

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste
présenté par

Camille CAILLOL

soutenu publiquement en juin 2019

**Intérêt de l'utilisation des doigts dans l'acquisition
des mathématiques
Étude chez les enfants tout-venant de CM1-CM2**

MEMOIRE dirigé par
Sandrine MEJIAS, Maître de conférences, Université de Lille , Lille

Lille – 2019

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier ma directrice de mémoire Mme Mejias, maître de conférences à l'université de Lille, qui m'a soutenue, encouragée et conseillée tout au long de ce travail. Merci également au laboratoire Scalab pour le prêt de matériel de test.

Je désire aussi remercier M. Badets, chargé de recherche CNRS, pour son aide précieuse lors de l'analyse statistique ainsi que pour les dysfonctionnements de matériels.

Je remercie également tous les enfants et parents ayant accepté la participation à ce protocole expérimental pour leur bonne volonté.

Un grand merci à Mme Milford, ancienne maître de stage, pour sa relecture et ses conseils.

Enfin je remercie tous mes proches pour leurs encouragements au cours de ces cinq années d'étude.

Résumé :

De nos jours, le rôle des doigts dans l'acquisition des mathématiques est un sujet controversé dans la littérature. Certains auteurs considèrent l'utilisation des doigts comme un outil structurel et nécessaire alors que d'autres soutiennent l'idée selon laquelle le lien entretenu serait fonctionnel et non obligatoire au développement des habiletés mathématiques.

Notre étude s'inscrit dans ce contexte et cherche à mieux comprendre le statut des doigts. S'agit-il d'un support cohérent à présenter aux enfants ? Pour répondre à cette problématique, nous avons choisi d'évaluer et de comparer l'apprentissage d'une séquence de chiffres selon deux conditions différentes : l'une via des configurations de doigts, l'autre via des bâtons. Pour cela, nous avons choisi des enfants tout-venant scolarisés en classe de CM1-CM2.

Les résultats obtenus ne mettent en évidence aucune différence significative entre ces deux conditions. Les doigts ne se sont alors pas avérés comme un meilleur support par rapport aux bâtons. Cependant, ces résultats sont à nuancer et n'excluent pas l'idée que les doigts peuvent être un support adapté à proposer aux enfants qui pourraient en avoir besoin.

Mots-clés :

Cognition mathématique - Acquisitions mathématiques – Gnosies digitales - Comptage digital

Abstract :

Nowadays, the rôle of fingers in the acquisition of mathematics is a controversial subject in the literature. Some authors consider the use of fingers as a structural and necessary tool while others support the idea that the link maintained is functional and not mandatory for the development of mathematical skills.

Our study is part of this context and seeks to better understand the status of fingers. Is it a coherent support to be presented to children ? To answer this problem, we have chosen to evaluate and compare the learning of a sequence of numbers under two different conditions : one via finger configurations, the other via sticks. To do this, we have chosen children from all over who are enrolled in cycle 5-6.

The results obtained do not show any significant difference between these two conditions. The fingers then did not prove to be a better support than the sticks. However, these results are to be qualified and do not exclude the idea that fingers can be a suitable support to offer to children who may need them.

Keywords :

Mathematical cognition - Mathematical skills – Digital gnosies - Digital counting

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1. Relation structurelle.....	2
1.1. Historiquement.....	2
1.2. Développement numérique.....	2
1.3. Configurations digitales.....	2
1.4. Substrat biologique.....	3
1.5. Activité cérébrale.....	3
1.6. Syndrome de Gertsman.....	4
2. Relation fonctionnelle.....	5
2.1. Différences culturelles.....	5
2.2. Rôle des doigts chez l'enfant.....	5
2.2.1. Les représentations numériques.....	5
2.2.2. Lien entre gnosies digitales et compétences numériques.....	5
2.2.3. Chez l'enfant présentant des troubles sensoriels.....	6
2.3. Implication des doigts chez l'adulte.....	6
2.3.1. Usage conscient des doigts.....	6
2.3.2. Activation inconsciente des doigts dans les activités numériques.....	6
2.4. Configurations canoniques.....	7
3. Buts et hypothèses.....	8
Méthode.....	9
1. Sujets.....	9
1.1. Recrutement.....	9
1.2. Participants.....	9
2. Dispositif.....	9
3. Consignes.....	10
4. Stimuli et procédures.....	10
4.1. Questionnaire de latéralité manuelle.....	10
4.2. Pré-test moteur de la séquence principale.....	11
4.3. Apprentissage verbal de la séquence principale.....	11
4.4. Post-test moteur de la séquence.....	12
4.5. Post-test nouvelle séquence.....	12
4.6. Test-counting sur feuille (Annexe 4).....	13
4.7. 3x12 key.....	13
4.8. Feuille conscience (Annexe 5).....	13
4.9. Analyses statistiques.....	14
Résultats.....	14
1. Analyse générale.....	14
1.1. Temps de réponse.....	14
1.2. Nombre d'erreurs.....	15
2. Analyse du post-test de la nouvelle séquence.....	16
2.1. Temps de réponse.....	16
2.2. Nombre d'erreurs.....	17
Discussion.....	18
1. Interprétation des résultats en lien avec les hypothèses de recherche.....	19
1.1. Performance similaire entre les 2 groupes : « mains » versus « bâtons ».....	19
1.2. Absence d'effet du post-test de la nouvelle séquence.....	21
2. Limites de l'étude.....	21
2.1. Population.....	21
2.2. Limite des tests.....	22

2.2.1. Limite matérielle.....	22
2.2.2. Limite des conditions de passation.....	22
2.2.3. Limite des épreuves.....	22
3. Implication clinique.....	22
Conclusion.....	23
Bibliographie.....	24

Introduction

Au sein de notre société, nous rencontrons les nombres en tout lieu. Or, l'apprentissage des compétences numériques n'est pas inné et nécessite un apprentissage (Fayol, 2013). Dès la naissance, nous possédons deux capacités pour manipuler les quantités qui sont le traitement exact de petites numérosités et le système de traitement approximatif (Feigenson et al, 2004). Celles-ci s'affinent au fil du développement. En effet, un nourrisson de six mois peut discriminer des collections de points ayant un rapport de 1:2 (e.g., 6 versus 12, Xu & Spelke, 2000). Puis à 9 mois, il est capable de discriminer un rapport de 2:3 e.g., 6 versus 9, Lipton & Spelke, 2003 ; Wood & Spelke, 2005 ; Xu & Arriga, 2007), puis, à l'âge adulte, un rapport de 10:11 (Halberda & Feigenson, 2008).

Dès le plus jeune âge, l'utilisation des doigts semble être bénéfique pour ce qui est de l'apprentissage des principes de base du calcul puis de l'arithmétique plus complexe (Butterworth, 1999). Les doigts pourraient constituer une aide permettant aux enfants de comprendre les systèmes symboliques et de les mettre en lien avec les systèmes non-symboliques. Les configurations canoniques feraient donc le lien entre ces deux systèmes. De plus, chaque doigt peut être assimilé à une unité. Les modifications quantitatives dans l'environnement peuvent alors être traduites par la manipulation sur les doigts. La mise en correspondance terme-à-terme des éléments de l'environnement et le codage encore analogique permettraient l'établissement de la cardinalité via l'utilisation des doigts (Guedin et al, 2017).

Selon Baroody (1987), les enfants mettent en place différentes stratégies de calcul. Tout d'abord, ils comptent tout un à un puis petit-à-petit, ils arrivent à représenter directement le grand des ensembles ou le premier. Par la suite, ils représentent sur leurs doigts directement les deux quantités de l'opération lorsque la somme est inférieure à dix. Au fur et à mesure, ils reconnaissent les configurations digitales de leur culture. Quelques années plus tard, une partie de l'opération devient mentale et les doigts sont utilisés principalement pour ajouter/soustraire des quantités. Mais les approches pédagogiques ne font pas consensus à ce sujet. Certaines encouragent l'utilisation des doigts contrairement à d'autres qui ne la jugent pas nécessaire. Goldin-Meadow, Levine, et Jacobs (2014) préconisent leur emploi car ils aideraient au début de la scolarité et prédiraient les réussites futures. Le recours aux doigts s'atténue face à des stratégies plus efficaces au cours du développement sauf pour les enfants ayant des difficultés.

Les études ne faisant pas consensus, nous nous posons la question de savoir si cette utilisation des doigts est nécessaire au développement des habiletés numériques. Le but est de déterminer si l'usage des doigts constitue un réel intérêt dans l'apprentissage des mathématiques chez l'enfant tout-venant afin d'adapter la prise en charge avec des patients présentant des difficultés en mathématiques.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Les doigts peuvent aider à la représentation, à la manipulation des quantités et au traitement des nombres. Il existe deux explications alternatives dans la littérature. La première considère le lien entre les doigts et leur usage comme structurel, c'est-à-dire que le module cérébral du nombre contraint leur lien. En effet, le nombre se développe dans le cortex pariétal où l'on retrouve également le traitement de l'espace et des doigts (Butterworth, 1999). La seconde explication suggère une relation fonctionnelle entre les doigts et les nombres. L'utilisation des doigts serait apprise par observation et imitation des adultes mais aussi par l'apprentissage scolaire (Wiese, 2003).

1. Relation structurelle

1.1. Historiquement

Plusieurs auteurs de l'Antiquité, tels que Cicéron (106 av. J.C. -43 av. J.C.), ont rapporté une utilisation des doigts pour compter et calculer. Plusieurs systèmes de comptage ont également été utilisés en Europe au Moyen-âge ainsi que dans de nombreuses cultures orientales (Williams & Williams, 1995). Nous pouvons noter l'exemple d'une tribu d'Amazonie, les Pirahäs, qui utilisent leurs doigts pour compter même avec un système de comptage limité à un-deux-plusieurs (Gordon, 2004). Dans ces populations, les stratégies de comptage restaient rudimentaires, ce qui pourrait s'expliquer par une utilisation peu fréquente du nombre ou à un manque d'éducation mathématique (Spaepen et al, 2011). Divers systèmes de comptage sur les doigts ont alors été utilisés à travers l'histoire et les cultures. Les doigts sont donc considérés comme un moyen utile permettant l'acquisition et la transmission des savoirs arithmétiques. En effet, ils constituent un support physique pour la réalisation d'opérations mentales et se fondent dans le système sensorimoteur (Andres, Di Luca et Pesenti, 2008).

1.2. Développement numérique

L'apprentissage d'une routine de comptage se fait sur une période de quatre ans (entre deux et six ans) pendant laquelle les stratégies de comptage apparaissent. En effet, un enfant apprend ces stratégies digitales par le biais de l'observation et de l'imitation mais il les auto-initie rapidement dans des tâches de comptage et d'arithmétique, et cela, même en l'absence d'instruction explicite. Entre trois et cinq ans, l'utilisation des doigts est différente et devient utile pour garder une trace du nombre (Fuson, Richards & Briars, 1982). Le principe de correspondance terme-à-terme et le principe de l'ordre stable (Gelman & Gallistel, 1978) peuvent être assimilés avec l'élaboration de stratégies de comptage des doigts. Les positions fixes des doigts sur la main favorisent l'émergence de routines de comptage reliant les doigts aux objets dans un ordre séquentiel et stable.

1.3. Configurations digitales

Hornung et collaborateurs (2017) ont étudié la dénomination rapide de configurations digitales versus la dénomination rapide de configurations de dés. La fluidité arithmétique a

également été mesurée par 33 additions et 33 soustractions. Ils ont observé que la fluidité arithmétique était plus fortement associée à la dénomination rapide spécifique aux nombres. De plus, les auteurs observent que la dénomination rapide de configurations de doigts est la meilleure mesure permettant de prédire les capacités arithmétiques des élèves scolarisés en classe de CP. Pour eux, les représentations digitales sont alors plus qu'une simple manière de représenter des quantités mentalement. Les représentations digitales numériques participent, selon eux, à une compréhension rapide et approfondie des concepts numériques issus des expériences sensorimotrices et perceptuelles, si elles sont expérimentées à un stade précoce. De plus, les enfants compétents dans la dénomination rapide de configurations de doigts peuvent avoir une compréhension plus approfondie des concepts numériques et par conséquent être plus compétents en arithmétique.

1.4. Substrat biologique

Les doigts sont un outil universel et facilement accessible chez les humains. Nous utilisons la base dix dans notre comptage ce qui a pu être influencé par le fait que nous ayons dix doigts ainsi que par leur organisation : deux fois cinq doigts. On retrouve cette base dans la numération écrite romaine (Ifrah, 1981).

1.5. Activité cérébrale

Selon Sato et collaborateurs (2007), lorsqu'un adulte est en présence simple de chiffres, les trajets musculaires associés aux représentations corticales des doigts s'activent automatiquement et inconsciemment. La relation entre les mouvements des mains et l'accroissement du signal dans le gyrus précentral gauche montre que les stratégies de comptage apprises pendant l'enfance sont ancrées à l'âge adulte. La même activité cérébrale est observée lors de la résolution d'additions et de soustractions. Cela met en évidence une implication inconsciente des doigts dans les activités numériques. De plus, une augmentation de l'activité du lobe pariétal gauche, qui s'étend du sillon intrapariétal au gyrus post central a été observée lors d'une tâche de comptage sur les doigts (Kaufmann et al., 2008). Chez l'enfant, ce sont les lobes pariétaux inférieurs gauche et droit qui révèlent une activité cérébrale plus élevée, plus précisément du gyrus supramarginal jusqu'aux gyrus pré et post-centraux dans l'hémisphère droit. Cette étude d'imagerie sous-tend une activation des circuits cérébraux sous-jacents à l'observation des configurations des doigts, principalement dans l'hémisphère gauche, lors du traitement des nombres. Krinzinger et al., (2011) évoquent des activations communes dans la partie antérieure du sillon intrapariétal lors d'additions et des mouvements des doigts.

Certains auteurs s'accordent sur l'importance du réseau prémoteur pariétal chez l'enfant. En effet, il pourrait faire correspondre les connaissances numériques symboliques et non-symboliques via l'intégration somato-sensorielle. Andres et al., (2008) ont observé, à l'aide d'une imagerie par résonance magnétique cérébrale fonctionnelle (IRMf), une corrélation dans le sillon intrapariétal gauche plus importante que dans le sillon intrapariétal droit lorsqu'ils comparent l'activation neuronale entre une tâche d'arithmétique mentale et une tâche de jugements de doigts. Cette étude suggère alors une spécialisation hémisphérique

gauche pour des représentations numériques précises lors du développement des capacités du comptage digital.

Selon Andres et Pesenti (2015), l'arithmétique mentale activerait donc les zones pariétales sous-jacentes à la discrimination des doigts afin de suivre les changements incrémentiels pendant les calculs. Toutefois, ils considèrent que ces études ne sont pas assez approfondies car elles ne permettent pas de déterminer la nature exacte des mécanismes partagés entre les tâches arithmétiques et la discrimination digitale. Des recherches seraient nécessaires afin d'étudier plus précisément le rôle respectif des mécanismes moteurs et spatiaux.

Des études de stimulations magnétiques transcrâniennes (TMS) montrent aussi une activation des aires pariétale et prémotrice de chaque hémisphère lors de tâches d'arithmétiques et de comptage. Les mouvements des doigts sont perturbés lorsque des TMS sont appliquées sur le cortex pariétal inférieur. Les temps de réponses lors de tâches de jugement d'amplitude numérique augmentent également (Rusconi, Walsh & Butterworth, 2005).

1.6. Syndrome de Gertsman

Le syndrome de Gertsman se manifeste par une agnosie digitale, des difficultés à identifier la droite et la gauche, une maladresse d'écriture ainsi que des difficultés à effectuer des calculs. Pour expliquer ce groupe de symptômes, Gertsman considère que les mains et les doigts ont un rôle nécessaire dans l'apprentissage arithmétique, l'exécution des mouvements d'écriture et la reconnaissance droite/gauche (Gertsman, 1930, 1940, 1957). La perturbation d'un seul processus sous-jacent de la différenciation des doigts et leur association peut expliquer ce cluster de symptômes. Cela informe également des dommages sélectifs dans la partie inférieure du lobe pariétal gauche. D'autres hypothèses supposent que ces symptômes peuvent être le résultat d'un dommage à une zone de convergence dans la matière blanche du lobe pariétal postérieur (Rusconi, Pinel, Dehaene & Kleinschmidt, 2009).

En chirurgie éveillée, les stimulations électriques permettant de cartographier le cortex postérieur des patients ont mis en évidence l'apparition d'une acalculie et d'une agnosie digitale indépendante des autres symptômes (Roux, Boetto, Sacko, Chollet & Trémoulet, 2003). Par le biais d'études utilisant la technique de la TMS, un chevauchement des réseaux neuronaux sous-jacents au calcul et à la discrimination des doigts a été observé dans le cerveau.

Les différentes études issues de la neuropsychologie et concernant l'étude des lésions cérébrales provoquant des déficits dans le traitement des nombres et de la discrimination des doigts, soutiennent le fait que le comptage digital et les procédures de calcul basées sur les doigts constituent la base de la performance arithmétique chez les adultes. Actuellement, des recherches plus approfondies sont nécessaires pour mettre au clair les processus spécifiques communs (Andres & Pesenti, 2015).

2. Relation fonctionnelle

2.1. Différences culturelles

L'utilisation des doigts se révèle être différente à travers les cultures. Les Oksapmin et Torres Tribe ne se restreignent pas seulement aux doigts mais font également appel aux parties du corps. La population de Nicaragua possède un environnement de chiffres mais elle n'utilise pas le comptage digital pour les valeurs cardinales. Cela signifie que pour développer des routines de comptage, il ne suffit pas de vivre dans un environnement numérique (Spaepen et al., 2011).

2.2. Rôle des doigts chez l'enfant

2.2.1. Les représentations numériques

Il existe deux types de représentations numériques : le counting et le moutring. Le counting correspond au comptage digital. Il est ordinal, et sert d'aide externe pour le comptage des quantités ou pour les calculs arithmétiques. Le moutring fait référence aux diverses configurations de doigts utilisées afin de représenter et ainsi communiquer les informations numériques cardinales à autrui (Di Luca & Pesenti, 2008). Selon Di Luca (2010), les gestes de comptage et de moutring deviennent symboliques et sont traités comme les chiffres arabes.

De plus, les enfants utilisent leur connaissance du comptage, souvent digitale, pour apprendre dans un premier temps à résoudre des problèmes arithmétiques. En effet, lorsqu'ils utilisent ces stratégies de comptage digital, les faits arithmétiques de base semblent être mieux mémorisés. Ils passent ainsi d'une stratégie de comptage de doigts à des stratégies basées sur la mémoire (Jordan et al., 2008).

2.2.2. Lien entre gnosies digitales et compétences numériques

« La « gnosie » est la connaissance, elle se réfère aux résultats des stimuli sensoriels, de la perception, de l'appréciation et de la reconnaissance de stimuli » (Campbell, 2005). Les gnosies digitales se définissent alors par la capacité à reconnaître, percevoir et localiser les doigts grâce à l'utilisation de l'un des sens (toucher, vue, etc.). Elles présagent des compétences mathématiques futures (Fayol et al., 1998). Newman (2016) précise cette idée. Elle rapporte une absence de relation entre les performances d'addition et les gnosies digitales chez les enfants de 5 à 8 ans mais une réelle corrélation chez les enfants de 9 à 12 ans. Cette différence s'explique, selon elle, par le fait que les habiletés d'addition et les gnosies digitales sont encore en développement dans le groupe des enfants plus jeunes. Elle rapporte alors que les gnosies digitales permettraient de mieux prédire la performance chez les enfants plus âgés que chez les plus jeunes.

De nombreuses études de cas ont étudié la relation entre l'agnosie digitale et les compétences mathématiques (pour une synthèse, voir Marinthe, Fayol & Barrouillet, 2001). Elles suggèrent que si les représentations digitales ne se développent pas normalement et de manière réciproque, l'acquisition des capacités numériques serait perturbée. Cette idée ne

restreint pas la relation entre doigts et capacités numériques simplement par la proximité spatiale des projections cérébrales dans le lobe pariétal mais expliquerait celle-ci par une relation fonctionnelle (e.g. aiderait dans les apprentissages, comme la résolution de calculs d'additions et de soustractions, sans pour autant être indispensable). Il faut toutefois rester prudent face à ces études qui restent insuffisantes pour permettre de bien comprendre le lien entre les gnosies digitales et les compétences numériques. En effet, cette idée ne fait pas consensus et est réfutée par Fayol et Thevenot (2012). Dans leur étude, ils ont distingué deux groupes d'enfants âgés de 8 à 11 ans. Le premier groupe était constitué d'enfants sans trouble de développement, l'autre d'enfants avec trouble du calcul. Ils ont effectué des tâches de gnosies digitales, d'arithmétique et de discrimination de quantités. Les résultats se sont avérés différents entre les deux groupes pour les tâches de gnosies digitales et du traitement des opérations nécessitant du comptage mais pas pour la tâche de discrimination de quantités. Les auteurs considèrent alors que les performances aux gnosies digitales n'impacteraient pas les performances aux discriminations de quantités.

2.2.3. Chez l'enfant présentant des troubles sensoriels

Certains auteurs ont souhaité étudier le recours aux doigts chez des enfants présentant des troubles sensoriels. Spaepen, Coppola, Flaherty, Spleke, Carey et Goldin-Meadow (2011) se sont intéressés aux enfants atteints de surdité qui utilisent leurs doigts mais n'ont pas bénéficié d'un apprentissage d'un système conventionnel de codage des nombres. Les résultats montrent que les stratégies digitales ne sont pas efficaces lorsque les quantités sont supérieures à trois et les réponses données sont plus souvent approximatives. De plus, les doigts ne sont pas utilisés dans le dénombrement et les opérations. Concernant les enfants atteints d'une cécité, Crollen, Mahe, Collignon et Seron, (2011) ont mis en évidence l'absence de mobilisation spontanée des doigts malgré des gnosies digitales et des résultats à des épreuves numériques semblables aux personnes voyantes appariées. De ce fait, chez l'enfant présentant des troubles sensoriels, le recours aux doigts n'est ni universel ni spontané. Il nécessite un apprentissage qui peut alors être favorisé par l'imitation ou l'observation (Guedin et al., 2017).

2.3. Implication des doigts chez l'adulte

2.3.1. Usage conscient des doigts

Les adultes ont parfois recours aux doigts pour déterminer le cardinal d'un ensemble notamment lorsqu'ils sont en double tâche (Lucidi & Thevenot, 2014). Ils peuvent aussi les utiliser dans certains calculs tels que les additions complexes (Domahs, Moeller, Huber, Willmes & Nuerk, 2010) ou encore pour effectuer des monstrations de quantités. Les doigts peuvent également être consciemment mobilisés notamment dans le dénombrement.

2.3.2. Activation inconsciente des doigts dans les activités numériques

Sato, Cattaneo, Rizzolatti et Gallese (2007) ont utilisé la technique d'étude de la stimulation magnétique transcrânienne (TMS) afin d'observer les changements d'excitabilité des muscles de la main lors d'une tâche de jugement de parité. Ils ont alors mis en évidence une implication inconsciente des doigts dans des activités numériques. En effet, une activation

automatique et inconsciente des trajets musculaires associés aux représentations corticales des doigts se déclenche par la simple présence de chiffres. Ce lien entre l'accroissement du signal dans le gyrus précentral gauche et les mouvements des mains peut s'expliquer, selon les auteurs, par une stratégie de comptage digital incarnée au cours de l'acquisition du nombre. Michaux, Masson, Pesenti et Andres (2013), en utilisant la technique de l'imagerie cérébrale, retrouvent cette activation cérébrale lors de la réalisation d'opérations mentales (additions et soustractions). De plus, Tschentscher et collaborateurs (2012) ont présenté des noms de chiffres arabes à des participants adultes. Ils ont mesuré l'activation cérébrale par une imagerie à résonance magnétique fonctionnelle. Ils ont retrouvé une activation systématique du cortex moteur liée aux habitudes de comptage digital. En effet, pour les participants commençant à compter en partant de la gauche, une activation du cortex moteur droit a été observée et inversement.

D'après ces études, l'hypothèse d'un lien fonctionnel entre les doigts et les nombres est émise. L'existence d'une association à long terme entre doigts et nombres est suggérée par une activation musculaire des doigts et des mains ainsi que leur aire de représentation lors de tâches numériques chez l'adulte. Cette association se serait développée au cours de l'enfance avec l'utilisation de stratégies digitales dans les activités numériques. De plus, ces activations sont également présentes dans les circuits moteurs. Elles pourraient donc constituer des aides procédurales fonctionnelles comme support aux activités de comptage et ne seraient pas seulement utiles pour représenter des quantités (Berteletti & Booth, 2015). Ainsi, au cours du développement, l'intériorisation des procédures de comptage et des représentations des nombres expliqueraient les implications inconscientes des doigts dans les tâches numériques chez l'adulte.

2.4. Configurations canoniques

Les doigts peuvent être présentés sous différentes configurations et ainsi fonctionner comme un code. Dans les pays occidentaux, les adultes débutent le dénombrement par la main gauche, et y associent alors les petites quantités. À l'inverse, les adultes du Moyen-Orient y associent les grandes quantités. Les configurations peuvent alors être différentes selon la culture (Fayol, 2013).

Di Luca, Granà, Semenza, Seron et Pesenti, (2006) ont demandé à des participants (adultes) d'appuyer sur un des dix boutons placés devant eux lors de l'apparition de configurations de doigts présentées visuellement. Cette étude a montré que les quantités, présentées visuellement sont mieux évaluées et reconnues lorsqu'elles sont présentées par des configurations canoniques, qui respectent donc les codes culturels, plutôt que non-conventionnelles. Certains auteurs suggèrent même que ces configurations canoniques fonctionnent comme les chiffres arabes, c'est-à-dire qu'elles se positionnent sur la ligne numérique mentale et activent les voisins numériques proches (Di Luca, Lefèvre & Pesenti, 2010). Ces représentations canoniques sont également mieux reconnues par les enfants âgés de 7 à 11 ans présentant une infirmité motrice cérébrale. Les doigts forment ces représentations conventionnelles (figure 1) qui peuvent être mémorisées et fonctionner comme les chiffres arabes (Di Luca & Pesenti, 2008 ; Di Luca et al., 2010).

Les enfants peuvent ainsi établir le lien entre un symbole oral et une quantité numérique par le biais de représentations digitales. Ces configurations canoniques peuvent également être une aide à la mémoire de travail lors de tâches nécessitant un traitement des nombres par exemple.

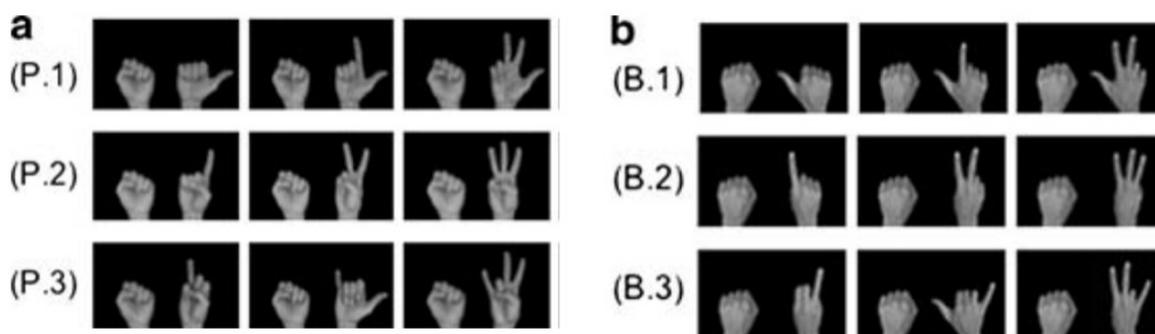


Figure 1. Configurations canoniques (1 et 2) versus configurations non canoniques (3) selon la paume de la main (P) ou du dos de la main (B) – Extrait de Di Lucas & Pesenti (2008)

3. Buts et hypothèses

L'objectif de ce mémoire est de déterminer l'importance des stratégies digitales dans l'acquisition des capacités numériques. Sont-elles seulement utiles dans le développement des habiletés numériques ou représentent-elles une étape fondamentale ?

L'hypothèse émise dans ce mémoire considère l'emploi des doigts comme utile au bon développement des compétences mathématiques. Cependant, nous pensons que si pour une raison quelconque un individu n'a pas recours aux stratégies digitales, cela ne nuira pas au bon développement des compétences mathématiques. Que ce soit à l'âge adulte ou chez l'enfant, le recours aux doigts est toujours présent dans notre culture européenne mais il diffère selon les populations et lieux de vie dans le monde. De plus, un enfant présentant des troubles sensoriels peut développer des compétences mathématiques sans pour autant avoir accès aux stratégies digitales. Ces idées amènent à penser que les doigts seraient un outil facilitant l'acquisition des capacités numériques mais non-obligatoire. Peut-on alors considérer qu'apprendre une liste de chiffres arabes par le biais de configurations canoniques de doigts serait plus aisé qu'en leur absence ? L'idée, ici-même, est d'observer également une facilitation de l'apprentissage lors de la présentation de configurations canoniques de doigts plutôt que des représentations non-symboliques comme des bâtons.

Les participants ont été répartis en deux groupes. En effet, cela nous permet de comparer l'apprentissage selon deux supports d'apprentissage différents. Dans le premier groupe, l'apprentissage s'est fait via des images de bâtons versus des images de mains avec des configurations de doigts dans le second.

Au regard de la littérature, nous nous attendons à ce que :

(1) l'apprentissage améliore la performance motrice (appuyer sur le bouton correspond au chiffre affiché) pour les 2 groupes

(2) le groupe apprenant via les mains est plus performant que le groupe apprenant via les bâtons.

Méthode

L'étude se faisant en partenariat avec le Centre National de la Recherche Scientifique, les démarches auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés et du Comité de Protection des Personnes ont déjà été effectuées.

1. Sujets

1.1. Recrutement

Le recrutement s'est fait dans un premier temps par le biais du bouche à oreille auprès de connaissances puis par le biais d'une annonce dans les lieux publics (clubs de sport, écoles, ...) et sur les réseaux sociaux (Facebook).

Les passations ont eu lieu à partir du mois d'octobre 2018 jusqu'au mois de février 2019. Les enfants ont été testés en fonction de leurs disponibilités, celles de leurs parents. L'expérience a eu lieu à leur domicile. Les sujets recrutés résident dans la région Occitanie.

1.2. Participants

Vingt enfants (dont 9 filles) âgés de 8 à 10 ans scolarisés en classe de CM1-CM2 ont souhaité participer à l'étude. Avant leur inclusion, les parents et enfants avaient tous donné leur consentement éclairé, avaient une vision normale ou corrigée. De plus, ils ignoraient les objectifs de l'étude. L'expérience était non invasive et a été menée conformément aux règles d'éthique.

Les participants ont été classés en deux groupes :

- le groupe « mains »
- le groupe « bâtons »

Le classement s'est fait selon l'alternance 1 participant dans le groupe « mains » – 1 participant dans le groupe « bâtons ».

Un numéro d'anonymat a été attribué à chaque sujet.

2. Dispositif

L'expérience a été réalisée à l'aide d'un ordinateur PC portable Dell équipé d'un écran et d'un microphone. Un programme E-prime personnalisé (Schneider et al., 2002), utilisé pour enregistrer et étudier des données comportementales, nous a permis de collecter et d'analyser les données de l'expérience (figure 2). La précision de la réponse a été évaluée par l'expérimentateur.



Figure 2. Dispositif de l'expérience : ordinateur et clavier E-prime

3. Consignes

Les consignes (Annexe_1), destinées au départ pour les adultes, ont été adaptées pour les enfants. Dans un premier temps, les participants devaient lire ces consignes en autonomie puis une explication orale était donnée. Dans un second temps, le consentement des participants et des parents a été recueilli.

4. Stimuli et procédures

Le protocole dure environ 1 heure. Il est composé de tâches motrices et verbales. Pour chaque participant, nous disposons d'un feuillet avec le formulaire de consentement de participation (Annexe_2), d'un questionnaire de latéralité (Annexe_3), d'un support pour la phase d'apprentissage de la séquence principale, une feuille concernant les habitudes de comptage et une feuille de rappel de la séquence apprise.

Le pré-test moteur, le post-test moteur (séquence principale et nouvelle séquence) et le 3x12key sont uniquement informatisés.

4.1. Questionnaire de latéralité manuelle

Afin de connaître la prévalence manuelle de nos participants, nous leur avons proposé le test d'Edinburgh (Oldfield, 1971) qui se présente sous forme de questionnaire. Les sujets ont répondu à dix questions correspondant à leurs habitudes d'utilisation de la main droite ou gauche au quotidien de type « quelle est votre main préférée pour vous brosser les dents ? ». Le sujet répond par « + » ou « ++ » si la préférence est forte.

Un quotient de latéralité est ensuite calculé à l'aide de la formule suivante : [(Nombre de préférences droites – nombres de préférences gauches) / nombre total de préférences] *100.

Ce calcul permet donc de déterminer la prévalence manuelle du sujet et l'intensité de celle-ci en obtenant un résultat compris entre -100 (préférence manuelle gauche très marquée) et +100 (préférence manuelle droite très marquée).

4.2. Pré-test moteur de la séquence principale

Lorsque le mot « Séquence » apparaît sur l'écran, le participant appuie sur n'importe quel bouton du boîtier pour commencer la série. Un chiffre apparaît au centre de l'écran, le participant appuie alors sur le bouton correspondant au chiffre affiché (figure 3). La séquence à réaliser est composée de 12 chiffres : 4-1-3-2-1-4-2-3-4-3-1-2. Celle-ci est répétée 10 fois.

Le temps de réponse des participants est enregistré au départ de la séquence pour chaque chiffre. Il était demandé au participant d'être le plus rapide possible sans faire d'erreur.

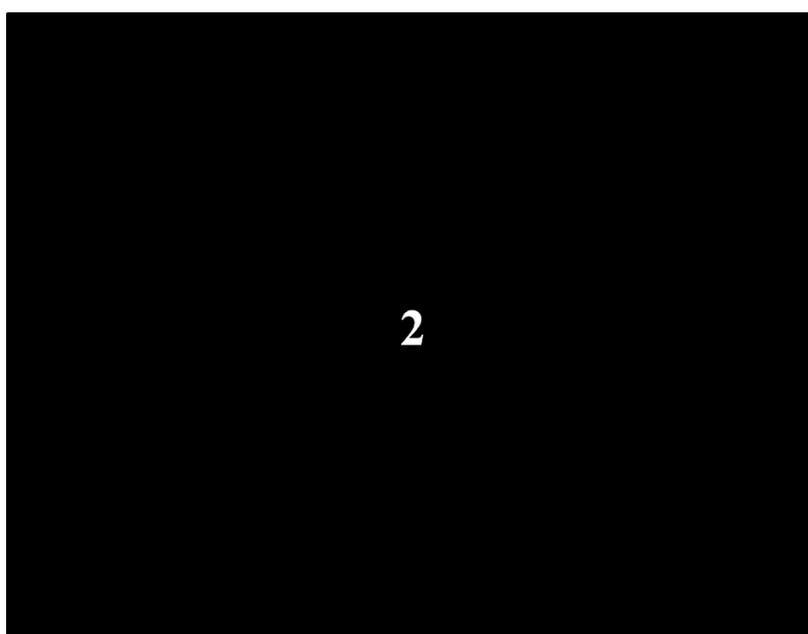


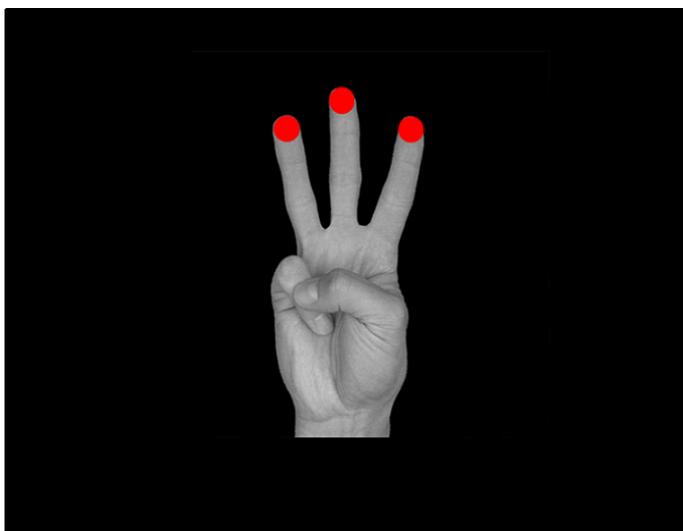
Figure 3. Écran type présenté lors pré-test moteur de la séquence principale

4.3. Apprentissage verbal de la séquence principale

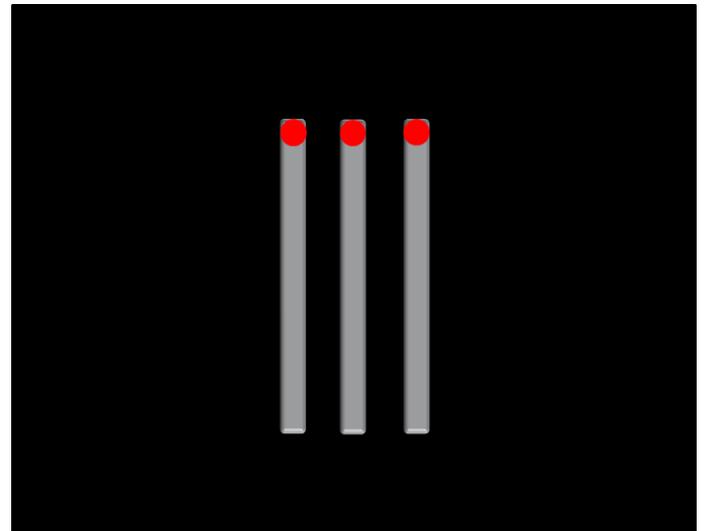
Selon leur groupe (« mains » ou « bâtons »), les enfants doivent énoncer, dans le microphone, le chiffre correspondant au nombre total de doigts ou au nombre de bâtons présents sur l'écran (figure 4 & 5). Dans cette étape, la séquence principale est la même que dans l'étape précédente soit : 4-1-3-2-1-4-2-3-4-3-1-2. Un bloc d'essai correspond à 10 présentations de la séquence ce qui correspond à 120 réponses verbales. Ici, les participants réalisent la tâche sur 4 blocs (480 présentations au total). L'ordre des chiffres présentés au sein de la séquence est toujours le même car le but est de retenir celle-ci.



Figure 4. Dispositif utilisé lors de la phase d'apprentissage verbal de la séquence principale pour le groupe « bâtons »



a)



b)

Figure 5. Écrans types présentés lors de la phase d'apprentissage verbal de la séquence principale respectivement groupe a) « mains » et groupe b) « bâtons »

4.4. Post-test moteur de la séquence

Pour ce rappel, le sujet réalise un bloc de 10 répétitions de la séquence principale. La réponse attendue est uniquement motrice (non-verbale) comme lors du pré-test moteur. Il s'agit également d'aller le plus vite possible sans faire d'erreur pour cette étape.

4.5. Post-test nouvelle séquence

Cette étape permet de vérifier que l'apprentissage n'est pas purement moteur. La tâche est la même que la précédente mais la séquence diffère : 2-4-1-3-2-1-4-2-3-4-3-1. Le sujet réalise un bloc de dix répétitions de cette nouvelle séquence non apprise. Les résultats

obtenus permettront de différencier si l'amélioration du post-test de la séquence principale est réellement due à un effet d'apprentissage verbal ou si cela n'est qu'un phénomène d'habituation motrice.

4.6. Test-counting sur feuille (Annexe_4)

Il s'agit d'une interrogation concernant leurs habitudes personnelles de comptage digital. Les participants montrent leurs habitudes de comptage jusqu'à dix sur leurs doigts comme ils ont l'habitude de faire puis ils comptent jusqu'à dix, également sur leurs doigts, mais cette fois-ci de la même manière que lorsqu'ils montrent à quelqu'un (paumes de main tournées vers l'expérimentateur).

4.7. 3x12 key

Sur un écran affichant la photographie des quatre boutons du boîtier (figure 6), les participants avaient trois essais pour rappeler explicitement via les boutons du clavier, la séquence principale apprise verbalement. Cette phase permet d'évaluer l'apprentissage implicite.

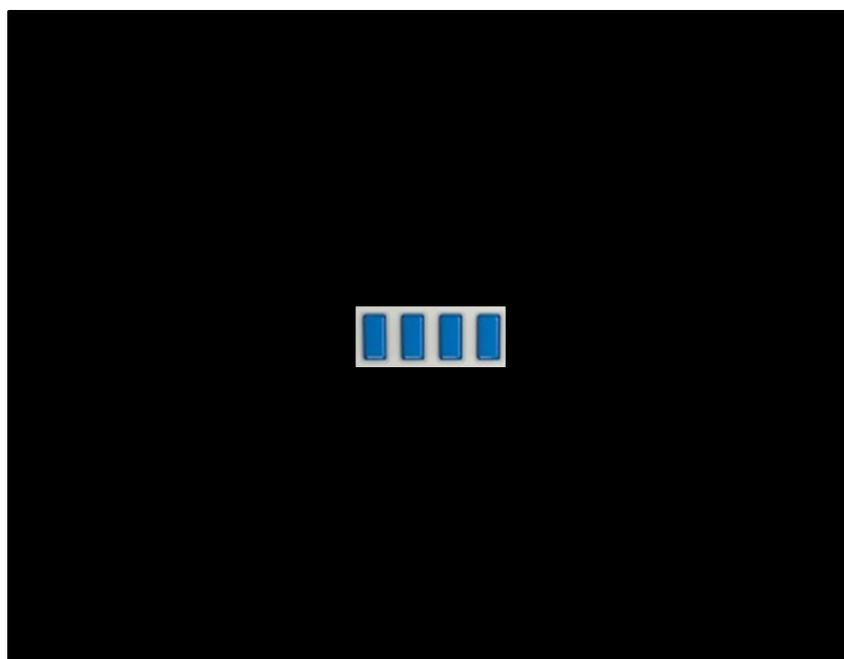


Figure 6. Écran type présenté lors du 3x12 key

4.8. Feuille conscience (Annexe_5)

Les sujets rappellent explicitement la séquence principale sur une feuille en cochant le carré correspondant au bouton du boîtier. Lorsqu'ils ne s'en rappelaient pas instantanément, nous n'avons pas insisté afin que le rappel soit spontané.

4.9. Analyses statistiques

Afin de comparer la progression des groupes, en termes de vitesse de traitement et de taux d'erreurs, entre le pré-test et le post-test, des comparaisons de moyennes pour échantillons appariés ont été réalisées. Ensuite, afin de comparer la progression et le taux d'erreurs propres à chaque groupe, une ANOVA 2 groupes (mains versus bâtons) x 2 entraînements (pré et post) avec mesures répétées a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (IBM, 2017).

Résultats

1. Analyse générale

Sur les 20 sujets ayant participé à l'expérience, 19 étaient droitiers et 1 était gaucher. Sur l'ensemble de ces participants, 7 ont obtenu des résultats incohérents. En effet, 1 enfant ne semble pas avoir compris la tâche et les 6 autres participants (2 dans le groupe « mains », 4 dans le groupe « bâtons ») ont obtenu des temps de réponse plus élevés lors du post-test par rapport au pré-test. Il a donc été décidé de les retirer des analyses qui suivent.

1.1. Temps de réponse

Concernant les temps de réponse des sujets du groupe « mains » ($N = 7$), nous obtenons une moyenne de 1036 ms ($ET = 124$ ms) en pré-test et de 913 ms ($ET = 107$ ms) en post-test. Ils se sont donc améliorés de 123 ms en moyenne après la phase d'apprentissage. La comparaison de moyennes pour échantillons appariés met en évidence une amélioration significative ($t(6) = 8.908$; $p < .001$).

Pour les participants du groupe « bâtons », la moyenne des temps de réponse est égale à 1191 ms ($ET = 255$ ms) en pré-test et 1045 ms ($ET = 242$ ms) en post-test. Ils se sont donc améliorés de 146 ms en moyenne après la phase d'apprentissage. La comparaison de moyennes pour échantillons appariés met en évidence une amélioration significative ($t(5) = 6.018$; $p = .002$).

En ce qui concerne la comparaison de cette évolution du temps de réponse (pré versus post-test) en regard des groupes d'entraînement (« mains » versus « bâtons »), l'ANOVA 2 X 2 met en évidence l'effet décrit ci-dessus, à savoir une amélioration entre le pré et le post test ($F(1,11) = 100.258$; $p < .001$) comme le montre la figure 7 ci-dessous. Cependant, cette amélioration n'est pas liée à la spécificité de l'entraînement car nous n'observons pas de différence d'amélioration entre les deux groupes (i.e., pas d'effet de groupe, $F(1,11) = 1.895$; $p = .196$), ni d'interaction (groupe X entraînement ; $p = .415$).

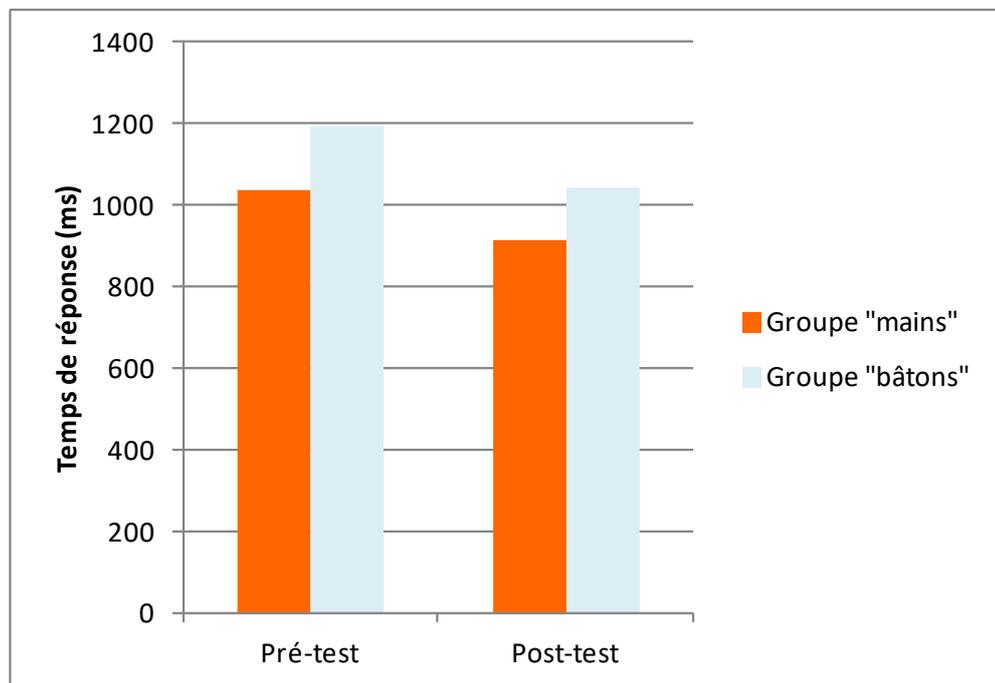


Figure 7 : Comparaison du temps de réponse entre les groupes « mains » et « bâtons » en pré et post-test

1.2. Nombre d'erreurs

Les sujets du groupe « mains » font en moyenne 12 erreurs en pré-test (ET = 5) contre 9 en post-test (ET = 6), soit 3 erreurs de moins.

Concernant les participants du groupe « bâtons », la moyenne des erreurs est de 11 en pré-test (ET = 10) et 8 en post-test (ET = 6) soit une différence de 3 erreurs.

Si les deux groupes ont diminué leurs nombres d'erreurs suite à l'apprentissage, cette amélioration est significative uniquement dans le groupe « mains » ($p = .009$). En effet, la comparaison de moyennes pour échantillons appariés n'a pas permis de mettre en évidence d'amélioration significative pour le groupe « bâtons » ($p = .259$). Ces résultats sont visibles sur la figure 8.

Concernant la comparaison de cette évolution en termes de nombre d'erreurs (pré-test versus post-test) en regard des groupes d'entraînement (« mains » versus « bâtons »), l'ANOVA 2 X 2 ne met en évidence aucune différence significative.

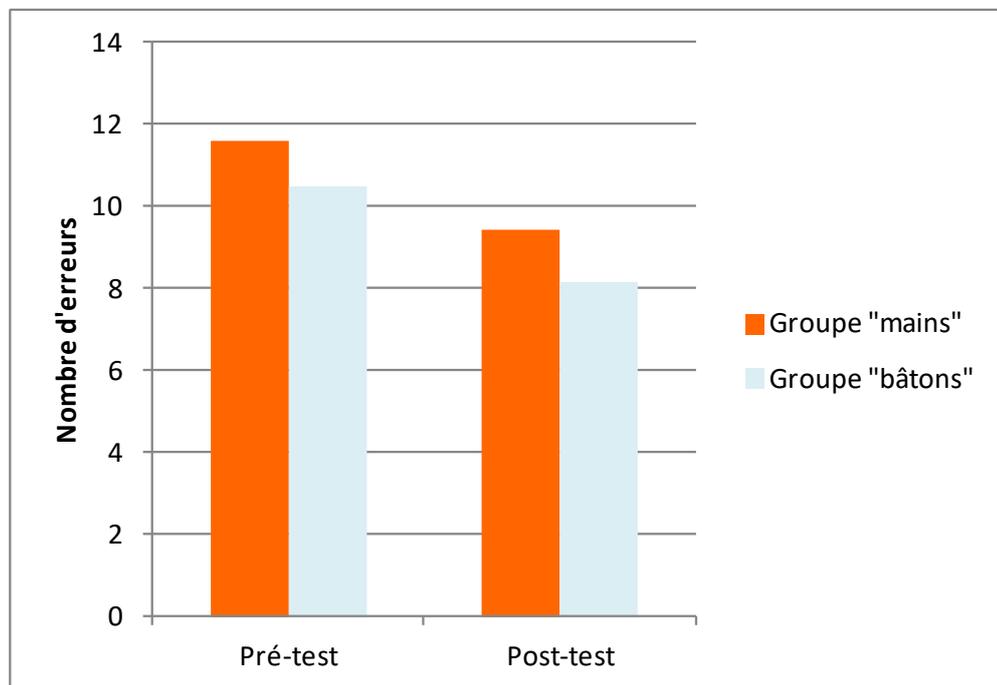


Figure 8 : Comparaison du nombre d'erreurs entre les groupes « mains » et « bâtons » en pré et post-test

Nous avons également effectué une analyse statistique en prenant en compte les facteurs de latéralité, de rappel implicite (3x12 key) et rappel explicite (feuille conscience). Ces variables n'ont aucun impact sur les résultats décrits précédemment.

2. Analyse du post-test de la nouvelle séquence

Nous souhaitons comparer le post-test de la séquence principale (séquence apprise précédemment) avec le post-test d'une nouvelle séquence afin de vérifier que l'éventuelle amélioration ne soit pas simplement due à une habitude motrice.

2.1. Temps de réponse

Lorsque nous nous intéressons aux temps de réponse des sujets du groupe « mains » (N = 7) au post-test de la nouvelle séquence, nous obtenons une moyenne de 1030 ms (ET = 144 ms) versus 913 ms (ET = 107 ms) en post-test de la séquence principale. Les participants augmentent donc leur temps de réponse de 117 ms lorsque la séquence est nouvelle.

Concernant les sujets du groupe « bâtons », la moyenne des temps de réponse équivaut à 1185 ms (ET = 282 ms) au post-test de la nouvelle séquence versus 1045 ms (ET = 242 ms) lors de la séquence principale. Le temps de réponse est alors significativement plus long de 140 ms en moyenne.

En ce qui concerne la comparaison de cette augmentation du temps de réponse (séquence principale versus nouvelle séquence) en regard des groupes d'entraînement (« mains » versus « bâtons »), l'ANOVA 2 X 2 met en évidence l'effet décrit ci-dessus, à savoir un temps de réponse plus important entre la séquence principale et la nouvelle séquence ($F(1,11) = 18,78 ; p = .001$). Les participants sont donc significativement plus

longs sur la nouvelle séquence (figure 9). Cependant, cette amélioration n'est pas liée à la spécificité de l'entraînement car nous n'observons pas de différence d'amélioration entre les deux groupes (i.e., pas d'effet de groupe, $F(1,11) = 1.773$; $p = .210$, ni d'interaction (groupe X entraînement ; $p = .711$).

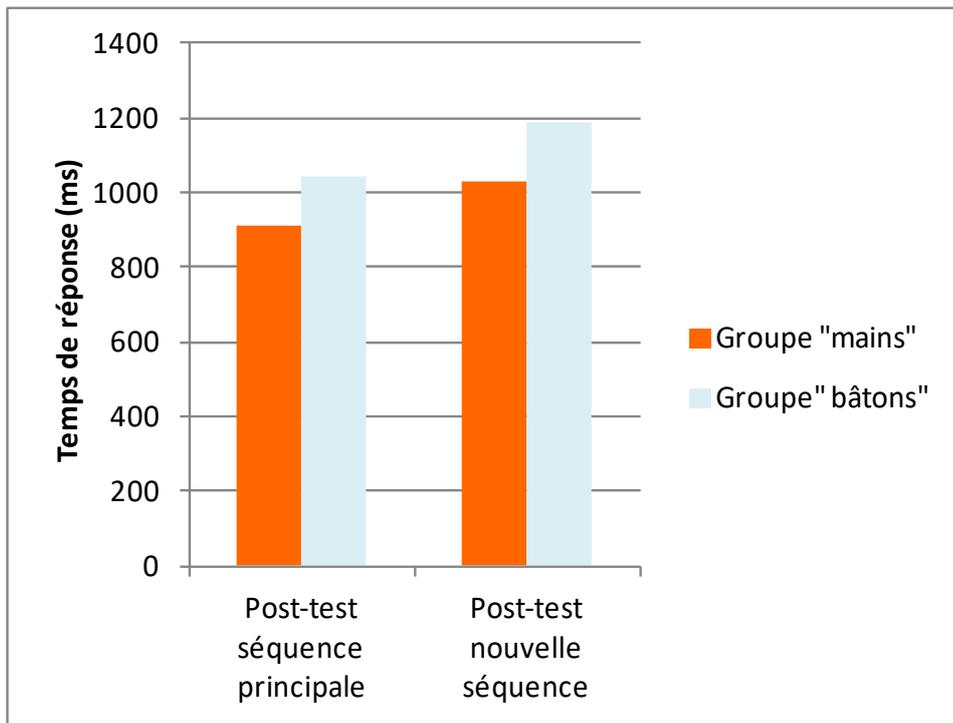


Figure 9 : Comparaison entre le post-test de la séquence principale et le post-test de la nouvelle séquence

2.2. Nombre d'erreurs

Intéressons-nous désormais au nombre d'erreurs. Les sujets du groupe « mains » font en moyenne 7 erreurs lors de la nouvelle séquence (ET = 3,64) contre 9 en post-test (ET = 6), soit 2 erreurs de moins.

Concernant les participants du groupe « bâtons », la moyenne des erreurs est de 6 pour la nouvelle séquence (ET = 1,97) et 8 pour la séquence principale (ET = 6) soit une différence de 2 erreurs. Nous observons un nombre d'erreurs moins important lors de la nouvelle séquence. Toutefois cette amélioration, représentée sur la figure 10, n'est pas significative $F(1,11) = 1,94$; $p = .191$.

Concernant la comparaison de cette évolution en terme de nombre d'erreurs (séquence principale versus nouvelle séquence) en regard des groupes d'entraînement (« mains » versus « bâtons »), l'ANOVA 2 X 2 ne met en évidence aucune différence significative entre les deux groupes (i.e., pas d'effet de groupe, $F(1,11) = .267$; $p = .616$, ni d'interaction (groupe X entraînement) ; $p = .916$).

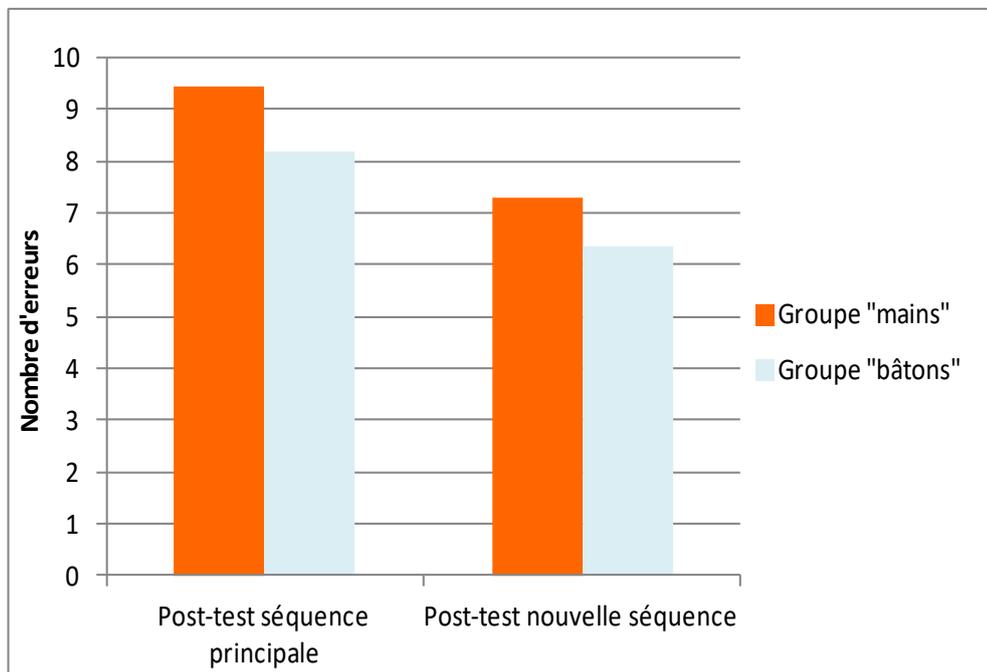


Figure 10 : Comparaison du nombre d'erreurs entre le post-test de la séquence principale et le post-test de la nouvelle séquence

En résumé, le post-test de la nouvelle séquence montre une différence significative entre le post-test de la séquence principale et le post-test de la nouvelle séquence seulement en ce qui concerne le temps de réponse pour les 2 groupes (« mains » et « bâtons »).

Discussion

Notre étude porte sur l'importance de l'utilisation des doigts dans l'acquisition des mathématiques. Nous avons cherché à montrer l'existence d'un apprentissage mathématique plus aisé si des représentations digitales étaient utilisées. Pour cela, nous avons opposé un apprentissage via des configurations de doigts versus un apprentissage via des bâtons. Nous avons supposé que les sujets auraient de meilleures performances lorsqu'ils apprenaient la séquence de chiffres par le biais de configurations de doigts.

Nos résultats révèlent une amélioration significative en ce qui concerne le temps de réponse pour les 2 groupes (« mains » et « bâtons »), ce qui montrent que les participants ont bien amélioré leurs performances au fil des apprentissages. Cependant, aucune différence significative n'est retrouvée entre les 2 groupes.

Par rapport au nombre d'erreurs, si l'amélioration est significative uniquement pour le groupe « mains », la différence entre les 2 groupes n'est néanmoins pas significative.

Les résultats de la présente étude ne nous permettent donc pas de conclure à un avantage des doigts comme support à privilégier dans ce type d'apprentissage.

1. Interprétation des résultats en lien avec les hypothèses de recherche

1.1. Performance similaire entre les 2 groupes : « mains » versus « bâtons »

La majorité des études neurocognitives sur la pertinence des doigts pour le développement des habiletés numériques sont encadrées théoriquement par des approches intégrées de la cognition et considèrent l'implication du système sensorimoteur du doigt dans le traitement des nombres comme un aspect de l'intégration des mathématiques (Roesch & Moeller, 2012). De plus, Di Luca, Granà, Semenza, Seron et Pesenti (2006) ont observé que les configurations canoniques sont mieux reconnues que les représentations non-conventionnelles chez l'adulte. Elles seraient même traitées comme des chiffres arabes.

Pour rendre compte de ces pensées, nous avons opposé, dans notre protocole expérimental, une condition « mains » et une condition « bâtons ». Dans cette expérience, pour rendre compte que les doigts sont un support plus aisé que les bâtons, nous aurions dû constater de meilleures performances générales pour le groupe « mains ». Cependant, les résultats de notre étude ne concordent pas intégralement avec cette idée. En effet, même si les performances de temps de réponse sont meilleures au post-test qu'au pré-test, elles ne sont pas significativement différentes entre les 2 groupes (« mains » et « bâtons »). Il en est de même pour le nombre d'erreurs où la différence entre ces 2 groupes n'est également pas significative. Cela insinue que les sujets du groupe « mains » n'auraient pas mieux appris que les sujets du groupe « bâtons ». Nos résultats suggèrent donc que les configurations de doigts ne permettent pas un meilleur apprentissage que les bâtons. Cet effet observé peut s'expliquer par un échantillon avec un nombre de sujets peu important (13 sujets au total) mais il y a toutefois peu de chance que ces résultats changent même si l'on augmente la taille de l'échantillon. En effet, selon Fuson et al. (1982), les stratégies de comptage digital apparaissent chez l'enfant entre 2 et 6 ans via l'observation et l'imitation de ses pairs. De plus, Baroody (1987) décrit le développement des stratégies de calcul : les enfants comptent tout d'abord tous les éléments un à un. Par la suite, ils mettent en place des stratégies de calcul telles que représenter le plus grand (ou le premier) des ensembles avec leurs doigts ou lors de petits calculs. Ensuite, ils arrivent à représenter directement sur les doigts les 2 quantités qu'ils souhaitent additionner lorsque la somme est inférieure à 10. Enfin, ils finissent par reconnaître les différentes configurations digitales. Dans notre étude, nous avons choisi des enfants scolarisés en classe de CM1-CM2, c'est-à-dire âgés de 8 à 10 ans. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les configurations de doigts ont été apprises il y a peu, elles ne sont alors peut être pas assez automatisées. Les sujets peuvent alors être autant familiers avec les configurations digitales qu'avec les bâtons.

De plus, certains sujets ont été retirés de l'étude du fait de résultats incohérents. En effet, leur temps de réponse au post-test de la séquence principale était supérieur au temps de réponse du pré-test. Cependant, lorsque nous nous intéressons à leur résultat au 3x12 key (rappel implicite) et à la phase de la feuille conscience (rappel explicite), la séquence des 12 chiffres est connue par cœur. Nous pouvons alors penser que la consigne donnée au post-test

de la séquence principale (aller le plus vite possible en faisant le moins d'erreurs) n'a pas été respectée. Nous pouvons supposer qu'ils ont effectué cette phase en essayant de reproduire la séquence à partir de leurs souvenirs malgré l'affichage des nombres de la séquence sur l'écran. Cela aurait alors un impact sur leur performance moins bonne lors du post-test.

En outre, un autre effet est à prendre en compte dans cette étude. Lorsque nous observons les images de bâtons et de mains présentes dans le protocole expérimental, nous remarquons que l'analyse visuelle en est différente. En effet, les mains sont représentées en détails avec la présence de tous les doigts (certains sont pliés) ainsi que tous les plis de la peau. Les bâtons eux, sont simplement représentés par une ligne verticale. Les représentations digitales pourraient alors s'avérer plus distrayantes, à cause de la complexité visuelle et cela pourrait alors avoir un impact sur le temps de traitement de l'information. Néanmoins, la présence de points rouges sur chacune de ces représentations permettrait de se concentrer seulement sur la quantité souhaitée.

Somme toute, Thevenot (2014) dans son étude conclut que les doigts ont plutôt un rôle utile dans la cognition mathématique et non une nécessité développementale. En effet, elle s'est intéressée aux enfants hémipariétiques. Elle a remarqué que ces enfants utilisaient moins spontanément leurs doigts que les enfants sains. De plus, elle n'a observé aucune différence significative entre ces deux groupes lorsque ces enfants devaient effectuer la comparaison de quantités non-symboliques. Toutefois, elle relève que les enfants présentant une hémipariété étaient plus lents pour comparer 2 quantités présentées en chiffres arabes. Elle en a conclu que pour les enfants hémipariétiques les quantités symboliques apparaissent alors plus difficiles à traiter que les quantités non-symboliques. Nicoladis & al. (2010) ont également des résultats en ce sens dans leur étude. Ils ont demandé à des enfants de ranger une certaine quantité de jouets qui était présentée soit oralement (code verbal oral) soit avec les doigts (code symbolique). La précision était meilleure lorsque la quantité était présentée oralement. Ces études mettent en avant un rôle des doigts qui peuvent se révéler utiles mais pas toujours nécessaires.

C'est ce que notre étude laisse également supposer. Effectivement, les enfants améliorent tous leurs performances générales que ce soit en temps de réponse ou en nombre d'erreurs qu'ils soient dans le groupe « mains » ou dans le groupe « bâtons ». Cela montre bien que les enfants peuvent se servir de leurs doigts pour les activités mathématiques mais ils peuvent également y parvenir sans y avoir recours. C'est également ce qu'observent Spaepen, Coppola, Flaherty, Spleke, Carey et Goldin-Meadow (2011) dans leur étude auprès d'une population d'enfants atteints de surdité n'ayant jamais appris le comptage digital. Ils relèvent que les doigts ne sont alors pas utilisés dans le dénombrement, ni comme support pour la réalisation des opérations. Il en est de même pour les enfants atteints de cécité qui n'utilisent pas spontanément le comptage digital (Crollen, Mahe, Collignon & Seron, 2011). En effet, Crollen et collaborateurs (2011) ont mis en évidence chez ces enfants des performances tout à fait comparables aux personnes voyantes, alors qu'ils n'ont jamais recours aux doigts comme support au comptage.

1.2. Absence d'effet du post-test de la nouvelle séquence

Les résultats de notre étude suggèrent une amélioration significative des temps de réponse ainsi que du nombre d'erreurs pour les 2 groupes (« mains » et « bâtons »). Nous avons souhaité vérifier que cette amélioration ne puisse s'expliquer par un effet d'habituation motrice. Pour cela, nous avons comparé les résultats du post-test de la séquence principale avec ceux du post-test de la nouvelle séquence.

Les temps de réponse augmentent significativement pour les 2 groupes lorsqu'il s'agit de la nouvelle séquence. A l'inverse, le nombre d'erreurs n'est pas significativement différent pour les deux séquences (principale et nouvelle). De plus, pour ces 2 critères (temps de réponse et nombre d'erreurs) aucune différence significative n'est observée entre le groupe « mains » et le groupe « bâtons ». Ces données ne nous permettent donc pas de savoir si l'amélioration constatée entre le pré-test et le post-test de la séquence principale est réellement due à la phase d'apprentissage verbal. Toutefois, nous avons remarqué que la taille du boîtier E-prime n'était pas toujours adaptée aux mains des enfants. En effet, certains participants ne pouvaient positionner correctement leurs doigts sur chaque bouton ce qui a pu influencer sur le temps de réponse.

Toutefois, selon le résultat de notre étude, il n'est pas exclu que l'utilisation des doigts peut s'avérer être un support cohérent à proposer aux enfants lors d'activités numériques afin d'encourager et soutenir le développement des compétences mathématiques. Néanmoins, cette étude n'a pas permis de fournir d'indices permettant de mettre en exergue le rôle des doigts. Cependant, Goldin-Meadow, Levine, et Jacobs (2014) conseillent tout de même leur emploi. En effet, ils seraient une aide au début de la scolarité et permettraient de prédire les compétences futures dans le domaine des mathématiques. Ils observent également au cours du développement que des stratégies plus efficaces remplaceraient le recours aux doigts, excepté pour les enfants présentant des difficultés.

2. Limites de l'étude

2.1. Population

L'étude devait être composée d'un échantillon de minimum 20 sujets soit 10 par groupes (« mains » et « bâtons »). Cependant, celui-ci a dû être réduit lors des analyses statistiques car certains sujets ont obtenu des temps de réponse incohérents. En outre, le recrutement des participants a été limité car les établissements scolaires n'ont pas accepté notre présence, dû à un temps expérimental individuel estimé trop long. Au total, nous avons pu analyser les résultats sur un échantillon total de 13 sujets (7 dans le groupe « mains », 6 dans le groupe « bâtons »). De plus, ce recrutement s'est effectué dans un temps limité. Les passations devaient débuter durant l'été 2018 mais elles n'ont pu commencer qu'à partir du mois de septembre. En effet, le matériel ne fonctionnait pas correctement, un nouveau microphone ainsi qu'un boîtier Chronos ont dû être achetés pour remplacer l'ancien matériel. Tout cela a considérablement réduit le temps expérimental, et a donc conduit à une diminution de la taille de l'échantillon.

2.2. Limite des tests

2.2.1. Limite matérielle

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi le logiciel E-prime installé sur un ordinateur associé à un boîtier. Ce boîtier est utilisé généralement dans les études avec des participants adultes. Sa taille est donc considérable. Les enfants ne pouvaient alors pas toujours positionner leurs doigts correctement (index, majeur, annulaire et auriculaire) et ainsi appuyer sur les boutons de manière fluide selon la taille de leur main.

2.2.2. Limite des conditions de passation

Les passations se faisaient au domicile des participants. Les conditions n'étaient parfois pas optimales avec du bruit dans les alentours ou encore des membres de la famille curieux.

De plus, le test avait une durée d'environ 40 minutes mais pouvait durer 1 heure selon les enfants. Ce temps pouvait s'avérer long au niveau attentionnel pour des enfants âgés de 8 à 10 ans. Il était alors parfois difficile de maintenir leur attention sans interruption, plus particulièrement sur la tâche d'apprentissage verbal qui est constitué de 4 fois 10 blocs de la série de 12 chiffres soit 40 réponses verbales.

2.2.3. Limite des épreuves

La tâche de l'apprentissage verbal via des configurations de doigts ou des bâtons était assez longue avec de nombreuses répétitions pour permettre aux sujets de retenir cette séquence de 12 chiffres. Cependant, malgré la répétitivité de la tâche, de nombreux enfants n'ont pas pu retenir cette série de chiffres ou n'ont pu en mémoriser qu'une partie, généralement le début et/ou la fin (effets de primauté et de récence). Pour des enfants de cette tranche d'âge (8 à 10 ans), il aurait peut-être fallu choisir une séquence de chiffres moins longue.

3. Implication clinique

Dans la pratique clinique, les enseignants et les orthophonistes peuvent souvent rencontrer des enfants présentant des difficultés mathématiques que ce soit un simple retard ou un trouble spécifique de la cognition mathématique. Quels outils ces professionnels peuvent-ils mettre en place afin d'apporter leur aide à ces enfants ? Cette étude avait pour but de déterminer le rôle que peuvent jouer les doigts dans les acquisitions arithmétiques. Il en ressort que les doigts peuvent être un support fonctionnel à présenter mais il ne conviendra peut-être pas pour tous. En effet, certains enfants les utiliseront de manière naturelle et d'autres préféreront utiliser d'autres supports plus concrets, comme les enfants présentant une hémiplégié qui sont plus performants lorsqu'il s'agit d'un code non-symbolique.

En revanche, il serait intéressant d'approfondir ces recherches sur un plus grand échantillon d'enfants présentant un trouble de la cognition mathématique. Cela permettrait de confirmer ou infirmer les résultats obtenus dans notre étude. En effet, si les résultats obtenus avec les enfants présentant des difficultés sont semblables à ceux obtenus dans notre étude,

cela confirmera que les doigts ne sont pas nécessaires dans l'apprentissage des mathématiques. En revanche, si les résultats montrent une différence significative entre les deux types d'apprentissage (« mains » versus « bâtons »), cela mettra en évidence que les doigts peuvent être un réel support d'aide pour ces enfants en difficultés. Les enseignants et les professionnels gravitant autour de l'enfant pourront alors lui proposer ce support.

Conclusion

La littérature ne faisant pas consensus en ce qui concerne le rôle des doigts dans les apprentissages mathématiques, notre étude avait pour objectif d'apporter des informations supplémentaires à la recherche au sujet de l'importance de l'utilisation des doigts dans les acquisitions des habiletés numériques. Le but de notre protocole expérimental était de montrer l'efficacité des stratégies digitales dans l'apprentissage d'une série de chiffres.

Pour cela, nous avons constitué 2 groupes afin de comparer 2 supports d'apprentissage différents. Nous avons alors choisi de comparer un apprentissage d'une séquence de chiffres via des configurations digitales versus des bâtons. Afin de pouvoir comparer ces 2 types d'apprentissages, nous avons comparé les étapes du pré-test et du post-test (tâches motrices) en termes de temps de réponse et de nombre d'erreurs. De plus, afin de vérifier que l'amélioration post-apprentissage ne s'explique pas par une habitude motrice, nous avons souhaité intégrer un post-test avec une nouvelle séquence afin de nous assurer que les résultats obtenus n'étaient pas dus à une simple habitude motrice. Des évaluations implicite (rappel moteur de la séquence de chiffres via le boîtier E-prime) et explicite (rappel de la séquence sur feuille) ont également été proposées

Les résultats ont mis en avant une amélioration significative entre le pré-test et le post-test pour les temps de réponse et le nombre d'erreurs dans chacun des groupes. Cependant, nous n'avons observé aucune différence significative entre les 2 groupes (« mains » et « bâtons »). Cela ne permet donc pas de mettre en avant un meilleur apprentissage avec un support digital par rapport aux bâtons.

Toutefois, cette étude ne permet pas d'exclure l'idée que les doigts peuvent être un support adapté à proposer aux enfants dans le but de soutenir le développement des habiletés numériques. En effet, selon Gelman et Gallistel (1983), l'émergence de routines de comptage est favorisée par la position fixe des doigts sur la main, permettant ainsi de relier les doigts aux objets dans un ordre séquentiel et stable.

De plus, Jordan et al. (2008) considèrent que la connaissance du comptage digital permet aux enfants l'apprentissage de résolution de problèmes arithmétiques. Selon eux, les enfants utilisant les stratégies digitales mémorisent mieux les faits arithmétiques de base.

Il serait donc intéressant de poursuivre ces recherches notamment sur des participants présentant des difficultés en mathématiques. Cela pourrait permettre d'observer s'ils se saisissent de cet outil pour combler leurs difficultés.

Bibliographie

- Andres, M., & Pesenti, M. (2015). Finger-based representation of mental arithmetic. Dans R. Kadosh, et A. Dowker (dir.), *The oxford handbooks of numerical cognition* (1e ed., vol. 1, p.67-83). New-York, United States of America : Oxford University Press.
- Andres, M., Luca, S. D., & Pesenti, M. (2008). Finger counting: The missing tool? *Behavioral and Brain Sciences*, 31(6), 642-643. <https://doi.org/10.1017/S0140525X08005578>
- Baroody, A. J. (1987). *Children's mathematical thinking: A developmental framework for preschool, primary, and special education teachers*. New York, NY, US: Teachers College Press
- Berteletti, I., & Booth, J. R. (2015). Perceiving fingers in single-digit arithmetic problems. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00226>
- Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. London: Macmillan.
- Campbell, W., & W., Dejong (2005). *Dejong's the neurologic examination*. Lippincott, Williams & Wilkins.
- Crollen, V., Mahe, R., Collignon, O., & Seron, X. (2011). The role of vision in the development of finger-number interactions : Finger-counting and finger-montring in blind children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(4), 525-539. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.03.011>
- Di Luca, S., Granà, A., Semenza, C., Seron, X., & Pesenti, M. (2006). Finger-digit compatibility in Arabic numeral processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 59(9), 1648-1663. <https://doi.org/10.1080/17470210500256839>
- Di Luca, S., Lefèvre, N., & Pesenti, M. (2010). Place and summation coding for canonical and non-canonical finger numeral representations. *Cognition*, 117(1), 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.06.008>
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2011). Finger Numeral Representations : More than Just Another Symbolic Code. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00272>
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Experimental Brain Research*, 185(1), 27-39. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1132-8>
- Domahs, F., Krinzinger, H., & Willmes, K. (2008). Mind the gap between both hands: evidence for internal finger-based number representations in children's mental calculation. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 44(4), 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.001>
- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. C. (2010). Embodied numerosity: implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, 116(2), 251-266. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.05.007>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>

- Fayol, M., (2013). *Que sais-je : L'acquisition du nombre* (2e ed.). Paris, France : Presses universitaires de France.
- Fayol, M., & Thevenot, C. (2012). The use of procedural knowledge in simple addition and subtraction problems. *Cognition*, 123(3), 392-403. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.02.008>
- Fayol, M. (1998). Apprendre : Éléments pour une approche cognitive. *Recherche & formation*, 27(1), 41-50. <https://doi.org/10.3406/refor.1998.1473>
- Fuson K.C., Richards J. & Briars D.J. (1982). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. Dans Brainerd C.J. (eds) *Children's Logical and Mathematical Cognition*. Springer Series in Cognitive Development. Springer, New York, NY.
- Gelman, R. et Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. University Press, Cambridge, MA: Harvard.
- Goldin-Meadow, S., Levine., & Jacobs, S. (2014). Gesture's role in learning arithmetic. In Edwards, L., Ferrara, F., & Moore-Russo, D. (eds). *Emerging perspectives on gesture and embodiment in mathematics*. Charlotte, NC.
- Gordon, P. (2004). Numerical cognition without words: evidence from Amazonia. *Science (New York, N.Y.)*, 306(5695), 496-499. <https://doi.org/10.1126/science.1094492>
- Guedin, N., Thevenot, C., & Fayol, M. (2017). Des doigts et des nombres. *Psychologie Française*. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2017.07.001>
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668. <https://doi.org/10.1038/nature07246>
- Hornung, C., Martin, R., & Fayol, M. (2017). General and Specific Contributions of RAN to Reading and Arithmetic Fluency in First Graders: A Longitudinal Latent Variable Approach. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01746>
- IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Ifrah, G. (1981). *Histoire universelle des chiffres*. Paris : Robert Laffont.
- Jordan, N. C., Glutting, J., & Ramineni, C. (2010). The Importance of Number Sense to Mathematics Achievement in First and Third Grades. *Learning and individual differences*, 20(2), 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.07.004>
- Kaufmann, L., Vogel, S. E., Wood, G., Kremser, C., Schocke, M., Zimmerhackl, L.-B., & Koten, J. W. (2008). A developmental fMRI study of nonsymbolic numerical and spatial processing. *Cortex*, 44(4), 376-385. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.003>
- Krinzinger, H., Koten, J. W., Horoufchin, H., Kohn, N., Arndt, D., Sahr, K., ... Willmes, K. (2011). The Role of Finger Representations and Saccades for Number Processing: An fMRI Study in Children. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00373>
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense. Large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14(5), 396-401. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01453>

- Lucidi, A., & Thevenot, C. (2014). Do not count on me to imagine how I act: Behavior contradicts questionnaire responses in the assessment of finger counting habits. *Behavior Research Methods*, 46(4), 1079-1087. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0447-1>
- Marinthe, C., Fayol, M., & Barrouillet, P. (2001). Gnosies digitales et développement des performances arithmétiques. Dans A. Van Hout, C. Meljac & J. P. Fischer (éds), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 239 –254). Paris, France: Masson.
- Michaux, N., Masson, N., Pesenti, M., & Andres, M. (2013). Selective interference of finger movements on basic addition and subtraction problem solving. *Experimental Psychology*, 60(3), 197-205. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000188>
- Newman, S. D. (2016). Does finger sense predict addition performance? *Cognitive Processing*, 17(2), 139-146. <https://doi.org/10.1007/s10339-016-0756-7>
- Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers? *Cognitive Development*, 25, 247-261. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2010.04.001>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Roesch, S., & Moeller, K. (2015). Considering digits in a current model of numerical development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01062>
- Roux, F. E., Boetto, S., Sacko, O., Chollet, F., & Trémoulet, M. (2003). Writing, calculating, and finger recognition in the region of the angular gyrus: a cortical stimulation study of Gerstmann syndrome. *Journal of Neurosurgery*, 99(4), 716-727. <https://doi.org/10.3171/jns.2003.99.4.0716>
- Rusconi, E., Pinel, P., Dehaene, S., & Kleinschmidt, A. (2010). The enigma of Gerstmann's syndrome revisited: A telling tale of the vicissitudes of neuropsychology. *Brain: A Journal of Neurology*, 133(Pt 2), 320-332. <https://doi.org/10.1093/brain/awp281>
- Rusconi, E., Walsh, V., & Butterworth, B. (2005). Dexterity with numbers: rTMS over left angular gyrus disrupts finger gnosis and number processing. *Neuropsychologia*, 43(11), 1609-1624. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.01.009>
- Sato, M., Cattaneo, L., Rizzolatti, G. & Gallese, V. (2007). Number within our hands: Modulation of corticospinal excitability of hand muscles during numerical judgment. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Massachusetts Institute of Technology Press (MIT Press), 19 (4), pp.684-93.
- Schneider, H., Pryer, K., Cranfill, R., R Smith, A., & Wolf, P. (2014, décembre 10). *Schneider et al.2002.chapter*.
- Spaepen, E., Coppola, M., Flaherty, M., Spelke, E., & Goldin-Meadow, S. (2013). Generating a lexicon without a language model : Do words for number count? *Journal of memory and language*, 69(4). <https://doi.org/10.1016/j.jml.2013.05.004>
- Spaepen, E., Coppola, M., Spelke, E. S., Carey, S. E., & Goldin-Meadow, S. (2011). Number without a language model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(8), 3163-3168. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015975108>

- Thevenot, C. (2014). La relation entre doigts et nombres : que peuvent nous apprendre les enfants présentant une hémiplégié? *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 128.
- Tschentscher, N., Hauk, O., Fischer, M. H., & Pulvermüller, F. (2012). You can count on the motor cortex: Finger counting habits modulate motor cortex activation evoked by numbers. *Neuroimage*, 59-318(4-12), 3139-3148. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.037>
- Wiese, H. (2003). Numbers, Language, and the Human Mind. *Numbers, Language, and the Human Mind*, 1-346. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511486562>
- Williams, B. P., & Williams, R. S. (1995). Finger Numbers in the Greco-Roman World and the Early Middle Ages. *Isis*, 86(4), 587-608. <https://doi.org/10.1086/357319>
- Wood, J. N., & Spelke, E. S. (2005). Infants' enumeration of actions: numerical discrimination and its signature limits. *Developmental Science*, 8(2), 173-181. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00404.x>
- Xu, F., & Arriaga, R. I. (s. d.). *Brief report Number discrimination in 10-month-old infants*.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.