	Pays

**T3**

N°	Liste 1	Liste 2	Liste 3
1	Femme	Choral	Chronomètre
2	Monsieur	Album	Seconde
3	Aquarium	Chaos	Pied
4	Orchestre	Abdomen	Moyen
5	Temps	Aout	Porc
6	Fusil	Paon	Pays
7	Respect	Cacahuète	Poêle

## Lettre donnée aux parents

Madame, Monsieur,

Je suis actuellement étudiante en deuxième année de master logopédie spécialité neuropsychologie à l'Université de Liège. Dans le cadre de ma dernière année, je réalise un mémoire qui porte sur la comparaison de deux méthodes : une rééducation en ordinalité et une en mémoire à court terme ordre sériel.

Le but de ce mémoire est d'observer si une de ces méthodes permettrait d'améliorer les habiletés en calculs chez des enfants ayant entre 7 et 10 ans.

En effet, de nombreuses études ont mis en avant les effets bénéfiques d'un travail en ordinalité et en mémoire ordre sériel pour améliorer les compétences en arithmétiques.

Accepteriez-vous que votre enfant participe à ces prises en charge en logopédie ? Les séances se dérouleront à l'école, deux fois par semaine durant 30 minutes. Elles seront individuelles et seront au nombre de 11 séances.

Je suis très motivée et serais ravie de travailler avec votre enfant afin de pouvoir l'aider au maximum en mathématiques.

Je vous remercie Madame, Monsieur et reste à votre disposition si vous avez des questions ou si vous désirez avoir des informations complémentaires sur les séances.

Marie Engels

Signature des parents

#### 9.4. Matériel séances mémoire ordre sériel

##### Planches pour les exercices

--	--	--

--	--	--	--

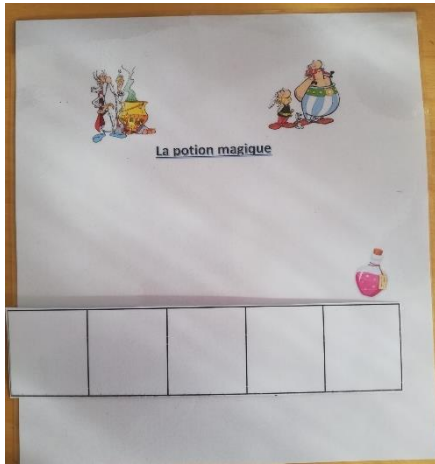
--	--	--	--	--

##### Liste de fruits et légumes utilisée pour l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel :

<u>Monosyllabiques</u>	- Fraise - Pomme - Choux	- Poire - Pêche
<u>Bisyllabiques</u>	- Banane - Orange - Tomate - Raisin - Salade	- Citron - Cerise - Carotte - Concombre



Exemple de jeu de mémorisation visuelle dans le bon ordre et reproduction avec images. Peut être utilisé avec mémorisation auditive et reproduction avec images.



Autre support pour varier avec l'exercice de la potion magique : retenir dans le bon ordre les ingrédients.

Liste animaux de la ferme utilisée pour l'entraînement en mémoire à court terme ordre sériel :

<u>Monosyllabiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chien</li> <li>- Chat</li> <li>- Âne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vache</li> <li>- Poule</li> <li>- Chèvre</li> </ul>
<u>Bisyllabiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cheval</li> <li>- Cochon</li> <li>- Lapin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Canard</li> <li>- Mouton</li> </ul>



Exemple jeu avec animaux de la ferme. Mémorisation ordre visuel avec production images. Peut être utilisé avec mémorisation auditive et production images.

Liste pour entraînement mémoire à court terme ordre sériel :

<p><b>Mots monosyllabiques</b></p> <p><b>Couleurs voitures</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bleue</li> <li>- Verte</li> <li>- Grise</li> <li>- Jaune</li> <li>- Rouge</li> <li>- Mauve</li> </ul>
--	--





Exemple jeu mémorisation de l'ordre : Mettre seulement les voitures ( ici 4) qui vont être énoncées à l'oral, l'enfant écoute et doit replacer dans le bon ordre les voitures sur la route.

<u>Monosyllabiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chat</li> <li>- Lion</li> <li>- Zèbre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Singe</li> <li>- Poule</li> <li>-Chien</li> </ul>
<u>Bisyllabiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Girafe</li> <li>- Oiseau</li> <li>- Tortue</li> <li>- Cochon</li> <li>- Cheval</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grenouille</li> <li>- Serpent</li> <li>- Souris</li> <li>- Lapin</li> <li>- Mouton</li> </ul>
<u>Trisyllabiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eléphant</li> <li>- Ecureuil</li> <li>- Papillon</li> </ul>	

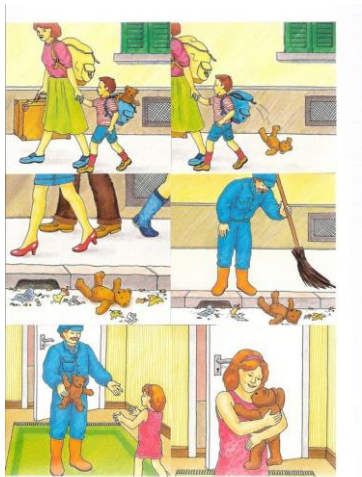


Enoncer une histoire à l'enfant : une petite fille ou un garçon se promène et voit des animaux dans un ordre chronologique. L'enfant doit écouter l'histoire puis replacer dans le bon ordre les images.



Exercice mémorisation suite de nombres puis reproduction avec étiquettes.

9.5. Matériel séances en ordinalité

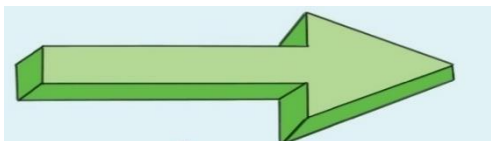


Four empty rounded rectangular boxes for labeling, each with a number below it:

1°      2°      3°      4°

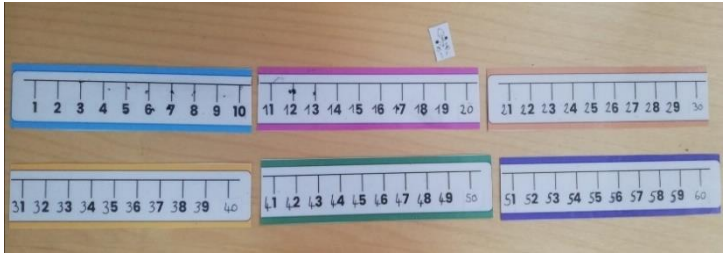


Remettre dans l'ordre les images et raconter une histoire.



	janvier		février
	mars		avril
	mai		juin
	juillet		août
	septembre		octobre
	novembre		décembre

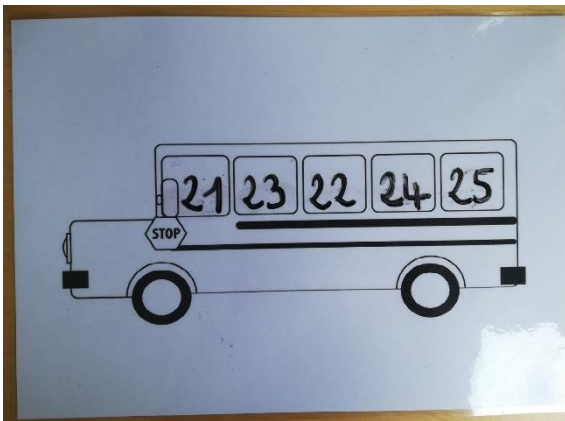
Exemple d'exercices, remettre en ligne les mois dans le bon ordre + questions : Anniversaire de l'enfant avant quel mois, quel mois vient après Noël..



Petite règle à utiliser pour aide.



Exemple exercice vérification de l'ordre.  
Remplacement image pour former la suite dans le bon ordre.



Production ou vérification ordre. Suite lacunaire à compléter. Incrire 2 nombres au préalable pour suite avec séparation de 1, 2 ou 3 entre les nombres. Ici, séquence 2 par 2.





Complétion de suite  
lacunaire. Ici espace de 1.



Jeu de cartes : l'enfant fait défiler les  
cartes vers l'avant ou l'arrière et  
juge si le nombre qui vient est  
correct.

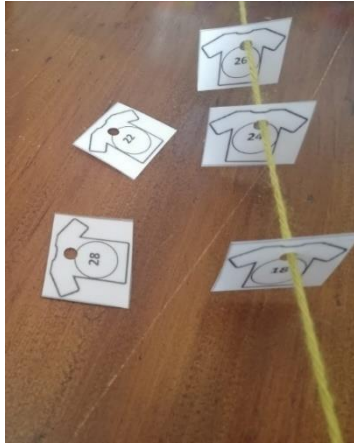
Est-ce dans l'ordre ?  
En dessous de 50

19	20	21	
33	30	35	
5	7	9	
27	26	25	
42	46	44	
9	11	13	
39	41	40	
18	19	20	21
5	6	4	7
41	43	45	44
29	31	34	37

Vérification rapide, cacher les autres suites pour ne pas  
perturber l'attention. L'enfant doit répondre oui/non à  
la question « Est-ce dans le bon ordre ? » Chronomètre  
pour défi vitesse. L'enfant doit pointer avec feutre  
lorsque la suite n'est pas dans l'ordre et souligner  
correctement l'ordre des nombres.



L'enfant doit écrire les nombres  
manquants sur les boîtes aux lettres. Ici,  
espace de 2 entre les nombres.



Exemple jeu, l'enfant doit accrocher au bon endroit les t-shirts. Ici, espace de 2.

Compléter suite lacunaire. Le but du jeu est d'avoir le plus de pompons récupérés si la suite est correcte. Aide possible avec un choix d'étiquette.



Exemple d'exercice : ajustement de position. Séquence définie au préalable, ici de 20 à 30. L'enfant doit réécrire l'ordre de la course des vaisseaux suite à un événement, par exemple vaisseau 23 qui double le 22.



Exemple d'exercice avec ce matériel : est-ce que cette suite est dans le bon ordre ? Avec ce même matériel, faire des séquences lacunaires ou proposer le socle vierge, donner les cartes à l'enfant qu'il doit remettre dans

## Résumé

Les enfants ayant des difficultés en mathématiques peuvent en réalité en souffrir profondément. Pour pouvoir les aider pleinement, il est important de comprendre la genèse de leurs difficultés. Depuis quelques années, de nombreux chercheurs s'intéressent à un domaine qui a longtemps été mis de côté : L'ordre sériel. De manière globale, l'ordre pourrait être en lien avec les habiletés en calculs et serait déficitaire chez les personnes dyscalculiques. Nous retrouvons deux aspects dans le domaine de l'ordre à savoir d'une part, une partie plus spécifique en cognition numérique : l'ordinalité numérique et, d'autre part, une dans un domaine plus général : la mémoire à court terme ordre sériel. Le lien entre ces deux aspects de l'ordre est encore mal compris à ce jour.

Nous avons voulu comparer l'effet d'un entraînement en ordinalité numérique avec un entraînement en mémoire à court terme verbale ordre sériel, chez des enfants ayant des difficultés en mathématiques. Cette étude avait pour objectif d'évaluer la spécificité des deux entraînements ciblant un aspect de l'ordre et de savoir si un processus commun serait présent dans l'aspect ordre en observant si une rééducation serait favorable à l'autre. Nous voulions également observer si l'un ou l'autre entraînement permettrait un transfert plus éloigné sur les compétences en arithmétique. Pour ce faire, nous avons élaboré une étude de cas multiples pour permettre de nous adapter au mieux aux profils hétérogènes que nous retrouvons chez les personnes en difficulté en mathématiques.

Nos résultats mettent en avant un effet spécifique des deux interventions sur les domaines qu'elles ont ciblés directement. Nous pouvons également noter un effet de transfert de l'intervention en mémoire ordre sériel sur les compétences en ordinalité numérique. L'inverse n'a cependant pas été montré. De manière générale, nous ne pouvons pas conclure à un transfert systématique d'un entraînement sur les compétences en calculs, mais des améliorations significatives en calculs ont été notées dans certains domaines de l'arithmétique pour quelques enfants ce qui reste encourageant. Cependant, certaines limites méthodologiques ont pu engendrer les résultats telles que le faible nombre de séances.

L'ordre sériel semble être un domaine important dans le développement des habiletés numériques comme le calcul et semblerait avoir toute sa place dans les domaines à prendre en considération chez des enfants ayant des difficultés en mathématiques.