« Étude de l'automatisation progressive de la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres chez les enfants âgés entre 2,5 et 5 ans

Auteur : Lebon, Sara
Promoteur(s) : Rousselle, Laurence
Faculté : þÿ F a c u l t é   d e   P s y c h o l o g i e ,   L o g o p é d i e   e t   S c i e n c e s   d e   l   E d u c a t i o n
Diplôme : Master en logopédie, à finalité spécialisée en communication et handicap
Année académique : 2019-2020
URI/URL : http://hdl.handle.net/2268.2/10747

« Étude de l'automatisation progressive de la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres chez les enfants âgés entre 2,5 et 5 ans ».

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de master en Logopédie
Finalité Communication et Handicap

Promotrice : Laurence Rousselle

Lectrices : Geurten Marie & Libioul Valérie

Étudiante : Lebon Sara

Université de Liège, Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Année académique **2019-2020**

MES SINCÈRES REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier ma promotrice, Madame Laurence Rouselle, de m'avoir fait confiance et d'avoir accepté que je contribue à cette étude. Je tiens également à remercier tout particulièrement Line Vossius, doctorante en neuropsychologie clinique de l'enfance, pour sa disponibilité sans faille, son intérêt, ses précieux conseils et ses encouragements tout au long de l'année, mais aussi pour les longues discussions enrichissantes que nous avons partagées durant l'élaboration de ce mémoire.

Je suis reconnaissante envers la Directrice de l'école du Sacré-Coeur de Rotheux qui a accepté ma présence au sein de son établissement durant de longs mois. Je remercie particulièrement les enseignants pour leur accueil chaleureux et leur flexibilité. Je tiens également à remercier les loulous pour leur enthousiasme et leur application tout au long des tâches proposées malgré le caractère parfois long et répétitif de celles-ci. Merci à leurs parents qui m'ont accordé la réalisation de cette intervention, et sans qui je n'aurais jamais pu récolter mes données.

Je tiens aussi à remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont relu mon mémoire. Grâce à elles, j'ai pu améliorer la qualité de mon écrit et rendre cette lecture plus fluide et compréhensible. Je remercie Line Vossius, mon grand-père, Valérie et Anne-Marie. Un immense merci tout particulièrement à Anne-Marie, ma précieuse collègue qui relit mes travaux, me conseille et m'encourage depuis le début de mes études.

Je remercie de tout cœur mes amies (en particulier Louise et Fanny) qui ont toujours été présentes durant ces années d'études, dans les bons comme dans les mauvais moments. Merci d'avoir partagé cette expérience et d'avoir contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon mémoire.

Pour finir, j'adresse mes remerciements les plus profonds à ma famille d'avoir cru en moi et de m'avoir soutenue durant toutes ces années. Un merci particulier à Florent et à ma grand-mère qui ont été présents au quotidien et qui m'ont encouragée malgré mes sautes d'humeur et mon stress permanent.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

TABLEAUX

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les doigts, partie intégrante de notre corps humain et utilisés de tous (enfants et adultes), nous permettent de réaliser un grand nombre d'activités au quotidien. Dans le cadre de ce mémoire s'intéressant au domaine des nombres durant la petite enfance, les doigts présentent de nombreux rôles et un avantage ultime, celui d'être toujours à portée de main. Grâce à eux, nous pouvons communiquer des quantités, compter, pointer, se représenter des nombres, garder des nombres en mémoire lorsque nous récitons ou que nous calculons, mais également calculer (Vossius, 2019).

En maternelle, une importante variabilité individuelle est observée au niveau des compétences numériques des enfants (Dowker, 2008). Ces derniers présentent tous des niveaux différents. Cependant, un grand nombre d'auteurs ont démontré une relation importante entre les capacités numériques des enfants d'âge préscolaire et les performances arithmétiques ultérieures. De plus, en 2009, Jordan et al. ont mis en évidence, à travers une étude longitudinale, un lien important entre les connaissances numériques des enfants d'âge préscolaire et les performances arithmétiques des enfants de 1ère et 3^{e} années primaires. De même, une relation entre les connaissances numériques des enfants d'âge préscolaire et les performances arithmétiques des adolescents de 13 à 15 ans a été soulignée par d'autres auteurs (Geary et al., 2013 ; Watts et al., 2014). Il est alors essentiel de combler cet écart et que chaque enfant se trouve au même stade en début de 1ère année primaire. Pour ce faire, les doigts peuvent être un outil utile. En effet, ces derniers leur permettraient d'arriver en 1ère année primaire en ayant rattrapé un certain retard ou en ayant développé les compétences suffisantes. Par ailleurs, la période préscolaire étant celle durant laquelle l'enfant utilise le plus ses doigts, nous nous intéressons à comprendre davantage son implication dans le développement numérique et arithmétique lors de cette période particulière. Cet outil, sert-il juste de façon fonctionnelle (aide au dénombrement) ou bien est-il également impliqué dans le traitement automatique des quantités. Il serait, dès lors, un élément important au développement.

Pour tenter de trouver réponse à ces questions, ce mémoire sera composé de 5 parties. Tout d'abord, nous discuterons de l'état des lieux des données issues de la littérature. Dans ce chapitre, nous aborderons le développement numérique typique chez l'enfant d'âge préscolaire et en début de scolarisation primaire. Puis, nous détaillerons l'influence des doigts à chaque stade du développement arithmétique et enfin, la dernière partie traitera des données existantes concernant les mécanismes de traitement automatique. Les éléments découverts dans cette revue littéraire nous amèneront à nous poser la question suivante :

« Existe-t-il un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire ? Ce traitement automatique est-il dépendant du stade auquel se situe l'enfant dans son développement numérique et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

La deuxième partie comportera nos objectifs, nos questions de recherche et les hypothèses élaborés pour répondre au mieux à notre question principale. En troisième lieu, le détail de la méthodologie qui nous a permis de répondre à ces questions sera expliqué. Nous continuerons ce mémoire par une quatrième partie comportant les résultats mis en avant par le biais d'analyses statistiques. Enfin, ces derniers feront l'objet d'une discussion pour terminer cet écrit.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

INTRODUCTION

Cette revue de littérature nous permettra d'approfondir nos connaissances sur les différents concepts théoriques actuels de notre sujet. Elle se divise en 3 parties.

Le premier chapitre concerne le développement numérique typique chez l'enfant d'âge préscolaire et en début de scolarisation primaire. Nous expliquerons l'évolution de la maîtrise du nombre en abordant les différentes étapes par lesquelles l'enfant passe avant de pouvoir réaliser des calculs simples. Le second chapitre rendra compte du rôle et du degré d'influence des doigts pour chaque stade du développement numérique et arithmétique chez l'enfant. Nous terminerons par explorer les mécanismes de traitement automatique afin de répondre d'une manière théorique à notre question de recherche : Existe-t-il un traitement automatique des représentations digitales chez l'enfant d'âge préscolaire ?

Cette structure de rédaction est proposée afin de respecter, en quelque sorte, la chronologie d'apparition des différents éléments chez l'enfant. En effet, nous parlerons d'abord du développement numérique typique, car ce dernier commence à se développer dès la naissance de l'enfant. Par la suite, nous abordons le rôle et l'influence des doigts, car, selon plusieurs auteurs, ils jouent un rôle fonctionnel dans le développement d'un système numérique mature. Les mécanismes de traitement automatique seront discutés en dernier lieu, car nous savons que ce processus arrive plus tard dans le développement de l'enfant.

CHAPITRE 1 : DÉVELOPPEMENT TYPIQUE DE L'ARITHMÉTIQUE CHEZ L'ENFANT

NUMÉROSITÉ

Jean Piaget, figure marquante de la pédagogie durant de nombreuses années de par ses découvertes dans le domaine de la psychologie du développement intellectuel chez l'enfant, prônait une approche constructiviste des connaissances intellectuelles. Selon cette théorie apparue dans les années 40-70, les enfants ne développent des compétences numériques qu'à partir du troisième stade de leur développement, intitulé « stade des opérations concrètes » ; c'est-à-dire, seulement à partir de 6/7 ans. Cependant, durant les années 80, les compétences du nouveau-né et des jeunes enfants ont fait l'objet de nombreuses études et ces dernières ont remis en question cette conception piagétienne (Fayol et al., 1998). En effet, il n'est pas rare d'observer des enfants de maternelle manipuler des quantités, utiliser les nombres … Dès lors, nous nous demandons : « Qu'en est-il de nos connaissances numériques durant les premiers mois de vie ? Naissons-nous sans connaissance ? Ou au contraire, possédons-nous certaines capacités innées ? »

Des chercheurs se sont penchés sur le sujet et s'accordent aujourd'hui pour admettre que les enfants possèdent, dès leur naissance, une double capacité innée pour traiter les numérosités (La numérosité réfère au nombre d'éléments présents dans une collection) (Feigenson et al., 2004 ; Hyde & Spelke, 2011). La première capacité innée, le subitizing, correspond au traitement rapide des informations en parallèle. C'est une sorte de photographie qui permet de retrouver directement la quantité d'une petite collection. Le subitizing leur permet de discriminer rapidement entre deux et quatre entités. La seconde capacité correspond à la possibilité de discriminer (établir une différence entre deux éléments) ou d'évaluer de manière approximative des grandeurs ou quantités[1] par le système d'évaluation approximative. Agrillo et al. (2011) observent que les jeunes enfants sont capables de décider entre deux ensembles d'objets, lequel est le plus grand numériquement (c'est-à-dire celui qui contient le plus d'objets) lors d'une tâche d'évaluation de la magnitude. La magnitude est définie par une représentation mentale de la quantité. C'est la grandeur à laquelle correspond un nombre. Elle permet de comparer des nombres et de les estimer. Lors d'une tâche d'évaluation de la magnitude, c'est-à-dire une comparaison de grandeurs, l'enfant devra, par exemple, comparer deux tas de bonbons, ou encore deux tubes remplis d'eau.

Bien que ces capacités soient donc considérées comme innées, elles ne permettent qu'un traitement approximatif ou un traitement précis (subitizing) mais uniquement pour les petits nombres. Toutefois, durant son développement, l'enfant va devoir être précis pour toutes les quantités traitées, qu'elles soient grandes ou petites. Comment acquière-t-il cette précision ? Le développement de la chaîne numérique verbale précise en sera la base, suivi de différentes étapes qui se construisent les unes après les autres.

[1] La quantité étant le nombre d'objets présents dans une collection.

ACQUISITION/DÉVELOPPEMENT DE LA CHAÎNE NUMÉRIQUE VERBALE

« Lors du développement (entre 2 et 6/7 ans), acquérir la chaîne numérique verbale (la suite ordonnée des mots nombres « un », « deux », « trois »…) consiste à distinguer les mots-nombres d'autres mots, comprendre ce qu'ils signifient et quelles règles les gouvernent. Cette acquisition est longue et difficile. Tous les enfants n'apprennent pas cette chaîne à la même vitesse et les différences interindividuelles peuvent être importantes. » (Fuson et al., 1982).

Selon ces mêmes auteurs, la chaîne numérique verbale se développe via deux phases qui se chevauchent partiellement : une phase d'acquisition et une phase d'élaboration. Lors de la phase d'acquisition, la chaîne récitée peut se décomposer en 3 parties quasiment toujours présentes : stable/conventionnelle [2], stable/non-conventionnelle [3] et non-stable/non-conventionnelle [4]. La phase d'élaboration de la chaîne numérique comporte également plusieurs niveaux (Fuson, 1988). Au premier niveau, le chapelet, l'enfant ne se rend pas compte des quantités de chaque élément. Il ne dénombre pas réellement, c'est une récitation dans laquelle les noms des nombres ne sont pas individualisés. Par la suite, l'enfant se situe au niveau de la chaîne insécable. Il est alors capable de compter jusqu'à un nombre donné, mais il ne sait réciter que depuis le nombre « un ». Il est toujours obligé de repartir de « un » si on lui demande ce qu'il y a après 6, par exemple. Il peut compter une collection d'objets (comptage jusqu'à X possible), mais si on ajoute un objet, il recommencera à compter depuis le début. Par la suite, l'enfant comprend que chaque nombre possède un sens spécifique. La chaîne sécable se caractérise par un comptage possible jusqu'à X, à partir de X et de X à Y. À ce niveau, l'enfant commence à compter à rebours, mais le comptage est difficile et lent. Ainsi, le dénombrement de collections est plus fluide et spontané. Il faut savoir que tous les enfants de 6 ans atteignent ce niveau avec la scolarisation (Fuson et al., 1982). Le dernier niveau correspond à la chaîne terminale et est acquis vers 6-7 ans. Il consiste en une uniformisation des connaissances, les mots deviennent des unités numériques, les enfants donnent du sens aux nombres. Nous observons une différenciation des mots-nombres par les enfants suite aux entraînements reçus et à la consolidation de leurs acquis. De plus, les comptages vers l'avant et à rebours

[2] L'enfant évoque une suite correcte de nombres. Par exemple « 1-2-3-4-… ».
[3] L'enfant récite une séquence de chiffres incorrecte mais toujours de la même manière. Par exemple 6-8-9.
[4] Les nombres sont nommés dans le désordre et varient d'un essai à l'autre. Par exemple l'enfant dira « 13-15-17 » lors du premier essai et énoncera « 11-14-17 » lors du second.

progressent (nous les appelons également la chaîne bidirectionnelle : maîtrise de la récitation dans les deux sens). Une fois que l'enfant maîtrise cette chaîne verbale numérique, il va pouvoir l'utiliser à des fins utiles comme le dénombrement de quantités.

ÉLABORATION/MISE EN PLACE DU DÉNOMBREMENT

Le dénombrement se définit comme un processus de quantification permettant de déterminer le cardinal précis d'un ensemble (le cardinal étant le symbole qui désigne le nombre d'éléments inclus dans un ensemble). Cette activité permet de se représenter de façon exacte une quantité en mettant en œuvre trois habiletés : l'énonciation de la chaîne numérique verbale, la prise en considération individuelle de chaque élément de la collection et la coordination du déroulement séquentiel de ces deux activités.

D'après Gelman et Gallistel (1978), le dénombrement répond à cinq principes : la correspondance terme à terme, l'ordre stable, la cardinalité, l'abstraction et la non-pertinence de l'ordre. Le principe de correspondance terme à terme signifie que chaque élément compté est associé à un mot-nombre différent. L'ordre stable renvoie à la nécessité de conserver la même séquence de mots-nombres peu importe la quantité à compter. La cardinalité est définie par la compréhension que le dernier mot-nombre cité représente l'ensemble de la collection comptée. En d'autres termes, il s'agit de la quantité à laquelle le mot-nombre se réfère. Le principe d'abstraction spécifie la capacité de dénombrer toutes collections d'objets, homogènes et hétérogènes, ou d'entités (sons, actions, etc.). Enfin, le principe de non-pertinence de l'ordre signifie que l'ordre dans lequel les différents éléments de la collection sont comptés ne change pas la quantité totale.

DU DÉNOMBREMENT À LA RÉELLE COMPRÉHENSION DU PRINCIPE DE CARDINALITÉ

Afin d'observer l'entièreté de la maîtrise ou non de ces différents principes, nous pouvons proposer à l'enfant deux tâches. La première consiste à demander à l'enfant : « Peux-tu me dire combien il y a de ...? ». En posant cette question à l'enfant, ce dernier doit, si les éléments sont en grande quantité (supérieure ou égale à quatre), dénombrer les items afin de trouver la bonne réponse[5]. Ainsi, la plupart des principes peuvent être observés. Par ailleurs, la tâche « Donne-moi » peut également être proposée car certains auteurs ont remarqué que la tâche « Combien il y a-t-il de … ? » ne permet pas d'être certain que l'enfant maîtrise totalement la cardinalité. Lors de cette tâche, on demande à l'enfant de créer un ensemble avec un nombre particulier d'éléments. En proposant ces deux tâches, il a été observé que certains enfants sont capables de répondre à la question « Combien y a-t-il d'objets ? » pour des quantités plus grandes que ce qu'ils peuvent en donner dans la tâche « Donne-moi N objets ». Certains enfants montrent donc des performances supérieures pour la tâche « Combien y a-t-il de …? » par rapport à la tâche « Donne-moi ». Des études utilisant ces tâches ont révélé que les enfants sont souvent incapables de créer des ensembles de nombres qui se situent pourtant à l'intérieur de leur séquence de comptage. Lorsqu'on demande à un enfant de dénombrer jusque « cinq » et de nous dire « Combien il y en a en tout », il sera capable de le faire. Mais lorsqu'on lui demande de nous donner la quantité « cinq », il n'en est pas capable. Cela signifie que bien qu'il soit capable de dénombrer une quantité, le principe de cardinalité semble acquis mais la notion de cardinalité toute entière n'est pas maîtrisée. Cette dernière commence à être comprise, mais l'enfant n'a pas encore créé de lien direct et automatique entre le mot-verbal et la quantité qu'il représente. Brissiaud (2011) met en évidence qu'il existe une confusion entre dénombrement et numérotation chez le jeune enfant. Ce dernier croit erronément que le dernier mot-nombre prononcé lors d'un comptage d'objets dans une collection correspond uniquement au dernier élément envisagé (comme un étiquetage) et non pas à l'ensemble de la collection.

D'après Carey (2000), Sarnecka et Lee (2009), mais également Wynn (1992), l'acquisition de la signification cardinale des quatre premiers mots-nombres prend plus d'un an et se réalise de façon très progressive et successive, un mot-nombre à la fois. Selon Wynn (1992), il faut 4 à 5 mois environ pour que l'enfant progresse d'un niveau.

[5] Si les éléments proposés sont en petite quantité, trois par exemple, l'enfant aura tendance à « subitiser » plutôt que dénombrer. Par conséquent, les différents principes ne seront pas observés.

Wynn (1992) met en place la tâche « Donne-moi N objets » permettant de catégoriser les enfants selon leur niveau de connaissance du sens de la cardinalité. Ainsi, selon cette théorie, lorsque l'enfant se situe au niveau le plus précoce, il ne fait aucune distinction entre les significations des différents nombres. À ce niveau, l'enfant est appelé « No-numeral-knower ». Vers l'âge de deux ans à deux ans et demi, il connaît la signification cardinale du mot-nombre "un". Cela signifie qu'il est capable de déterminer la quantité d'une collection de un objet, mais pas d'une collection supérieure à un objet. Le nom de "One-knower" est attribué aux enfants de cette catégorie. Puis, vers l'âge de trois ans à trois ans et demi, ils deviennent des "Two-knowers". Ils sont alors capables de déterminer la quantité d'une collection de un, mais également de deux objets. Cependant, ils sont incapables d'effectuer la tâche pour une collection de plus de deux objets. Par la suite, d'à peu près trois ans et demi à quatre ans, lorsqu'ils peuvent déterminer la quantité d'une collection de un, de deux et de trois objets, mais pas d'une collection de plus de trois objets, les enfants sont appelés les "Three-knowers". Les enfants évoluent de façon quasi parallèle vers des "Four-knowers". Finalement, lorsque les enfants ont acquis la signification cardinale des quatre premiers mots-nombres, ils généralisent leurs connaissances en parvenant à réaliser la tâche pour l'ensemble des collections proposées. Le principe de cardinalité pour tous les autres mots-nombres est alors acquis. Pour rappel, il s'agit du principe selon lequel le dernier mot-nombre de la séquence énoncé lors du comptage de chaque objet d'une collection correspond à la numérosité de celle-ci (Carey & Sarnecka, 2006 ; Sarnecka & Gelman, 2004 ; Sarnecka et al., 2007 ; Sarnecka & Lee, 2009). D'après ces auteurs, l'ensemble des enfants étant des « One-Two ou Three-knowers » sont appelés les « **Subset-knowers** » et, une fois que ceux-ci acquièrent le principe de cardinalité de manière définitive, ils sont nommés les « **Cardinal principle-knowers** ».

Par ailleurs, la compréhension de la cardinalité sous-tend l'acquisition de deux fonctions. Dans un premier temps, l'enfant doit tenir compte de la direction des variations de positions possibles au sein de la chaîne numérique verbale. C'est la fonction de directionnalité. D'après Sarnecka et Gelman (2004), la maîtrise de cette dernière implique la compréhension que l'ajout ou le retrait d'un ou de plusieurs éléments à un ensemble d'objets entraînera un déplacement vers l'avant ou vers l'arrière dans la chaîne numérique. Par la suite, l'enfant sera amené à maîtriser la fonction de succession. Pour Sarnecka et Carey (2008), la connaissance de cette fonction revient à comprendre que l'ajout d'un élément à une collection mènera à avancer d'une unité dans la chaîne numérique alors que l'ajout de deux éléments aboutit à un déplacement de deux unités au sein de cette chaîne. Par analogie, ce même raisonnement sera réalisé par l'enfant lorsqu'il devra retirer des éléments. Grâce à la maîtrise de cette seconde fonction, l'enfant réalisera ses premiers rapports additifs et soustractifs entre les quantités qui accompagneront son entrée progressive dans les activités arithmétiques (Roesch & Moeller, 2015).

L'ENTRÉE DANS L'ARITHMÉTIQUE

L'entrée dans l'arithmétique correspond à la capacité de l'enfant à effectuer des additions et des soustractions simples. Baroody et Ginsburg (1986) ont montré qu'avant tout enseignement formel, les enfants sont capables d'effectuer des opérations simples à l'aide du dénombrement. Pour ce faire, l'enfant a généralement besoin, du moins en début d'apprentissage, d'un support visuel tel que les doigts, par exemple.

Afin d'arriver à une maîtrise parfaite des processus d'addition et de soustraction, les enfants disposent de plusieurs stratégies. Lemaire et Reder (1999) mettent en évidence qu'une stratégie correspond à « une procédure ou un ensemble de procédures permettant au sujet d'atteindre un but cognitif ».

Il existe 5 grandes catégories de stratégies. Au départ, l'enfant aura recours à trois d'entre elles. La « counting <u>all</u> » selon laquelle le comptage verbal se réalise à partir de « un » (ex. : pour effectuer le calcul 2+4, l'enfant comptera 1,2, 3,4,5,6) , la « counting <u>on</u> » qui se définit comme le comptage verbal à partir du premier terme de l'opération (ex. : pour effectuer le calcul 2+4, l'enfant comptera 2, 3,4,5,6) et enfin, « counting <u>min</u> » qui est une stratégie de comptage verbal à partir du plus grand des deux opérandes (ex. : pour effectuer le calcul 2+4, l'enfant comptera 4, 5,6). Les enfants, une fois le principe de cardinalité compris et maîtrisé, utilisent le dénombrement pour réaliser ces différentes stratégies. Au fur et à mesure de leur apprentissage, les enfants vont disposer d'un stock de petits calculs en mémoire (sous format verbal) permettant une récupération rapide de la réponse. Ce stock de calculs simples représente les faits arithmétiques.

Van Eerde et al. (1992) mettent en exergue que les enfants possédant un niveau normal de réussite scolaire utilisent les diverses stratégies dont ils disposent à des fréquences variées et avec une efficacité variable. Avec la pratique, les stratégies de décomposition [6] et de récupération en mémoire augmentent, tandis que l'utilisation des stratégies les plus primitives et les moins efficaces, les stratégies non immédiates, diminuent. Plus la pratique s'intensifie, plus l'exactitude augmente et plus l'exécution des stratégies est rapide.

[6] Procédure dans laquelle l'enfant décompose les nombres afin d'avoir plus de facilités.
Ex. : 8+3 = (8+2)+1 = 10+1.

Synthèse

Avant de faire son entrée dans l'arithmétique dont la première étape consiste à résoudre des additions et des soustractions simples, l'enfant passe par plusieurs stades de développement.

Tout d'abord, il ne naît pas sans connaissance puisque les bébés possèdent des capacités innées à se représenter abstractivement des quantités. Ceci est prouvé par le fait que les bébés sont capables de comparer certaines grandeurs.

Ensuite, vers deux ans, l'enfant acquiert la chaîne numérique verbale en passant par une phase d'acquisition dans laquelle nous pouvons observer que la chaine se divise en trois parties variables (une partie stable conventionnelle, une partie stable/non-conventionnelle et une partie non-stable/non-conventionnelle), la première partie augmente progressivement au profit des deux autres. Puis, l'enfant passe par différents stades d'élaboration (le chapelet, la chaîne insécable, la chaîne sécable et enfin la chaîne terminale/bidirectionnelle). Lorsque l'enfant a atteint le denier niveau, il maîtrise la récitation de la chaîne numérique dans les deux sens.

Il peut dès lors utiliser cette chaîne numérique de façon efficace pour le dénombrement qui est la façon exacte de déterminer une quantité. Celui-ci dépend de l'acquisition de cinq principes fondamentaux : (1) le principe de correspondance terme à terme, (2) le principe de l'ordre stable, (3) le principe de cardinalité, (4) le principe d'abstraction et (5) le principe de non pertinence de l'ordre.

Cependant, la réelle compréhension de la signification du cardinal ne se réalise que plus tard, vers quatre ans, et se déroule de façon progressive. L'enfant maîtriserait successivement les numérosités de « un » à « quatre » et puis seulement, généraliserait ses connaissances pour tous les autres mots-nombres. Le principe de cardinalité est alors acquis. Ce principe est également à l'origine de deux fonctions : celle de la directionnalité et celle de la succession. Une fois maîtrisée, la cardinalité permet à l'enfant d'établir ses premiers rapports additifs et soustractifs avec les quantités et soutient donc l'entrée de l'enfant dans l'arithmétique.

CHAPITRE 2 : L'INFLUENCE DES DOIGTS DANS LE DÉVELOPPEMENT DE L'ARITHMÉTIQUE CHEZ L'ENFANT.

Un grand nombre d'auteurs met en évidence qu'il existe un lien entre les doigts et le nombre. Previtali et al. (2011) suggèrent qu'au cours de la préhistoire et puis de l'histoire, les doigts ont joué et parfois continuent de jouer un rôle important dans l'évolution des codes utilisés pour indiquer les quantités ou les grandeurs. Jordan et al. (2008) évoquent que les doigts fournissent un échafaudage naturel sur le chemin de la maîtrise du calcul. Dans leur étude, Van Rinsveld et al. (2020) soulignent que la représentation visuelle d'un nombre sous forme de configuration digitale aide à développer des représentations numériques précises.

Les doigts représentent un outil naturel et intuitif, auquel tout le monde a accès facilement et dont on voit l'utilisation spontanée chez de nombreux enfants (Fuson & Hall, 1983 ; Fuson, 1988 ; Jordan et al., 2008). Dans leur article, Fischer et al. (2012) mettent en avant que l'utilisation des doigts pour représenter le nombre est omniprésente à travers les âges et les cultures. Les enfants utilisent cette stratégie parfois même avant qu'ils ne soient capables de prononcer la séquence des mots-nombres. De plus, d'après ces auteurs, le comptage sur les doigts peut également être utilisé par les adultes diagnostiqués dyscalculiques afin de compenser leur représentation mentale des nombres déficiente ou absente. Bender et Beller (2012) soulignent que les dimensions culturelles paraissent jouer un rôle fondamental sur l'utilisation des doigts qui, soit n'incite pas à (seulement) les utiliser, soit incite à les mobiliser selon des modalités diverses, parfois variables en fonction des contextes et nécessitant un apprentissage et une transmission culturelle.

Dans la littérature sur la cognition numérique, plusieurs auteurs (Gelman & Gallistel, 1978 ; Fuson et al., 1982 ; Fuson, 1988 ; Butterworth, 2005) supposent généralement que les doigts jouent un rôle fonctionnel dans le développement d'un système numérique mature (les doigts ont une fonction pour résoudre un problème numérique que rencontre l'enfant). Wiese (2003) souligne que le lien entre les doigts et les nombres est de nature fonctionnelle, appris au gré de l'observation, de l'imitation et des interactions mais aussi par le biais d'apprentissages plus formels. Dans leur article, Guedin et al. (2018) considèrent que la relation entre les doigts et l'arithmétique s'établit par un apprentissage culturellement déterminé dont les manifestations persistent chez l'adulte. Cette conception renonce à une position universaliste et innée[7] de ce lien. Par ailleurs, chez l'enfant sans trouble du développement, cet apprentissage dépend, comme pour tous les autres codes culturels, d'une part de la maturation, d'autre part des exemples et des incitations de l'environnement, et enfin de leur interactions.

D'autre part, Roesch et Moeller (2015) ont mis en évidence qu'aucun des modèles existants du développement numérique (ex. : Von Aster & Shalev, 2007 ; Krajewski & Schneider, 2009) ne tient compte de l'influence des représentations digitales. Ils ont dès lors élaboré un modèle actuel de développement numérique incluant ces représentations digitales au modèle de développement proposé par Krajewski et Schneider (2009). Ces derniers proposent que les compétences numériques se développent selon trois niveaux consécutifs (cf. figure 1) : le premier niveau correspond aux compétences numériques de base, le second au concept « quantité-nombre » et le dernier aux relations numériques. À travers ce chapitre, nous allons évoquer l'influence des représentations digitales à chacun des trois niveaux.

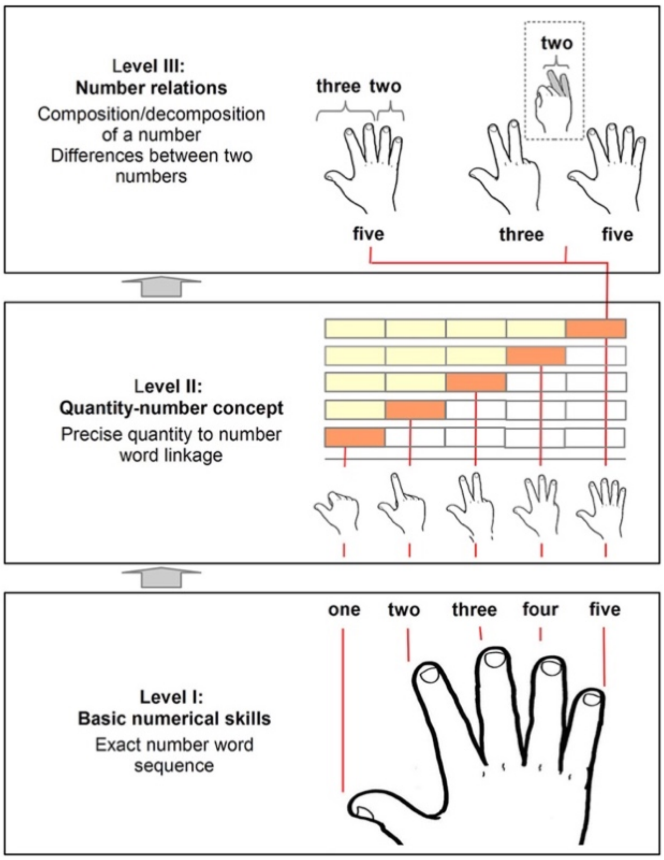


Figure 1. Finger-based representations into the model of early mathematical development. (Roesch & Moeller, 2015).

Au troisième niveau, l'enfant crée des liens entre les quantités. À ce stade, il comprend la composition et la décomposition du nombre. C'est l'entrée dans l'arithmétique.

Au deuxième niveau, l'enfant comprend le principe de cardinalité. Chaque configuration digitale correspond à une quantité.

Au premier niveau, l'enfant utilise ses doigts pour compter. Chaque doigt représente un nombre.

[7] Une position universaliste et innée est la conception prônée dans le passé, considérant que tout être humain possédait des compétences digitales dès la naissance et les utilisait tous de la même façon.

NIVEAU I : INFLUENCE DES DOIGTS SUR LES COMPÉTENCES NUMÉRIQUES DE BASE

AU NIVEAU DE LA CHAÎNE NUMÉRIQUE VERBALE

Selon Butterworth (1999), comme pour Roesch et Moeller (2015), les enfants utilisent leurs doigts dès leur plus jeune âge et, lorsqu'ils apprennent les nombres et leur signification pour la première fois, la plupart d'entre eux s'aident de leurs doigts pour soutenir le traitement cognitif. Cette manipulation digitale se réalise de façon implicite, sans instruction spécifique. La rétention de la chaîne numérique est alors favorisée par cet indice visuel (Roesch & Moeller, 2015).

Beller et Bender (2011) mettent en avant le fait que les stratégies de comptage sur les doigts accompagnent souvent l'acquisition de la séquence des nombres verbaux. Notre système numérique digital est unidimensionnel puisque chaque doigt est associé, par correspondance terme à terme, à un mot-nombre (cf. figure 2). Les doigts peuvent être vus comme des « jetons externes » qui fournissent un ensemble visible d'objets, ce qui facilite la modélisation et l'internalisation de toutes les informations numériques. Même si le lien entre les doigts et le comptage numérique est souvent considéré comme universel, Bender et Beller (2011) ont observé que les stratégies de comptage résultent en réalité d'une convention culturelle. De ce fait, dans notre culture, chez l'enfant droitier, les doigts sont levés en débutant par le pouce de la main droite puis en levant les autres doigts de cette main séquentiellement jusqu'à l'auriculaire. Une fois le mot-nombre « cinq » atteint, l'enfant utilise alors l'autre main en ajoutant, dans un premier temps, le pouce de la main gauche puis les autres doigts jusqu'à l'auriculaire gauche. Ce dernier représentant ainsi le mot-nombre « dix » (Berteletti & Booth, 2014) (cf. figure 3). Pour réaliser de manière précise cette activité de comptage, l'enfant doit être capable de coordonner ses doigts afin de les mobiliser de manière séquentielle et ordonnée.

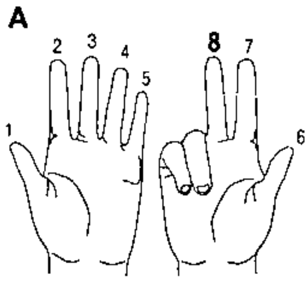


Figure 2. Système numérique digital unidimensionnel (Beller & Bender, 2011).

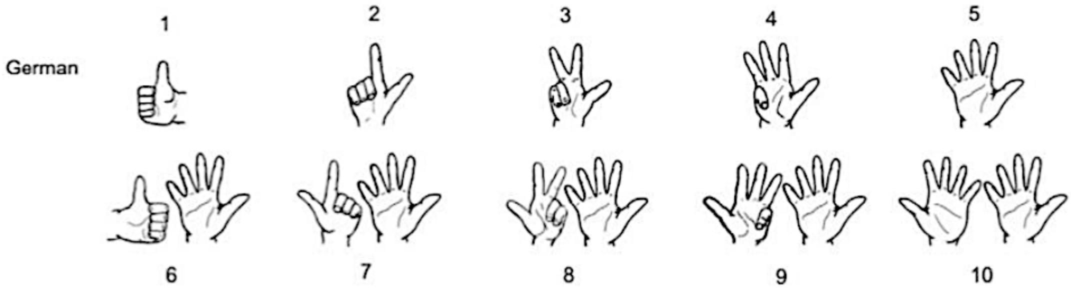


Figure 3. Système de comptage digital utilisé par les cultures européennes (Berteletti & Booth, 2014).

Dans leur article, Crollen et Noël (2015) explorent l'influence des doigts sur l'acquisition de la chaîne numérique verbale. D'après ces auteurs, les doigts ont plusieurs façons d'y contribuer : ils donnent une représentation iconique des nombres (le caractère iconique renvoie à l'image en tant que signe) et permettent le maintien d'une trace des mots-nombres prononcés lors de la récitation de la chaîne numérique.

AU NIVEAU DU DÉNOMBREMENT

Rappelons que le dénombrement est un processus complexe qui permet de quantifier de façon exacte une collection en associant séquentiellement l'énonciation de la chaîne numérique verbale (étiquetage) et le pointage de chaque élément de la collection. De nombreuses observations (Alibali & DiRusso, 1999 ; Wiese 2003 ; Fayol & Seron, 2005 ; Costa et al., 2011) ont montré que les doigts contribuent au développement de cette activité de façon variée et non négligeable.

Tout d’abord, ils favorisent la maîtrise de différents principes. Dans leur étude, Alibali et DiRusso (1999) affirment qu’ils soutiennent l’acquisition du principe de correspondance terme à terme en permettant aux enfants de coordonner les processus d’étiquetage et de séparation (c’est-à-dire l’isolement des éléments déjà comptés de ceux qui restent à compter). Selon ces auteurs, les gestes permettent à l’enfant de mettre en œuvre avec précision ses connaissances de la correspondance terme à terme, à la fois en l’aidant à suivre les objets comptés et en le soutenant à coordonner la prononciation des mots-nombres et la segmentation des objets. Les doigts permettent ainsi de « numéroter » les entités en mettant en correspondance un objet donné avec son rang implicite (« deux » avec le deuxième ; « six » avec le sixième (Brissiaud, 2011). Wiese (2003), quant à lui, observe que les doigts (occupant des positions fixes sur la main) aident à l'assimilation du principe d’ordre stable (principe selon lequel les mots-nombres sont toujours énumérés dans le même ordre) en favorisant l'émergence d'une routine qui lie les doigts aux éléments de la collection dans un ordre stable séquentiel et propre à la culture.

Par ailleurs, sur le plan conceptuel, une disposition de doigts levés représente directement une quantité identifiable. L’enfant peut dès lors mieux visualiser le lien entre un symbole oral et sa signification numérique. En général, l’ordre dans lequel les doigts sont levés ou baissés suit l’ordre de ceux-ci dans la main, ce qui permet de créer des associations entre les configurations digitales et les valeurs cardinales. De même, cette relation entre le symbole oral et sa signification numérique est présente quelles que soient les caractéristiques des objets que peuvent représenter les doigts levés. Le lien est alors indépendant de la nature des éléments de la collection, ce qui renforce le principe d’abstraction (Guedin et al., 2018).

Comme vu précédemment, chaque mot numérique est lié à un doigt spécifique comme c'est le cas dans la plupart des systèmes de comptage des doigts des cultures occidentales (Bender & Beller, 2011, 2012). Ainsi, d’après le modèle actuel de développement numérique de Roesch et Moeller (2015), le principe de correspondance terme à terme est favorisé par l’utilisation des doigts. De plus, cet outil corrobore l’acquisition de la séquence verbale, car l’association doigt-nombre peut aider l’enfant à percevoir les nombres comme des éléments phonologiques distincts (Beller & Bender, 2011) et favorise leur mémorisation (Brissiaud, 1992 ; Fayol & Seron, 2005).

Par ailleurs, dans le cas du dénombrement, les doigts servant à pointer les différents éléments de la collection, permettraient d'alléger la charge de mémoire de travail[8] des enfants (Alibali & DiRusso, 1999 ; Costa et al., 2011). Le geste réduirait les besoins en ressources, en extériorisant physiquement une partie du contenu de la mémoire de travail. Ces auteurs proposent que le suivi des objets comptés et la trace de chaque objet dénombré nécessitent des ressources moindres lorsqu'ils sont réalisés physiquement, à l'aide d'un geste, d'un repère visuel. Les gestes serviraient de marqueur externe, indiquant physiquement la place de l'enfant dans l'ensemble des objets comptés, de sorte qu'elle n'a pas besoin d'être stocké en mémoire de travail. Par conséquent, lorsque les enfants marquent des objets avec des gestes, ils disposent de plus de ressources pour réciter la chaîne numérique et pour coordonner cette séquence numérique avec le pointage. Les gestes contribueraient donc à la précision du dénombrement.

NIVEAU II : INFLUENCE DES DOIGTS SUR LE CONCEPT RELATIONNEL « QUANTITÉ-NOMBRE »

Le principe de cardinalité renvoie à la compréhension par l'enfant du fait que le dernier mot-nombre cité représente l'ensemble de la collection comptée (Gelman & Gallistel, 1978). À ce stade de développement, l'enfant fera son entrée dans l'abstraction en passant d'un système de représentation non symbolique du nombre[9] à une représentation symbolique[10] de celui-ci.

L'utilisation des doigts pour représenter le nombre est omniprésente à travers les âges et les cultures en raison des différents avantages qu'ils présentent par rapport aux mots-nombres : 1. Ils sont facilement accessibles et toujours disponibles, 2. Ils sont visibles en permanence, permettant une entrée multisensorielle (ex. : perceptive et tactile). Les enfants seraient donc directement confrontés à une ressemblance entre le symbole (les doigts) et le référent (l'ensemble dénombré), 3. Ils peuvent être utilisés pour la comptabilité et donc pour soulager la mémoire et 4. Ils sont faciles à manipuler. (Beller & Better, 2011). Il est à noter que ces avantages ne s'appliquent que pour les petits nombres, de zéro à dix. Les plus grands nombres ne peuvent être représentés que de manière moins saillante ou symbolique.

[8] La mémoire de travail est une mémoire de capacité limitée qui permet le stockage temporaire et la manipulation d'informations pendant un court laps de temps (Baddeley, 1992).
[9]Ex. : le nombre est représenté par trois objets d'une collection, on ne lui a pas encore attribué de symbole.
[10]Ex. : les trois objets de la collection sont représentés par un symbole comme le chiffre arabe « trois ». On attribue un symbole à une quantité. Ce symbole peut être un chiffre arabe, un nombre verbal oral ou écrit, un chiffre romain.

De nos jours, un débat reste ouvert à propos du passage entre le système de représentation non symbolique, système analogique qui représente de façon concrète la quantité (collection d'objets, de points ...) et le système de représentation symbolique (chiffres arabes, numéraux verbaux oraux/écrits, chiffres romains). Pour certains auteurs, ce dernier serait facilité par l'utilisation d'un symbole intermédiaire tel que les configurations digitales (Thevenot et al., 2014 ; Fayol & Seron, 2005). Wiese (2007, 2003) affirme que les représentations iconiques (telles que les doigts) des concepts numériques sont plus faciles pour les jeunes enfants que les représentations arbitraires (telles que les mots-nombres). Andres et al., (2008) observent que l'utilisation des doigts pourrait aider l'enfant dans la compréhension des systèmes symboliques et de leur mise en relation avec les systèmes non symboliques. Les doigts constitueraient un outil intermédiaire entre ces deux systèmes à travers les configurations canoniques dépendantes des cultures et représentant les quantités (cf. figure 3). Van Rinsveld et al., (2020) appuient ces données en exposant que les configurations digitales fonctionneraient comme un code visuel supplémentaire, intuitif et analogique à des quantités discrètes[11] assurant une transition optimale vers le système symbolique.

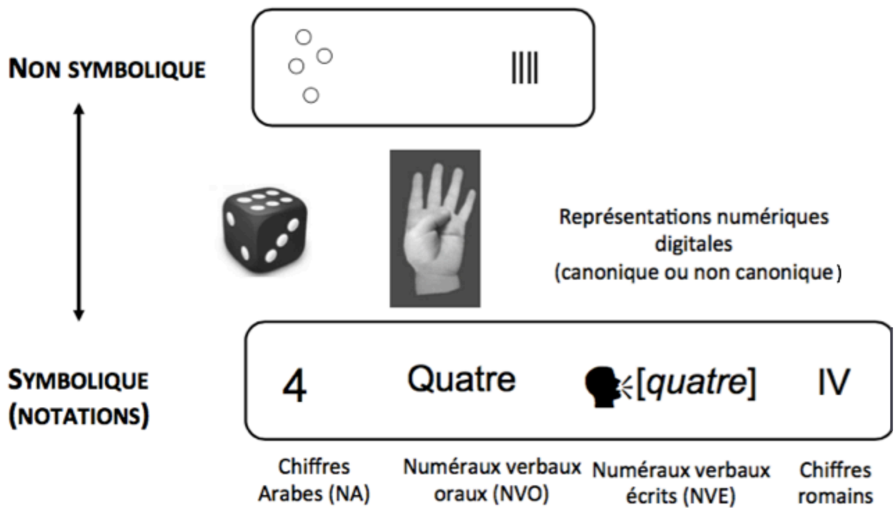


Figure 4. Illustration du passage d'un système non symbolique à un système symbolique par le biais des configurations digitales.

[11] Quantité composée d'éléments pouvant être comptés de façon individuelle. Par opposition aux quantités continues qui représentent des longueurs, un volume, un poids... Quantification approximative sauf si l'utilisation d'un système métrique qui permet de « cardinaliser » la dimension continue.

Au deuxième niveau[12] du modèle de Krajewski et Schneider (2009), l'enfant doit prendre conscience de la signification quantitative de chaque mot-nombre. Selon Roesch et Moeller (2015), les doigts favorisent l'acquisition du principe de cardinalité via des sensations visuelles, tactiles et proprioceptives. L'enfant, lorsqu'il énonce la chaîne numérique verbale, va étirer un par un chaque doigt en commençant par le pouce (cf. figure 1 ; Niveau II). Les doigts étirés ne peuvent donc pas être tirés à nouveau. Ce processus permet de faire correspondre chaque mot-nombre à la quantité correspondante, mais aussi de percevoir cette association mot-nombre-quantité via plusieurs canaux : visuel, tactile et proprioceptif. Par nature, le comptage des doigts est donc un "comptage cardinalisé" (Brissiaud, 1992), car lorsque l'enfant compte, chaque doigt supplémentaire/ chaque doigt levé augmente de un la quantité. Ceci permet de visualiser non seulement les valeurs cardinales respectives, mais également leur sommation progressive (cf. figure 1 ; Niveau II).

Pour appuyer ce postulat (le passage entre le système de représentation non symbolique et le système de représentation symbolique serait facilité par les configurations digitales), Gunderson et al. (2015) observent que les enfants âgés de 3 à 5 ans, ne maîtrisant pas encore la cardinalité, réussissent mieux le dénombrement de petits ensembles et l'estimation de grands ensembles en utilisant les gestes-nombres plutôt que les mots-nombres. Le geste serait donc utilisé davantage dans les situations pour lesquelles les enfants n'ont pas encore acquis une représentation verbale stable de la quantité numérique. Les enfants seraient plus en mesure d'accéder aux représentations mentales de la taille d'une collection et de communiquer à propos de ces dernières s'ils utilisent un symbole digital, plutôt qu'un symbole verbal, plus arbitraire et dès lors, plus difficile à associer à une représentation basée sur l'item. Cette supériorité des gestes pour dénombrer une quantité est mise en évidence pour les enfants appelés « Subset-knowers », n'ayant pas encore compris le principe de cardinalité. Cependant, elle s'atténue pour les enfants nommés « Cardinal principle-knowers », c'est-à-dire pour les enfants capables de donner un, deux, trois, quatre entités de manière précise. Selon Guedin et al. (2018), à partir d'une bonne connaissance de la quantité 4, cet avantage gestuel disparaît car les mots deviennent alors plus économiques que le recours aux doigts.

[12]Le second niveau correspond au concept « quantité-nombre ».

Ces résultats sont contraires à ceux proposés dans l'étude de Nicoladis et al. (2010) qui ont montré que les enfants d'âge préscolaire (de 2 à 5 ans) seraient plus précis dans le traitement spontané avec des mots-nombres qu'avec des gestes et que cette précision augmenterait avec la magnitude[13] des nombres, surtout chez les enfants plus âgés (de 4 à 5 ans). La remise en question du rôle des doigts dans l'acquisition des capacités numériques a également été récemment rapportée par Crollen et al. (2011) qui ont démontré que les enfants aveugles utilisent moins fréquemment les stratégies de comptage sur les doigts que les enfants voyants. Malgré ce fait, dans les tâches de dénombrement, les enfants aveugles et malvoyants atteignent un niveau de performance similaire à celui des enfants sans déficit. Ces auteurs concluent alors que les doigts représentent un outil utile plutôt que nécessaire pour le développement des capacités de dénombrement. Aussi, Lafay et al. (2013) montrent que certains enfants sont capables d'accomplir de façon correcte la tâche « Donne-moi » bien qu'ils n'utilisent pas leurs doigts pour compter une collection. D'après ces différents chercheurs (Nicoladis et al., 2010 ; Crollen et al., 2011 ; Lafay et al., 2013), l'iconicité, plutôt que d'aider les enfants à déterminer la quantité numérique exacte, leur permettrait de s'en approcher.

Actuellement, le débat reste ouvert entre les différentes hypothèses émises (Gunderson et al., 2015 vs Nicoladis et al., 2010 ; Crollen et al., 2011 ; Lafay et al., 2013). Nombreux auteurs s'accordent néanmoins sur le fait que les doigts jouent un rôle non négligeable dans l'acquisition de la cardinalité. La question qui reste sans réponse claire est la suivante : les doigts sont-ils un outil indispensable au développement arithmétique ou simplement une aide utile pour l'enfant ?

NIVEAU III : INFLUENCE DES DOIGTS DANS LES RELATIONS NUMÉRIQUES

Ardila (1993) met en évidence que les doigts sont facilement disponibles et bien adaptés à notre système de nombres en base 10[14]. D'après Guedin et al. (2018), les doigts sont susceptibles de donner lieu à des manipulations. En effet, le nombre de doigts levés ou abaissés peut être augmenté ou diminué en fonction de la collection à traiter (si elle accroît ou diminue) et selon que les quantités doivent être ajoutées ou supprimées. En d'autres termes, ces

[13] La magnitude est définie par une représentation mentale de la quantité. C'est la grandeur à laquelle réfère un nombre. Elle permet de comparer des nombres et de les estimer.
[14] Notre système numérique est constitué de classes qui sont des puissances de 10.

manipulations digitales permettent de simuler des transformations qui peuvent constituer une transition vers les opérations arithmétiques.

Rappelons que l'entrée dans l'arithmétique correspond, chez l'enfant, à sa capacité à comprendre que les nombres, en plus de transmettre une quantité, permettent de décrire des relations entre ces quantités. Cette compréhension leur permet d'effectuer des additions et des soustractions simples, de composer (ex. : 2 plus 3 sont égales à 5) et de décomposer (ex. : 5 est décomposable en 3 et 2) les nombres (Krajewski & Schneider, 2009). En 1987, Baroody a souligné les nombreuses stratégies digitales utilisées par les enfants pour résoudre ces opérations, et les a divisées en trois catégories principales en fonction de leur modalité d'exécution (ex. : lever les doigts de façons séquentielle, simultanée ou mixte). Au début de leur développement numérique, les enfants préconiseront des stratégies digitales dites « séquentielles » (ils comptent pour résoudre l'opération). Lorsque les enfants atteignent un niveau de développement plus avancé, ils utiliseront davantage de stratégies qualifiées de « mixtes » (ils représentent la configuration digitale d'un des opérandes avant de compter le second, par exemple). Enfin, au niveau développemental le plus mature, les enfants emploient des stratégies dites « simultanées ». L'auteur met avant le caractère évolutif de ces stratégies en fonction du temps et du développement de l'enfant.

L'apprentissage de ces stratégies, selon le modèle actuel de développement numérique de Roesch et Moeller (2015), nécessite l'utilisation de processus complexes qui relèvent du niveau de développement le plus mature (cf. figure 1 ; Niveau III) et qui reposent sur les compétences numériques digitales apprises en amont (cf. figure 1 ; Niveau I et II). Ces auteurs montrent, dans leur conception du modèle actuel, que le développement numérique arithmétique peut être soutenu par des représentations digitales. La plupart des enfants se servent de leurs doigts lorsqu'ils commencent à calculer non seulement pour faire le suivi des objets lors du dénombrement (Fuson, 1988), mais également pour visualiser et combiner les quantités demandées au sein de la collection (Siegler & Shrager, 1984). Par exemple, lorsque l'enfant devra combiner 2 et 3, il pourra d'abord tendre le pouce et l'index simultanément et y ajouter, par la suite, le majeur, l'annulaire et l'auriculaire pour obtenir le résultat final de 5, puisqu'à la fin, tous les doigts de la main sont levés. D'une autre manière, les stratégies basées sur les doigts peuvent aussi servir à visualiser la décomposition des nombres. Pour cela, l'enfant peut commencer par lever le nombre de doigts relatif à la quantité initiale (ex. : tous les doigts de la main pour la quantité « cinq ») et les séparer ensuite en sous-groupes de chiffres en rapprochant certains doigts (ex. : pouce et index représentant 2 d'un côté et majeur, annulaire et auriculaire représentant 3 de l'autre côté). En plus de faciliter la composition et la décomposition de nombres, les doigts permettent également d'illustrer les différences entre les nombres. Par exemple, lorsque l'enfant compare le volume occupé par 3 ou 5 doigts, il peut facilement les voir se différencier par 2 autres doigts, l'annulaire et l'auriculaire. Selon ces auteurs, les relations entre les nombres nécessaires pour les calculs initiaux peuvent donc être transmises par des représentations numériques basées sur les doigts (cf. figure 1 ; Niveau III).

Par ailleurs, en 1988, Fayol et ses collaborateurs émettaient déjà un lien entre les représentations digitales et l'arithmétique. Ils ont observé que la performance des enfants de 5-6 ans à la tâche de discrimination digitale (reconnaissance des doigts) est un meilleur prédicteur des performances arithmétiques un an plus tard par rapport aux tests d'intelligence plus classiques. Cela est encore vrai trois ans plus tard (Marinthe et al., 2001). Les enfants présentant une capacité plus faible à identifier et à distinguer leurs doigts semblent moins efficaces dans les tâches mathématiques que les enfants ayant une gnosie digitale optimale (Costa et al., 2011 ; Noël, 2005 ; Fayol et al., 1998). En effet, les difficultés de perception tactile et psychomotrice engendreraient des erreurs de quantification. Ces erreurs entraîneraient la mise en place ou le maintien en mémoire à long terme d'associations floues entre des paires d'opérandes (ex. : 3 + 2) et des résultats corrects et incorrects (ex. : 4, 5, 6). Ces associations imprécises provoqueraient des erreurs fréquentes et l'utilisation de procédures de calcul immatures (Temple, 1997).

Au vu de l'indépendance de la tâche de discrimination digitale par rapport à l'utilisation des doigts dans le domaine numérique, celle-ci ne permet pas d'observer un rôle fonctionnel dans ce développement numérique. Nous nous posons dès lors la question suivante : « Peut-on uniquement parler d'un rôle fonctionnel? »

LES DOIGTS, UN OUTIL FONCTIONNEL, MAIS PAS QUE…

Au-delà des données scientifiques mentionnées précédemment qui appuient l'existence d'une relation fonctionnelle entre les doigts et leur usage pour les traitements mathématiques élémentaires, des données provenant de l'imagerie cérébrale permettent d'affirmer un lien neuroanatomique entre les représentations numériques et les représentations digitales.

Andres et al. (2007) établissent un lien neuro-anatomique entre les doigts et les nombres en explorant, à l'aide de stimulations magnétiques transcrâniennes induisant des potentiels évoqués moteurs, les variations d'excitabilité cortico–spinales des muscles de la main lors d'une tâche de dénombrement de points. Dans leur expérience, 12 adultes droitiers se sont vus présenter un ensemble de points (soit de 1 à 4, soit de 9 à 12) qu'ils devaient énumérer en utilisant soit des chiffres (tâche numérique), soit des lettres de l'alphabet (tâche alphabétique). Il leur était demandé soit de nommer le nombre de points présentés soit de citer la lettre correspondant au dernier point (sans avoir recours à l'utilisation de leurs doigts dans les deux cas). Les auteurs ont enregistré une hausse d'excitabilité cortico-spinale des muscles de la main lors de la tâche de dénombrement (indépendamment de l'utilisation de chiffres ou de lettres pour énumérer les items). Afin de vérifier si l'effet obtenu est spécifique aux muscles de la main, les auteurs ont proposé une épreuve similaire pour étudier l'excitabilité des muscles du bras et des muscles du pied. Lors de l'analyse, ils n'ont observé aucune variation d'excitabilité que ce soit pour les muscles du bras ou ceux du pied durant le dénombrement. Les chercheurs ont conclu à une excitation spécifique de la main dans les tâches arithmétiques.

En 2012, Andres et al. ont étudié le lien neuro-anatomique entre les doigts et l'arithmétique à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Pour ce faire, les auteurs ont proposé à 18 hommes francophones droitiers de réaliser une tâche de discrimination digitale et une tâche arithmétique. Pour effectuer la tâche de discrimination de doigts, les participants sont amenés à tenir un support en bois de forme irrégulière dans chaque main. Au vu de la forme du support, la moitié de leurs doigts sont fléchis (dans les trous du bloc en bois) et l'autre moitié est étendue (sur les bosses du bloc). Lors de cette tâche, l'examinateur proposait aux adultes la vue de la paume d'une main en noire et blanc sur laquelle un doigt était dessiné en rouge. Les participants devaient alors prononcer « oui » si leur doigt correspondant se trouvait en position fléchie ou « non » si leur doigt correspondant était étendu. Par ailleurs, une tâche arithmétique a également été proposée. Il était demandé aux participants de réaliser des opérations arithmétiques mentales simples (soustractions ou multiplications). Les chercheurs ont alors étudié l'activité cérébrale des personnes lors de ces deux tâches par le biais de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et ont relevé que, chez les adultes, la discrimination digitale et les opérations arithmétiques mentales partagent des aires cérébrales bilatérales pariétales et frontales communes.

Pour résumer, les régions cérébrales sous-tendant la création des représentations mentales digitales partageraient des circuits cérébraux communs avec les régions responsables du traitement numérique, à savoir le gyrus précentral gauche. (Pesenti et al., 2000 ; Pinel et al., 2004). Tschentscher et al. (2012) observent que des régions cérébrales se chevauchant ont été trouvées pour les représentations des doigts et les zones cérébrales impliquées dans le comptage des nombres ou les calculs arithmétiques. Enfin, plusieurs auteurs (Andres et al., 2012 ; Penner-Wilger & Anderson, 2013) observent qu'au niveau du cerveau, le calcul mental, les représentations des nombres et les représentations des doigts partagent des substrats neuronaux communs dans le cortex pariétal qui persistent à l'âge adulte. Les doigts pourraient, en raison de la proximité anatomique qu'ils partagent avec le traitement du nombre, présenter un caractère automatique en plus d'être un outil fonctionnel aidant l'enfant à compter et à calculer. À travers la troisième et dernière partie de notre revue de la littérature, nous explorerons cette particularité d'automatisme.

Synthèse

À travers ce chapitre, nous avons exploré l'influence des doigts à chaque stade du développement numérique de l'enfant, de l'élaboration de la chaîne numérique à son entrée dans l'arithmétique.

Les représentations digitales semblent utiles pour apprendre la séquence de la chaîne numérique verbale, car elles donnent une représentation iconique des nombres et permettent le maintien d'une trace des mots-nombres prononcés lors de la récitation de la chaîne.

Les doigts facilitent aussi les principes de base du dénombrement, car ils appuient l'acquisition de la correspondance terme à terme et de l'ordre stable. Ils permettent également d'alléger la charge de mémoire de travail de l'enfant.

Selon certains auteurs, l'utilisation des doigts aide à comprendre l'association quantité-nombre et à développer ainsi une réelle compréhension de la signification du cardinal. Pour d'autres, les enfants seraient davantage performants en utilisant les mots-nombres qu'en employant des gestes dans des tâches explorant leurs connaissances de la numérosité.

De plus, les stratégies d'utilisation des doigts favorisent l'acquisition de capacités de calcul initial telles que la composition et la décomposition, mais aussi la comparaison des nombres, car les doigts permettent de visualiser, de grouper et d'assembler les quantités.

Pour finir, des données provenant de l'imagerie cérébrale permettent d'affirmer un lien neuroanatomique entre les représentations numériques et les représentations digitales. Par conséquent, les doigts ne présenteraient pas seulement un caractère fonctionnel, servant d'outil pour compter et calculer, ils posséderaient également un caractère automatique.

CHAPITRE 3 : LES MÉCANISMES DE TRAITEMENT AUTOMATIQUE

Dans la société actuelle, les nombres, omniprésents dans notre quotidien, ont une importance fondamentale. Pour pouvoir s'épanouir et être autonome en communauté, il est primordial de pouvoir traiter ces nombres. À travers cette dernière partie de la revue littéraire, nous allons parcourir différentes études s'interrogeant sur l'automatisation du traitement des quantités. Un traitement automatique se définit comme étant un traitement rapide, sans effort et autonome, c'est-à-dire qu'il commence et se poursuit jusqu'à son achèvement sans intention ni surveillance (Tzelgov & Ganor-Stern, 2005). Les auteurs travaillant dans ce domaine ont mis en évidence ce caractère automatique par le biais de tâches s'appuyant sur le paradigme de Stroop[15]. Ces tâches peuvent différer d'une à l'autre, mais le principe est toujours le même : comparer des entités sur base soit de leur nombre (ex. : sélectionner la collection qui présente la plus grande quantité) soit sur d'autres caractères perceptifs (ex. : choisir quelle collection présente la plus grande surface remplie ou encore choisir le chiffre arabe présentant la plus grande taille physique). Ce paradigme a permis aux auteurs de mettre en évidence le caractère automatique d'un traitement numérique par le biais de deux types d'effets : l'effet de distance qui stipule que plus la distance entre les quantités est grande, plus il est facile (rapide et avec moins d'erreurs) de les comparer (ex. : 3 vs 9 plus facile à comparer que 8 vs 9) et l'effet de congruence qui consiste à présenter un temps de réponse plus rapide lorsque les items sont congruents, c'est-à-dire lorsqu'ils vont dans le même sens. Par exemple, lors d'une tâche de comparaison numérique et perceptive, des items congruents sont ceux qui possèdent la collection la plus grande quantitativement, mais également la plus grande surface remplie.

AUTOMATISATION DES TRAITEMENTS NON-SYMBOLIQUES ET SYMBOLIQUES

Comme nous l'avons vu précédemment, les bébés naissent avec des compétences numériques. En effet, ils sont capables de comparer des collections d'objets sur base de leur caractère perceptif. À ce stade, l'enfant n'a pas encore attribué de codes constitués de symboles (nombres verbaux oraux, chiffres arabes …) à la numérosité, ce qui signifie qu'il réalise un traitement non symbolique. Par la suite, l'enfant va, au fur et à mesure de son développement et de ses apprentissages, développer différents codes : un code oral suivi d'un code arabe. Dans

[15] La tâche de Stroop est un test psychométrique utilisé pour l'évaluation de l'attention sélective et des capacités d'inhibition. Ce test demande à la personne de maintenir son attention sur une tâche en évitant les éléments perturbateurs.

cette partie, nous observons que, en partie par souci de facilité de construction de tâche, la majorité des auteurs étudie le traitement automatique des nombres arabes et non des nombres oraux (données manquantes dans la littérature).

Le développement des habiletés numériques s'appuie sur deux mécanismes de représentation de la magnitude. La magnitude est définie par une représentation mentale de la quantité. C'est la grandeur à laquelle réfère un nombre. Elle permet de comparer des nombres et de les estimer. Les deux mécanismes sur lesquels s'appuie le développement numérique sont les suivants : les processus non symboliques, non verbaux ou préverbaux (= quantité représentée par une collection d'objets ou de points par exemple. Aucun symbole n'est encore attribué à la numérosité) et, les processus symboliques (= quantité représentée par un symbole[16] tel que les chiffres arabes, les nombres verbaux oraux /écrits, les chiffres romains) qui apparaissent plus tard avec l'acquisition du langage. Les processus symboliques permettent d'avoir une notation de la quantité que l'on veut représenter. D'après Dehaene (1992), la représentation symbolique de la magnitude s'appuie sur des compétences linguistiques, tandis que la représentation non symbolique s'appuie davantage sur des compétences perceptives et visuo-spatiales.

Dès leur jeune âge, les enfants sont amenés à traiter des collections au quotidien. À l'école, lorsqu'on leur demande d'entourer la plus grosse quantité ou de percevoir lequel des deux sons est le plus court, par exemple. À la maison, l'enfant doit également traiter des collections lorsqu'il doit, par exemple, choisir entre une part de gâteau et deux boules de glace. Lors de ses choix, l'enfant réalise-t-il ces traitements non symboliques automatiquement ?

Rousselle et Nöel (2008) ont examiné, à l'aide d'un paradigme de Stroop, le développement des traitements automatiques non-symboliques chez les enfants d'âge préscolaire (3-4-5 et 6 ans) n'ayant aucune expérience scolaire formelle et peu de connaissances numériques symboliques. Dans leur étude, les enfants sont amenés à comparer numériquement (sélectionner la plus grande collection en termes de quantité) et/ou perceptivement (choisir quelle collection possède la surface la plus remplie) soit une collection de points soit une collection de barres. Conformément au principe du paradigme de Stroop, différentes conditions sont présentées aux participants (congruente – incongruente – neutre). Les résultats

[16] Symbole = étiquette qui représente une quantité sans qu'on ne puisse visualiser cette quantité.

appuient l'idée que dès l'âge de 3 ans, l'enfant est capable de traiter automatiquement les propriétés perceptuelles et numériques des quantitiés non symboliques (collections de points ou de barres). Cela a été démontré par l'observation d'un effet de congruence, ce qui signifie que les participants obtiennent de meilleurs résultats en condition congruente (pour rappel, dans cette modalité, la collection la plus grande quantitativement possède également la plus grande surface remplie). Enfin, Rousselle et Noël (2008) mettent en exergue que l'automatisation du traitement des propriétés numériques se produit graduellement au cours du développement alors que l'accès automatique à l'information perceptuelle est déjà bien développé chez les enfants d'âge préscolaire. En effet, en observant les résultats dans les trois expériences, les auteurs ont systématiquement constaté une augmentation de la taille de l'effet de congruence avec l'âge dans la tâche perceptuelle, mais pas dans la tâche numérique. Ces résultats suggèrent que l'influence de la numération sur les quantités non symboliques augmente avec l'âge, alors que l'influence des indices perceptuels sur la quantification numérique tend plutôt à rester stable (voire à diminuer) pendant l'enfance. Cela indique que le traitement numérique prend plus de temps à être pleinement opérationnel par rapport au traitement perceptuel.

Au fur et à mesure de ses apprentissages, l'enfant va découvrir et traiter des symboles qui représentent le nombre (ex. : les nombres verbaux oraux ou les chiffres arabes). L'automatisation de ce traitement symbolique a d'abord été mise en évidence chez les adultes.

Pour ces derniers, la relation entre un symbole arabe et le sens qu'il véhicule est si naturelle qu'ils traitent automatiquement[17] la signification numérique des nombres. Moyer et Landauer (1967) sont les premiers à démontrer que les adultes présentent un effet de distance symbolique lors de comparaisons de chiffres arabes. Ces auteurs mettent en évidence que lorsque l'adulte doit désigner le chiffre arabe le plus grand parmi deux, le pourcentage d'erreurs commises et le temps nécessaire pour répondre montrent une fonction inverse de la différence numérique entre ces deux chiffres. En d'autres termes, plus la différence numérique entre les deux items est grande, moins il y a d'erreurs produites et plus le temps de réponse est court. Ce qui laisse penser que les chiffres sont convertis en magnitude analogique avant

[17] Rapide, sans effort et autonome.

que la comparaison n'ait lieu. Cet effet a été reproduit de manière constante chez les adultes (Banks et al., 1976 ; Buckley & Gillman, 1974) et les enfants (Sekuler & Mierkiewicz, 1977).

Par ailleurs, Tzelgov et al. (1992), de même que Girelli et al. (2000) démontrent que lorsque les adultes doivent comparer deux nombres arabes présentés simultanément sur leur taille physique, ils présentent un effet de congruence typique : ce qui signifie qu'ils sont plus rapides pour comparer des nombres lorsque les grandeurs physiques et numériques sont congruentes (9 vs 5) que lorsque les deux dimensions sont incongruentes (9 vs 5). Cet effet indique que, bien que le traitement numérique ne fasse pas partie des exigences de la tâche, il influence la comparaison des tailles physiques. Dans ces conditions, les auteurs soulignent que le traitement de l'ordre de grandeur des nombres est automatique chez les adultes. Qu'en est-il chez les enfants ?

En 1980, Duncan et McFarland s'intéressent aux effets de distance symbolique et de congruence sémantique (lorsque l'on présente deux chiffres arabes relativement grands à un individu, son temps de réponse sera plus court si les instructions indiquent « choisissez le plus grand » plutôt que « choisissez le plus petit ») dans l'étape d'encodage du stimulus chez l'enfant. Pour ce faire, ils ont proposé à des enfants de maternelle, de 1ère, 2^{e} et 5^{e} années primaires, trois tâches de jugement comparatif, dans lesquelles les paires de chiffres sont dégradées (ce qui diminue la qualité du stimulus). La première expérience permet de déterminer si les effets de la distance symbolique interagissent avec ceux de la dégradation du stimulus. La seconde expérience évalue si la répartition numérique entre les différents chiffres interagit avec la dégradation des stimuli lorsque seules des décisions perceptives sont nécessaires. La troisième expérience est axée sur la relation entre la congruence sémantique et la dégradation des stimuli. Les résultats montrent que l'effet de la qualité du stimulus, l'effet de distance symbolique et l'effet de congruence sémantique diminuent tous en amplitude à mesure que l'âge augmente. Les auteurs concluent que les mécanismes sous-jacents responsables des effets de distance et de congruence sont établis tôt dans la vie et qu'il est probable que les mécanismes déterminant ces effets fonctionnent dans une large mesure de manière automatique. Les enfants de 6 ans seulement accèdent déjà automatiquement à la dimension numérique des chiffres arabes présentés visuellement, quelles que soient les exigences de la tâche (Duncan & McFarland, 1980).

Plus tard, Girelli et al. (2000) examinent le développement des traitements automatiques symboliques chez les enfants d'âge scolaire (1ère – 3e et 5e années primaires). Dans leur expérience, il est demandé aux individus de comparer des paires de chiffres arabes soit de façon numérique (sélectionner lequel est le plus grand en termes de magnitude) soit de manière perceptuelle/ physique (choisir le chiffre le plus grand en taille physique). Trois types d'items sont proposés : congruents, incongruents et neutres. Les résultats soulignent que chez les enfants, l'effet de congruence varie en fonction du niveau scolaire. En effet, les auteurs observent une absence de l'effet en 1ère année primaire, son apparition en 3e année et un effet très significatif en 5e année primaire. Cela signifie que l'incongruité des informations numériques et physiques n'a pas d'influence sur les performances avant l'âge de 8 ans et que donc, pour les enfants plus jeunes, l'accès à la représentation de la magnitude est loin d'être automatique. Au vu des résultats obtenus, les auteurs mettent en avant que les degrés d'automatisation des informations perceptuelles et numériques diffèrent sensiblement. D'une part, la taille physique est traitée automatiquement dès le plus jeune âge et est donc moins sensible aux changements de développement, tandis que d'autre part, pour obtenir un accès automatique aux informations numériques des chiffres arabes, il est nécessaire que les enfants aient une vaste expérience d'apprentissage, même si les jeunes enfants sont capables de comparer les chiffres selon la dimension conceptuelle.

Pour conclure, de nombreux auteurs (Girelli et al., 2000 ; Rubinsten et al., 2002 ; Noël et al., 2005) mettent en évidence que l'accès automatique à l'information non symbolique perceptuelle atteint sa maturité chez les enfants d'âge préscolaire, alors que l'automatisation du traitement symbolique de la magnitude des symboles arabes s'effectue progressivement pendant l'enfance. L'une des explications de ce développement progressif peut être que les enfants de maternelle ont un concept du nombre moins stable. De plus, ils présentent plus de difficultés pour accéder au chiffre précédent qu'au chiffre suivant (Sella & Lucangeli, 2020). Il faut attendre la troisième maternelle pour que les compétences numériques s'améliorent significativement et soient plus ancrées en eux (Zulauf et al., 2003). Par ailleurs, Lafay et al. (2013) mettent en avant que l'utilisation spontanée des doigts dans une tâche de comptage augmente avec le niveau scolaire et est à son apogée en 1ère année primaire.

Jusqu'à présent, nous avons détaillé l'automatisation de plusieurs codes utilisés par les enfants durant leur développement numérique, mais nous n'avons pas encore abordé les doigts, qui, selon de nombreux auteurs, seraient un outil intermédiaire entre les systèmes numériques non symbolique et symbolique. Les configurations digitales fonctionnent-elles comme les autres codes précédemment cités et présentent-elles un caractère automatique ?

TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES CONFIGURATIONS DIGITALES

Roesch et Moeller (2015) ont suggéré que les représentations basées sur les doigts devraient être considérées comme une représentation distincte de la magnitude des nombres qui serait automatiquement activée à chaque fois que nous rencontrons un nombre.

Dans le même ordre d'idée, Di Luca et Pesenti (2008) observent que, chez les adultes, les configurations canoniques des doigts activent automatiquement la sémantique exacte des nombres, alors que les formes non canoniques ne le font pas. Les configurations canoniques digitales correspondent aux habitudes de technique de comptage, conformes à nos propres représentations digitales typiques (ex. : « trois » on lève le pouce, l'index et le majeur) (cf. figure 5). Pour mettre en évidence ce postulat, les auteurs ont proposé deux types de tâches à des étudiants belges droitiers universitaires. Lors de la première tâche, les participants sont amenés à nommer les numérations qui leur sont présentées. Ces dernières sont exprimées par des photographies de mains montrant des configurations digitales canoniques ou non canoniques. Les résultats mettent en évidence que les configurations digitales numériques canoniques sont nommées plus rapidement (par rapport aux configurations digitales numériques non canoniques). Les auteurs concluent à un stockage de ces configurations digitales numériques canoniques en mémoire à long terme. Afin de prouver que les observations mises en évidence ne sont pas dues à un simple effet perceptif, une deuxième tâche (tâche de comparaison) est proposée aux adultes. Ceux-ci doivent décider si le chiffre arabe cible, amorcé[18] par des configurations digitales masquées canoniques ou non canoniques est plus grand ou plus petit que 5. Cette expérience fait ressortir que les participants commettent moins d'erreurs et répondent plus rapidement lorsque le nombre est amorcé d'une configuration digitale canonique et lorsque cette configuration digitale va dans le même sens que la cible. Les auteurs

[18] Une photographie d'une configuration digitale canonique ou non canonique est présentée au participant durant 68 millisecondes avant la présentation de l'item de test.

concluent que les configurations canoniques véhiculent ou donnent automatiquement accès à la sémantique des nombres alors que les configurations non canoniques ne le font pas, et nécessitent une élaboration explicite pour accéder à la sémantique.

Pour conclure, les configurations digitales canoniques pour les nombres sont traitées cognitivement de la même manière que les symboles numériques, tandis que les formes non canoniques sont traitées comme des grandeurs non symboliques (Di Luca et al., 2010). Les adultes possèdent un traitement automatique des doigts. Placés d'une certaine façon, ces derniers seraient traités comme des images (Di Luca et al., 2011).

Configuration digitale **canonique**	Configuration digitale **non canonique**
	

Figure 5. Configurations digitales canonique et non canonique du nombre 3.

Concernant les enfants, nous avons actuellement peu de données concernant l'automatisation des configurations digitales. Noël (2005) souligne un effet prototypique de la configuration de la main. L'auteur observe que les enfants de 7 ans répondent plus rapidement et commettent moins d'erreurs si le nombre cible est représenté par un stimulus correspondant à la forme habituelle que les enfants belges lèveraient par rapport à un stimulus ne correspondant pas à leurs habitudes de configurations digitales (cf. figure 5). Noël suggère que les élèves de 7 ans possèdent une représentation holistique [19] des nombres exprimés par des configurations digitales canoniques en mémoire qui leur permet d'utiliser un processus plus rapide que le comptage pour déterminer le nombre de doigts levés.

Cependant, aucune donnée actuelle ne nous permet de dire dans quelle mesure le traitement symbolique des configurations digitales canoniques est présent chez les enfants d'âge préscolaire (moment où les enfants utilisent le plus fréquemment leurs doigts). Nous ne sommes pas non plus en mesure de trancher sur l'implication exacte de cet outil chez l'enfant. Les doigts servent-ils juste de façon fonctionnelle (aide au dénombrement) ou bien sont-ils également impliqués dans le traitement automatique des quantités. Seraient-ils, dès lors, un élément important au développement ?

[19] Globale, générale.

Synthèse

Un traitement est dit « automatique » lorsqu'il se réalise de façon rapide, sans effort et autonome, c'est-à-dire qu'il commence et se poursuit jusqu'à son achèvement sans intention ni surveillance.

Pour analyser le caractère automatique des traitements numériques non symboliques et symboliques, les chercheurs se sont aidés de tâches de type Stroop. Bien que ces tâches puissent différer d'une étude à l'autre, le principe reste le même et consiste à demander aux participants de comparer des collections sur base soit de leur caractère numérique soit de leur caractère perceptif. Afin de mettre en évidence des effets de distance ou de congruence, ces tâches présentent trois types d'items : congruents, incongruents et neutres.

Les études menées jusqu'à présent mettent en évidence un traitement automatique des symboles numériques chez l'adulte. Concernant l'enfant, les chercheurs observent que, dès son plus jeune âge, il est capable de traiter de façon automatique les quantités non symboliques perceptuelles qui lui sont présentées. Par ailleurs, le traitement des symboles tels que les nombres verbaux et les chiffres arabes devient également automatique, mais de façon plus progressive, au fur et à mesure de son développement et de ses apprentissages.

Par ailleurs, les scientifiques soulignent un traitement automatique des configurations digitales chez l'adulte, mais aussi chez les enfants de 7 ans. Cependant, les données actuelles de la littérature ne sont pas encore complètes quant au traitement des configurations digitales chez l'enfant de moins de 7 ans, période durant laquelle les enfants ont le plus recours à leurs doigts. De nos jours, nous ne pouvons pas dire dans quelle mesure le traitement automatique des configurations digitales est présent chez l'enfant ni l'importance de l'implication des doigts dans le traitement automatique des quantités.

OBJECTIFS, QUESTIONS DE RECHERCHE ET HYPOTHÈSES

OBJECTIFS

Comme énoncé précédemment, nous ne possédons que peu de données concernant le traitement automatique des configurations digitales chez l'enfant. Par ailleurs, ces éléments littéraires s'appliquent à des enfants de 7 ans ayant déjà eu un apprentissage formel numérique. Sachant que les enfants utilisent davantage leurs doigts au début de leur développement numérique, c'est-à-dire tout au long de la période préscolaire, cette étude a pour objectif d'analyser l'implication des doigts chez l'enfant d'âge préscolaire. Plus précisément, savoir si les doigts servent juste de façon fonctionnelle (aide au dénombrement) ou bien s'ils sont également impliqués dans le traitement automatique des quantités. Ils seraient dès lors, un élément important pour le développement. Par conséquent, nous nous posons la question de recherche suivante :

« Existe-t-il un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire ? Ce traitement automatique est-il dépendant du stade auquel se situe l'enfant dans son développement numérique et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

Jusqu'à présent, les données récoltées au sein de la littérature montrent un traitement automatique des symboles numériques chez l'adulte (Tzelgov et al., 1992 ; Girelli et al., 2000). Concernant l'enfant, les chercheurs observent que, dès son plus jeune âge, il est capable de traiter de façon automatique les quantités non symboliques perceptuelles qui lui sont présentées (Rouselle & Noël, 2008) et que le traitement des symboles tels que les nombres verbaux et les chiffres devient également automatique, mais de façon plus progressive, au fur et à mesure de son développement et de ses apprentissages. (Girelli et al. 2000 ; Rubinsten et al., 2002 ; Noël et al., 2005). Par ailleurs, il a été démontré que les doigts représentent un outil utilisé par la plupart des enfants afin de développer un système numérique mature (Gelman & Gallistel, 1978 ; Fuson et al., 1982 ; Fuson, 1988 ; Butterworth, 1999, 2005). De même, nous relevons que les adultes présentent un traitement automatique des configurations digitales (Di Luca & Pesenti, 2008) mais également les enfants de 7 ans (Noël, 2005). Cependant, les données actuelles de la littérature ne sont pas encore complètes quant au traitement des configurations digitales chez l'enfant de moins de 7 ans, période durant laquelle les enfants ont le plus recours à leurs doigts. C'est pourquoi, nous nous demandons à quel moment ce traitement devient automatique.

Afin de répondre de manière complète et détaillée à notre question de recherche, nous avons élaboré trois sous-questions qui nous ont permis de recueillir plusieurs types d'informations : l'existence d'un traitement automatique chez les enfants d'âge préscolaire et la nature des facteurs influençant cette automatisation. Après vous avoir expliqué brièvement la démarche générale de notre recherche (les détails vous seront présentés dans la méthodologie de ce mémoire), chaque sous-question vous sera présentée accompagnée de nos hypothèses spécifiques, de la justification de celles-ci au moyen de données issues de la littérature et de la démarche scientifique que nous utiliserons pour répondre spécifiquement à la question.

Concernant la démarche générale de notre recherche, pour tenter de répondre à ces sous-questions, chaque enfant se verra administrer 3 tâches différentes. Nous évaluerons la connaissance de la chaîne numérique par la tâche de « litanie », durant laquelle l'enfant devra compter le plus loin possible. Cette dernière fera office de tâche contrôle. Ainsi, nous nous assurons que les résultats obtenus ne sont pas influencés par un faible niveau de langage des mots-nombres chez l'enfant. Pour évaluer la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les nombres verbaux, mais également pour affirmer l'existence ou non d'un traitement automatique des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire, nous proposerons à chaque enfant une tâche « informatisée ». Celui-ci devra juger si le nombre cité oralement par l'ordinateur est plus grand ou plus petit que le nombre 3 sous différentes conditions. Enfin, afin d'évaluer le niveau de développement cardinal et d'analyser si ce dernier influence ou non l'automatisation des configurations digitales, l'enfant réalisera la tâche « Donne-moi », créée par Wynn (1990,1992), durant laquelle il devra donner à l'examinateur une collection de billes en fonction du cardinal demandé.

QUESTIONS DE RECHERCHE ET HYPOTHÈSES

Avant de se demander quel facteur influence cette automatisation des doigts, il faut s'assurer qu'il existe bel et bien un traitement automatique des configurations digitales au sein de notre population de jeunes enfants. Nous posons alors la sous-question suivante :

« **Existe-t-il un traitement automatisé ou non des configurations digitales au sein de notre population d'enfants de 2e et 3e années maternelles ?** »

Notre première hypothèse est qu'il existe effectivement un traitement automatisé des configurations digitales au sein de notre population regroupant des enfants de 2e et 3e années maternelles. Plusieurs auteurs (Fayol & Seron, 2005 ; Andres et al., 2008 ; Thevenot et al., 2014) mettent en évidence que les doigts seraient un outil intermédiaire qui permettrait le passage du système non symbolique à la compréhension du système symbolique. Rappelons que le développement numérique repose sur ces deux systèmes et que les données récoltées dans la littérature affirment un traitement automatique de ces deux systèmes (non symbolique et symbolique) chez les adultes, mais également chez les enfants.

En 2008, Rouselle et Noël observent que dès l'âge de 3 ans, l'enfant est capable de traiter automatiquement les propriétés perceptuelles et numériques des quantités non symboliques. Girelli et al. (2000), mettent en évidence un traitement automatique des informations symboliques chez l'adulte. Ils soulignent également que, chez l'enfant, ce traitement automatique des quantités symboliques arrive progressivement, suite à un certain apprentissage.

Par ailleurs, l'automatisation des configurations digitales a également été explorée. Di Luca et Pesenti (2008) démontrent que les configurations canoniques digitales[20] pour les nombres sont traitées cognitivement de la même façon que les symboles numériques. Les auteurs concluent à un traitement automatique des configurations digitales chez l'adulte. Chez l'enfant, Noël (2005) souligne un effet de prototypique de la configuration de la main chez les enfants de 7 ans. Selon l'auteur, ces derniers possèdent une représentation holistique des nombres

[20] Les configurations canoniques digitales correspondent aux habitudes de technique de comptage, conformes à nos propres représentations digitales typiques (ex. : « trois » on lève le pouce, l'index et le majeur).

exprimés par des configurations digitales canoniques en mémoire qui leur permet d'utiliser un processus plus rapide que le comptage pour déterminer le nombre de doigts levés.

Gunderson et al. (2015) font valoir que l'expérience mène à un traitement automatisé. Cette théorie expliquerait que le traitement automatique des symboles ne se développe qu'à partir de la première primaire, au vu de l'utilisation du code arabe plus fréquent en primaire par rapport à la maternelle. Par ailleurs, si on suit la logique de ce postulat, plus l'enfant utilisera ses doigts, plus le traitement des configurations digitales sera automatique. La période préscolaire étant celle durant laquelle l'enfant utilise le plus ses doigts, nous concluons à un traitement automatique des configurations digitales dès ce moment-là.

L'une des façons de vérifier la présence de ce traitement automatisé dans notre population serait d'observer que le traitement d'une configuration digitale influence le traitement d'un nombre verbal oral présenté simultanément. Par exemple, dans une tâche de comparaison à un nombre standard dans laquelle l'enfant aurait à déterminer si le nombre verbal oral entendu est plus grand ou plus petit que ce standard, l'enfant devrait être influencé par la présence simultanée d'une configuration de doigts. En effet, dans une situation congruente dans laquelle les deux représentations (digitale et verbale) seraient toutes deux plus petites ou plus grandes que le standard, l'enfant devrait répondre en faisant moins d'erreurs que dans une situation incongruente (la configuration de doigts étant plus petite que le standard alors que le nombre verbal oral plus grand ou vice versa).

Afin d'être certain que les résultats obtenus ne sont pas influencés par la prise en compte simultanée de deux éléments, nous proposons à l'enfant deux conditions non expérimentales dont l'une est dite contrôle[21]. La première est une condition simple. Cela signifie que l'enfant doit traiter un élément sans l'interférence d'un second. Lors de la seconde condition, interférente contrôle (par exemple une couleur), l'enfant est amené à prendre en compte un second élément. Cependant, ce dernier n'est pas de nature numérique, il n'est donc pas censé influencer le traitement numérique (par exemple, la comparaison d'un nombre verbal à un standard comme proposé ci-dessus). Nous pourrons affirmer que la différence des résultats

[21] Condition dans laquelle le ou les facteurs principaux n'interviennent pas.

dans les conditions expérimentales ne provient pas de l'influence d'un traitement simultané si les résultats obtenus dans ces deux conditions sont similaires.

Ensuite, une fois l'automatisation démontrée ou non, nous tenterons de découvrir la nature des facteurs qui l'influencent, mais également leur degré d'influence. L'un est-il plus prédominant que l'autre ? Pour ce faire, nous répondrons à la question suivante :

« Ce traitement automatique est-il dépendant du niveau cardinal verbal de l'enfant et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

Nous émettons l'hypothèse que le niveau scolaire va influencer le traitement automatique des représentations digitales. En effet, les enfants fréquentant une 3e année maternelle seraient plus matures (que les enfants de 2e année maternelle) pour réaliser un traitement automatique des configurations digitales.

Zulauf et al. (2003), observent que les compétences numériques s'améliorent de façon significative au cours de la dernière année en maternelle. Par ailleurs, Schild et al. (2020), soulignent que les enfants de maternelle présentent un concept de quantité et du nombre moins stable que les enfants de première année primaire. De plus, Lafay et al. (2013) mettent en avant que l'utilisation spontanée des doigts dans une tâche de comptage augmente avec le niveau scolaire. Comme expliqué précédemment, plus l'enfant utilise fréquemment un code, plus ce dernier fera l'objet d'un traitement automatique (Gunderson et al., 2015). Si on suit cette théorie et les découvertes de Lafay et al. (2013) qui montrent une utilisation spontanée des doigts plus fréquente chez les enfants de 3e année maternelle par rapport à ceux de 2e année maternelle, les enfants de 3e année maternelle ayant un an d'expérience supplémentaire par rapport aux enfants de 2e année maternelle présenteront un traitement plus automatisé des configurations digitales.

Pour infirmer ou confirmer cette hypothèse prônant une différence de performance au sein de notre population selon le niveau scolaire des enfants, nous devrions observer que les enfants de 3e année maternelle présentent une différence de performance plus importante entre le traitement des items[22] congruents et le traitement des items incongruents par rapport aux

[22] Dans cette étude, nous considérons qu'un item est une présentation de stimuli. Si l'item est congruent, cela correspond à une présentation de deux stimuli congruents (qui vont dans le même sens). Au contraire, si l'item

enfants de 2e année maternelle. Pour rappel, en situation congruente, le nombre verbal oral cité et la configuration digitale présentée simultanément vont dans le même sens. Les deux représentations (digitale et verbale) seraient toutes deux plus petites ou plus grandes que le nombre standard. En condition incongruente, la configuration digitale présentée simultanément au nombre verbal cité va dans le sens contraire de ce dernier. La configuration des doigts est plus petite que le standard alors que le nombre verbal oral plus grand ou vice versa. Pour être encore plus spécifique, nous nous attendons également à ce que les enfants aient plus de facilités lorsqu'ils sont amenés à traiter des items congruents égaux (ce qui signifie qu'ils sont identiques au nombre verbal cité) que lors du traitement des items congruents distants (ce qui signifie qu'ils vont dans le même sens que le nombre verbal cité mais ne sont pas identiques à ce dernier).

Par ailleurs, nous émettons également l'hypothèse de l'influence du niveau de développement cardinal sur le traitement automatique des représentations digitales. Par définition, les enfants appelés « cardinal-knowers » ont acquis le principe de cardinalité de manière définitive, quelle que soit la numérosité. Les enfants nommés « subset-knowers » sont capables de produire une collection de un, deux ou trois objets, mais pas une collection de plus de trois objets. Les enfants appartenant au second groupe (subset-knowers), commencent à comprendre la notion de cardinal, mais ils n'ont pas encore créé de lien direct et automatique entre le mot-nombre verbal et la quantité qu'il représente.

Notre tâche informatisée proposant des items allant jusqu'au nombre 5, nous supposons que les « cardinal-knowers » présenteront un avantage par rapport aux « subset-knowers » pour qui la compréhension de la cardinalité s'arrête au nombre 3. En contrepartie, sachant que Gunderson et al. (2015) ont démontré une supériorité des gestes pour dénombrer une quantité chez les enfants appelés « subset-knowers », ces derniers sont plus à l'aise avec les configurations digitales qu'avec les mots-nombres. Nous constatons donc une préférence pour les doigts chez les « subset-knowers » qui pourraient déjà avoir développé une certaine automatisation des configurations digitales.

---

est incongruent, cela équivaut à une présentation de deux stimuli incongruents (qui ne vont pas dans le même sens).

Pour confirmer ou infirmer cette hypothèse d'une influence du niveau cardinal sur le traitement automatisé des représentations digitales, nous devrions observer que les enfants appelés « cardinal-knowers » présentent une différence de performance plus importante entre le traitement des items congruents et le traitement des items incongruents par rapport aux enfants nommés « subset-knowers ». Pour être encore plus spécifique, nous nous attendons également à ce que les enfants aient plus de facilités lorsqu'ils sont amenés à traiter des items congruents égaux (ce qui signifie qu'ils sont identiques au nombre verbal cité) que lors du traitement des items congruents distants (ce qui signifie qu'ils vont dans le même sens que le nombre verbal cité mais ne sont pas identiques à ce dernier).

Enfin, nous explorerons plus en détail la nature de l'un des deux facteurs en tentant de répondre à la sous-question :

« Plus précisément, au sein du facteur niveau cardinal de l'enfant influençant le traitement automatique des représentations digitales, existe-t-il une différence entre l'influence du niveau cardinal verbal et l'influence du niveau cardinal digital ? »

Nous émettons l'hypothèse qu'il existe une différence entre l'influence du niveau cardinal verbal (= numérosité la plus élevée pour laquelle l'enfant parvient à construire une collection sur base d'un nombre verbal oral cité) et l'influence du niveau cardinal digital (= la plus grande numérosité pour laquelle l'enfant arrive à construire une collection sur base d'une configuration digitale présentée). Notre hypothèse devrait démontrer le fait que les enfants ayant un avantage digital (c'est-à-dire des performances plus élevées avec des configurations digitales qu'avec des nombres verbaux oraux) devraient davantage influencer le traitement automatique des doigts en comparaison avec les enfants présentant un avantage verbal. En effet, détenir un avantage digital suppose que ces enfants utilisent plus fréquemment leurs doigts et sont plus familiers avec ces derniers par rapport aux enfants présentant un avantage verbal. Ayant un avantage digital, ces enfants présument une plus grande familiarité avec les configurations digitales. Leurs expériences face aux configurations digitales étant plus nombreuses, ils ont plus facilités à les comprendre et à les assimiler. Par ailleurs, nous savons que plus un enfant est exposé à un apprentissage, plus il sera rapide pour lui de développer le traitement automatique de cet apprentissage.

Pour confirmer ou infirmer notre hypothèse mettant en avant que les enfants présentant un avantage digital influenceraient davantage le traitement automatique des représentations digitales, nous devrions observer une différence de performance plus importante entre le traitement des items congruents et le traitement des items incongruents chez ces enfants par rapport aux enfants ayant un avantage verbal. Pour être encore plus spécifique, nous nous attendons également à ce que les enfants aient plus de facilités lorsqu'ils sont amenés à traiter des items congruents égaux (ce qui signifie qu'ils sont identiques à la cible) que lors du traitement des items congruents distants (ce qui signifie qu'ils vont dans le même sens que la cible mais ne sont pas identiques à cette dernière).

MÉTHODOLOGIE

PARTICIPANTS

Trente-deux enfants de l'année scolaire 2019-2020 ont été recrutés dans une école francophone de la Province de Liège. Pour pouvoir participer à notre étude, deux critères d'inclusion étaient de rigueur : être âgé entre 2,5 et 5 ans ainsi que fréquenter l'enseignement maternel ordinaire. Au vu de l'âge des enfants, leur participation nécessitait un accord parental. Nous avons donc, au préalable, obtenu le consentement[23]de chaque parent.

Au sein de cet échantillon de trente-deux enfants, dix-sept provenaient d'une classe de deuxième année maternelle alors que les quinze autres fréquentaient une classe de troisième année maternelle[24]. Afin d'avoir un échantillon plus robuste, permettant ainsi une analyse plus puissante et sachant que plus une expérience est puissante, plus elle a de chance d'aboutir, nous avons pris en compte les données récoltées lors d'un premier mémoire réalisé l'année précédente, en 2018-2019.

En ajoutant ces données aux nôtres, nous obtenons un échantillon final de quatre-vingt-deux enfants, quarante-trois de 2e année maternelle et trente-neuf de 3e année maternelle. Il est à noter que les tests administrés l'an passé sont identiques à ceux proposés aux participants de cette année. Par ailleurs, les anciens participants provenaient également d'un enseignement maternel de la Province de Liège. Tous ont pour langue maternelle le français.

Le tableau 1, ci-dessous vous indique le nombre d'enfants par niveau scolaire et leur moyenne d'âge.

[23] Cf. annexe 1.

[24] Au départ, il était convenu que quinze autres enfants de 1ère maternelle devaient faire l'objet de notre étude. Malheureusement, au vu de la situation actuelle de notre pays face au Covoid-19 (crise sanitaire), les testings ne pouvaient plus avoir lieu. Nous avons dû nous contenter d'analyser les résultats obtenus d'enfants de 2e et 3e années maternelles.

Tableau 1

Représentation du nombre d'enfants, de la moyenne de leur âge et de l'écart-type de leur âge en fonction de leur niveau scolaire.

Données	2e année maternelle	3e année maternelle
Nombre d'enfants	43 enfants	39 enfants
Moyenne de leur âge	54.77 mois = 4 ; 6 ans	67.49 = 5 ; 6 ans
Écart-type de leur âge	3.78	4.30

DÉROULEMENT DES SÉANCES

Chaque participant était testé individuellement dans une pièce calme et familière afin d'optimiser au mieux le reflet de leur réelle compétence. L'ensemble de l'évaluation durait environ une heure. Des pauses étaient proposées à l'enfant lorsque nous remarquions une certaine fatigue attentionnelle. L'étude se réalisant en milieu scolaire, le rythme et les habitudes (collations, récréations, sieste …) de l'enfant ont été respectés.

Nous avons examiné les compétences de chaque participant à l'aide de tâches évaluant le développement digital non numérique, de tâches évaluant le développement numérique en modalité verbale, de tâches évaluant le développement numérique en modalité digitale et d'une tâche informatisée évaluant la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les nombres verbaux. Notre étude faisant partie d'une étude plus globale, toutes les épreuves administrées ne feront pas l'objet d'une description et d'une analyse précise pour répondre à nos questions de recherche. Toutefois, il est à noter que l'ordre de passation des tâches n'était pas identique pour tous, afin d'éviter un biais de fatigabilité attentionnelle. En effet, la moitié des enfants commençait par la tâche informatique alors que pour l'autre moitié, les différentes tâches de type « papier-crayon » étaient investiguées en premier lieu. Par ailleurs, pour neutraliser un biais d'entraînement (au vu de la ressemblance de certaines tâches), l'investigation des tâches dites « papier-crayon » ne se réalisait pas dans le même ordre pour tous les enfants. Après avoir fait passer les tâches évaluant le développement digital non numérique en premier lieu chez tous les participants, la moitié d'entre eux poursuivait la suite du testing par la réalisation des tâches évaluant le développement numérique en modalité verbale, puis par les tests en modalité digitale. L'autre moitié des enfants commençait par la modalité digitale et terminait par la modalité verbale. Le tableau 2 ci-dessous vous permet de clarifier l'ordre de passation de ces tâches.

Tableau 2

Ordre de passation des deux types de tâches administrées (informatisée vs « papier-crayon ») selon le niveau scolaire de l'enfant.

Ordre de passation des tâches	2e année maternelle		3e année maternelle	
	22 enfants	21 enfants	19 enfants	20 enfants
1	Informatisée	Papier-crayon (1-2-3)*	Informatisée	Papier-crayon (1-2-3)*
2	Papier-crayon (1-2-3)*	Informatisée	Papier-crayon (1-2-3)*	Informatisée

Note. *(1-2-3), ordre différent pour la passation des tâches « papier-crayon » (cf. tableau 3 ci-dessous)

Tableau 3

Ordre de passation des tâches « papier-crayon » selon le niveau scolaire de l' enfant.

Ordre de passation des tâches	2e année maternelle		3e année maternelle	
	22 enfants	21 enfants	20 enfants	19 enfants
1	Développement digital non numérique	Développement digital non numérique	Développement digital non numérique	Développement digital non numérique
2	Développement numérique en modalité **verbale**	Développement numérique en modalité **digitale**	Développement numérique en modalité **digitale**	Développement numérique en modalité **verbale**
3	Développement numérique en modalité **digitale**	Développement numérique en modalité **verbale**	Développement numérique en modalité **verbale**	Développement numérique en modalité **digitale**

TÂCHES

À travers cette partie, nous explorerons les différentes tâches proposées à l'ensemble des participants afin de tenter de répondre à nos questions de recherche. Vous y découvrirez trois tâches différentes (la tâche de litanie, la tâche « Donne-moi » et la tâche informatisée) évaluant chacune un aspect spécifique du développement numérique.

TÂCHE ÉVALUANT LES COMPÉTENCES NUMÉRIQUES VERBALES DE BASE : LA LITANIE[25]

Cette tâche permet d'évaluer le développement de la chaîne numérique verbale. Plus précisément, elle détermine jusqu'à combien l'enfant est capable de compter sans se tromper.

Lors de cette tâche, il est demandé à l'enfant de « compter le plus loin possible », à deux reprises. Si nécessaire, l'examinateur peut fournir une amorce en récitant le début de la chaîne numérique verbale « un, deux… » Par ailleurs, l'enfant est stoppé une fois qu'il arrive au nombre verbal « vingt ». Suite à cet exercice, nous déterminons la partie stable et conventionnelle de la chaîne numérique connue de l'enfant, c'est-à-dire, la plus longue suite de nombres correctement récitée (conventionnelle) à deux reprises (stable) (Fuson et al., 1982).

TÂCHE ÉVALUANT LA COMPRÉHENSION DE LA CARDINALITÉ[26]

La tâche « Donne-moi » est proposée selon deux modalités d'entrée différentes ; une modalité verbale par un mot-nombre et une modalité digitale par une configuration digitale. Ces tâches sont strictement identiques. La seule différence réside dans la modalité d'entrée (soit verbale, soit digitale).

1. « Donne-moi » en modalité d'entrée verbale

Lors de cette tâche « Donne-moi » inspirée par Wynn (1990,1992), l'examinateur place devant l'enfant 14 billes. Il demande alors à l'enfant de lui fournir le nombre exact de billes souhaité par le biais de la consigne suivante : « Voici des billes, peux-tu m'en donner N s'il te plaît ? » L'examinateur commence par demander une bille à l'enfant. Si l'enfant parvient à donner le nombre correct de billes, l'examinateur va alors lui demander de lui fournir deux billes. À

[25] Cf. annexe 2.
[26] Cf. annexe 2.

chaque fois que l'enfant donnera le nombre exact de N billes, N+1 billes lui sera demandé. Si l'enfant échoue, l'adulte lui demandera, à l'essai suivant, de réaliser une collection de N-1 billes. Cette épreuve est constituée de dix items (allant de 1 à 10) et pour chacun d'entre eux, l'enfant bénéficie de trois chances maximum. Par ailleurs, si l'enfant utilise le dénombrement (par rapport à une simple estimation)[27] pour déterminer la numérosité, mais que le nombre de billes fourni est incorrect de N +/- 1 billes, alors la réponse sera considérée comme juste et l'essai sera jugé correct. La tâche prend fin lorsqu'il n'obtient pas au moins deux bonnes réponses sur les trois pour une numérosité demandée. Par ce biais, l'expérimentateur peut évaluer le niveau de développement cardinal de l'enfant déterminé par la plus grande numérosité pour laquelle l'enfant obtient au moins deux réponses correctes sur les trois essais autorisés.

2. « Donne- moi » en modalité d'entrée digitale

Le déroulement, la cotation et les observations de la tâche en modalité digitale sont identiques à la tâche proposée en modalité verbale. La seule différence est observée dans la consigne donnée à l'enfant : « Voici des billes, peux-tu m'en donner ça (configuration digitale produite par l'examinateur) s'il te plaît ? ».

Une première classification permet de différencier les « subset-knowers » (enfants n'ayant atteint qu'une maîtrise partielle de la cardinalité) et les « cardinal-principle-knowers » (enfants maîtrisant totalement la cardinalité). Une seconde classification permettra de différencier les enfants dont le niveau de maîtrise de la cardinalité en modalité verbale est supérieur au niveau de maîtrise de la cardinalité en modalité digitale (nous dirons qu'ils ont un « avantage verbal »), des enfants ayant un niveau supérieur en modalité digitale (nous dirons qu'ils ont un « avantage digital ») et de ceux présentant exactement le même niveau dans les deux modalités (nous dirons qu'ils ne présentent « pas d'avantage »).

La classification de Sarnecka et Lee (2009) est une première façon d'élaborer l'un des deux groupes. Les enfants sont divisés selon leur niveau de développement cardinal. Ces auteurs différencient les « one-knowers » (les enfants qui maîtrisent la numérosité « un »), les « two-

[27] Dénombrement : processus de quantification permettant de déterminer le cardinal précis d'un ensemble (le cardinal étant le symbole qui désigne le nombre d'éléments inclus dans un ensemble).
Estimation : action d'estimer, c'est à dire de calculer approximativement une quantité.

knowers » (les enfants maîtrisant les numérosités « un » et « deux », mais ne pouvant pas fournir une collection de trois objets), les « three-knowers » (les enfants capables de produire une collection de un, deux ou trois objets, mais pas une collection de plus de trois objets), et les « four-knowers » (les numérosités « un », « deux », « trois » et « quatre » sont acquises chez ces enfants). D'après ces auteurs, l'ensemble des enfants étant des « one- two ou three-knowers » est appelé les « **subset-knowers** » et constitue notre premier groupe. Par ailleurs, une fois que les enfants sont capables d'attribuer une signification cardinale aux quatre premiers mots-nombres, ils sont capables de le faire pour tous les autres mots-nombres. Ces enfants acquièrent le principe de cardinalité de manière définitive et sont nommés les « **cardinal principle-knowers** ». Ils représentent notre second groupe.

Une seconde façon d'élaborer un groupe est de diviser les enfants d'après leurs résultats obtenus dans les différentes modalités de cette tâche. Un premier groupe est constitué d'enfants possédant un **avantage en modalité verbale**. L'enfant a donc un niveau de développement cardinal supérieur lorsque la modalité d'entrée est verbale. Par exemple, « Donne-moi « trois » billes s'il te plaît ». Un second groupe représente les enfants détenant de **meilleurs résultats en modalité digitale**. L'enfant a donc un niveau de développement cardinal supérieur lorsque la modalité d'entrée est digitale. Par exemple, « Donne-moi « ça » (configuration digitale du nombre trois) de billes s'il te plaît ». Enfin, un troisième groupe rassemble les enfants ayant un **niveau de développement cardinal identique**, quelle que soit la modalité d'entrée. Le tableau 4 ci-dessous vous permettra de visualiser les deux types de groupes formés suite à cette épreuve et leurs sous-groupes créés.

Tableau 4
Représentation des groupes et sous-groupes créés à l'aide de la tâche « Donne-moi ».

1^{e} groupe		2^{e} groupe		
Subset-knowers	**Cardinal**-knowers	Avantage modalité **verbale**	Avantage modalité **digitale**	Niveau de développement cardinal **identique** quelle que soit la modalité d'entrée

TÂCHE ÉVALUANT LE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES CONFIGURATIONS DIGITALES : LA TÂCHE INFORMATISÉE

Créée à partir d'un logiciel, cette tâche informatisée (administrée via l'écran d'un ordinateur), permet d'évaluer le traitement automatique des configurations digitales.

Pour élaborer ce test, les chercheurs se sont inspirés du test de Stroop[28]. Lors de cet exercice, les participants, assis de façon correcte et confortable devant un ordinateur, doivent indiquer si le nombre verbal entendu est inférieur ou supérieur à un nombre standard établi. Pour cette étude, une configuration unimanuelle[29] est utilisée et, par conséquent, le nombre standard établi est le « 3 ». [30] Différentes conditions (simple, interférente contrôle et double expérimentale) sont proposées aux enfants, ce qui nous permet ainsi d'analyser trois aspects différents selon la condition. La figure 6 illustre la consigne donnée aux enfants en début de tâche.

Figure 6. Représentation des consignes présentées à l'enfant en début de tâche.

[28] La tâche de Stroop est un test psychométrique utilisé pour l'évaluation de l'attention sélective et des capacités d'inhibition. Ce test demande à la personne de maintenir son attention sur une tâche en évitant les éléments perturbateurs.
[29] Utilisant une seule main pour une tâche, une action.
[30] « 3 » étant le nombre du milieu entre 1 et 5.

Après chaque item, l'image des deux bonshommes présents sur la figure 6 apparaît sur l'écran d'ordinateur permettant ainsi à l'enfant de fournir une réponse. Pour ce faire, l'enfant pointe l'un des deux bonshommes. Si le chiffre énoncé oralement par l'ordinateur est supérieur au nombre « 3 », l'enfant est censé appuyer sur le grand bonhomme. Au contraire, si le chiffre énoncé oralement par l'ordinateur est inférieur au nombre « 3 », l'enfant est censé appuyer sur le petit bonhomme. Et ce, quelle que soit la condition.

En 2005, Hubbard et al. démontrent qu'il existe une association entre un nombre et sa représentation spatiale. Les plus petits nombres sont représentés dans l'espace de gauche et les plus grands nombres occupent l'espace de droite (SNARC : Spatial-Numerical Association of Response Code). Afin de contrer cet éventuel effet, deux versions de la tâche ont été conçues. L'une, comme l'illustre la figure 5, propose une disposition de sorte que le bonhomme de grande taille se trouve à gauche et le bonhomme de petite taille se situe à droite. L'autre version présente la disposition inverse : le bonhomme de grande taille est à droite et celui de petite taille se trouve à gauche.

Par ailleurs, afin de neutraliser un biais de lassitude, cette tâche propose quatre ordres différents dans lesquels les items sont placés aléatoirement. Pour chacun d'entre eux, le score et le temps de réaction de l'enfant sont notés automatiquement par l'ordinateur.

Comme dit précédemment, cette tâche propose trois conditions différentes afin de réaliser de multiples analyses.

En <u>condition simple,</u> les enfants doivent comparer un nombre verbal oral cité par l'ordinateur au nombre standard 3 sans autre source stimuli. Nous réalisons cette modalité afin d'analyser si une différence de résultats se présente lorsque l'enfant doit traiter un ou deux stimuli.

En <u>condition interférente contrôle</u>, les enfants sont amenés à comparer un nombre verbal oral évoqué par l'ordinateur au nombre standard 3 en présence d'une couleur qui apparaît simultanément sur l'écran d'ordinateur. Cette condition est proposée afin que nous puissions observer la façon dont l'enfant traite deux stimuli simultanément malgré que l'un d'eux ne soit pas numérique.

Les deux premières conditions nous permettent d'observer si le traitement simultané influence les performances obtenues dans les conditions expérimentales.

Enfin, en condition expérimentale, les enfants comparent un nombre verbal oral énoncé par l'ordinateur au nombre standard 3 en présence d'une configuration digitale présentée simultanément sur l'écran d'ordinateur.

Cette dernière est soit **congruente** : elle va dans le **même sens** que le nombre verbal oral cité. La configuration peut dès lors être strictement identique au nombre verbal énoncé. Par exemple, si le nombre verbal évoqué par l'ordinateur est « quatre », alors la configuration digitale est la main de 4. Ou bien, la configuration peut différencier de un. Par exemple, si le nombre verbal évoqué par l'ordinateur est « quatre », alors la configuration digitale est la main de 5. Ces éléments seront pris en compte lors de l'analyse des résultats et nous permettront d'observer la présence éventuelle d'un effet de distance qui, pour rappel, stipule que plus la distance entre les quantités est grande, plus il est facile de les comparer (ex. : 3 vs 9 plus facile à comparer que 8 vs 9).

D'autre part, la configuration digitale peut également être **incongruente** : elle va dans le **sens inverse** du nombre verbal oral cité. Par exemple, si le nombre verbal évoqué par l'ordinateur est « quatre », alors la configuration digitale présentée simultanément est la main de 1 ou 2.

Ces deux types de configurations digitales (congruente et incongruente) sont proposés afin que nous puissions observer la présence ou non d'un effet de congruence (performances supérieures lorsque les items sont congruents par rapport aux items incongruents). Par ce biais, nous pourrons confirmer ou infirmer l'existence d'un traitement automatique des schèmes des doigts. La figure 7 ci-dessous reprend une illustration des différentes conditions de l'épreuve.

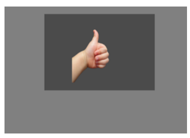
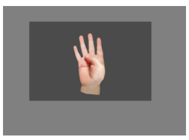
<table>
<tr><td>Condition simple</td><td>Condition interférente contrôle</td><td colspan="3">Conditions expérimentales</td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td colspan="2">Congruente</td><td>Incongruente</td></tr>
<tr><td>Strictement identique</td><td>Différente de 1</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
</table>

Figure 7. Exemple des différentes conditions présentées à l'enfant sur l'écran d'ordinateur si le nombre verbal oral cité par l'ordinateur est « 4 ».

RÉSULTATS

Rappelons notre question de recherche et les trois sous-questions élaborées pour y répondre de façon complète :

« Existe-t-il un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire ? Ce traitement automatique est-il dépendant du stade auquel se situe l'enfant dans son développement numérique et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

1. « Existe-t-il un traitement automatisé ou non des configurations digitales au sein de notre population d'enfants de 2^{e} et 3^{e} années maternelles ? »
2. « Ce traitement automatique est-il dépendant du niveau cardinal verbal de l'enfant et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »
3. « Plus précisément, au sein du facteur <u>niveau cardinal de l'enfant</u> influençant le traitement automatique des représentations digitales, existe-t-il une différence entre l'influence du niveau cardinal verbal et l'influence du niveau cardinal digital ? »

Afin de répondre au mieux à ces 3 sous-questions de recherche, des statistiques descriptives et inférentielles ont été réalisées à l'aide du logiciel JASP 0.11.1.0. La valeur du seuil de significativité lié à la probabilité de dépassement est de 0.05 pour l'ensemble des analyses statistiques effectuées. Pour chaque tâche, le détail des analyses descriptives (moyennes et écarts-types) selon les groupes formés est à visualiser dans le tableau 5.

Par ailleurs, notre échantillon étant relativement petit ($N < 2000$), nous avons vérifié, lorsqu'il était possible de le faire, que les statistiques non paramétriques (prenant en compte la petite taille de l'échantillon) étaient en accord avec les résultats mis en avant par le biais des statistiques paramétriques. Aussi, pour toute ANOVA réalisée, une hypothèse de sphéricité doit être vérifiée. Selon le logiciel JASP, lorsque la mesure répétée ne présente que 2 niveaux d'observation, (ce qui est le cas pour l'ensemble des ANOVA effectuées dans ce mémoire), l'hypothèse de sphéricité est toujours respectée.

Rappelons que la tâche de litanie a été administrée pour vérifier que les résultats n'étaient pas influencés par un faible niveau de langage des mots-nombres. Nous pouvons constater, au vu des moyennes obtenues à cette tâche selon les groupes (7.30 représente la plus petite moyenne), que tous les enfants, même les enfants présentant un niveau de développement cardinal plus bas (les « subset-knowers »), sont capables de compter en moyenne au moins jusque 7. Les résultats présentés par les différents groupes à la tâche informatisée (comparaison à un nombre standard), ne sont donc pas influencés par le fait que les enfants ne connaissent pas les mots-nombres.

Tableau 5

Tableau descriptif des moyennes et des écarts-types des performances obtenues aux différentes tâches proposées selon les groupes créés.

Tableau descriptif Moyenne (écart-type)		Année scolaire		Subset/Cardinal Knowers		Avantages		
		2M	**3M**	**Subset** V	**Cardinal** V	Avantage **verbal**	Avantage **digital**	**Pas** d'avantage
		N = 43	N = 39	N = 10	N = 72	N = 26	N = 15	N = 41
Litanie		13,77 (6,34)	18,85 (2,66)	7,30 (5,12)	17,42 (4,36)	16,31 (5,50)	11,20 (6,98)	17,93 (3,70)
Donne-moi	Verbal	6,72 (3,16)	9,26 (1,37)	2,50 (0,71)	8,68 (1,99)	8,35 (2,45)	4,67 (2,41)	8,85 (2,19)
	Digital	6,326 (2,834)	8,538 (2,426)	3,900 (2,558)	7,861 (2,558)	4,962 (2,408)	7,533 (2,446)	8,85 (2,19)
Comparaison à un nombre standard	Vide	64,83 (24,44)	75,64 (22,57)	58,75 (22,86)	71,53 (23,94)	64,90 (21,51)	60,83 (24,45)	76,52 (24,08)
	Couleur	68,17 (22,36)	77,40 (21,35)	66,25 (15,65)	73,44 (22,95)	66,35 (24,18)	67,50 (14,02)	78,35 (22,32)
	Incongruent	67,98 (21,49)	75,64 (21,64)	55,00 (19,72)	73,93 (21,15)	70,67 (21,49)	63,21 (18,42)	75,31 (22,62)
	Total Congruent	66,57 (23,58)	79,01 (19,89)	58,75 (21,29)	74,39 (22,31)	71,15 (20,08)	63,33 (20,71)	76,68 (24,21)
	Congruent =	67,73 (21,518)	79,81 (17,11)	67,50 (15,81)	74,31 (20,86)	71,64 (18,56)	66,67 (20,95)	77,13 (20,90)
	Congruent distant	66,86 (28,59)	78,85 (24,02)	50,00 (30,62)	75,69 (25,17)	70,67 (24,48)	59,17 (26,50)	78,66 (27,42)

Note. N = le nombre d'enfants par groupe.

Pour répondre à la sous-question : *« Existe-t-il un traitement automatisé ou non des configurations digitales au sein de notre population d'enfants de 2^e^ et 3^e^ années maternelles ? »*, nous avons réalisé des tests T pour échantillons appariés. Ce type d'analyse statistique nécessitant au préalable la vérification de la normalité des données, le test de Shapiro-Wallis a été effectué et a mis en avant, pour les trois groupes d'items comparés, une violation de cette condition d'application. Par conséquent, et en raison de la taille de notre échantillon, nous avons exécuté des tests non paramétriques de Wilcoxon pour échantillons appariés afin de confirmer ou infirmer les résultats des tests paramétriques. Le premier test T nous permet de vérifier l'existence d'une différence significative entre les moyennes des performances obtenues pour le traitement des items vides et des items couleurs. Ce test T montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des deux types d'items [t_1 (81) = -1.43, p = n.s. (non significatif)]. Le second test T nous permet de déterminer s'il existe une différence significative entre les moyennes des performances obtenues pour traiter les items congruents et les items incongruents. Ce test T met en évidence qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes de ces deux types d'items [t_2 (81) = 0.33, p = n.s.]. Le dernier test T nous permet de vérifier l'existence d'une différence significative entre les moyennes des performances obtenues pour traiter les items congruents égaux et les items congruents distants. Ce test T montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes [t_3 (81) = 0.44, p = n.s.]. En accord avec les différents tests paramétriques, les tests non paramétriques de Wilcoxon permettent de conclure en l'absence d'une différence significative entre les médianes des résultats obtenus quel que soit le groupe d'items traité. [w_1 = 433.50 , p = n.s.], [w_2 = 905.50 , p = n.s.], [w_3 = 529.00 , p = n.s.]. Rappelons que notre première hypothèse est l'existence d'un traitement automatisé des configurations digitales dans notre population. Cependant, en raison des données statistiques obtenues ne montrant aucune différence significative entre les groupes d'items traité, ne nous ne sommes pas en mesure d'affirmer cette hypothèse.

Afin de répondre à la sous-question : « *Ce traitement automatique est-il dépendant du niveau cardinal verbal de l'enfant et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ?* », nous avons effectué deux ANOVA mixtes.

Pour analyser si le traitement est dépendant du niveau scolaire, une première ANOVA mixte a été réalisée. [2 années scolaires (2^{e} année maternelle – 3^{e} année maternelle) * 2 types d'items (items congruents – items incongruents)] avec, comme variable dépendante, les performances obtenues à la tâche informatisée et, comme variables indépendantes, le type d'items et l'année scolaire.

Un effet simple de l'année scolaire est significatif [$F(1,80) = 6.27$, $p = 0 .01$)]. Comme vous pouvez le constater sur le graphique de la figure 8, cela signifie que la moyenne des performances des enfants de 2^{e} année maternelle est inférieure à la moyenne des performances des enfants de 3^{e} année maternelle, quel que soit le type d'items rencontré. Cependant, l'effet simple du type d'items rencontré n'est pas significatif [$F(1,80) = 0.14$, p = n.s.]. De plus, l'interaction année scolaire * type d'items est également non significative [$F(1,80) = 0.82$, p = n.s.]. Comme le montre le graphique de la figure 8, il n'y a pas de différence entre les moyennes des performances des enfants pour traiter les items congruents et les items incongruents que ce soit chez les enfants de 2^{e} année maternelle ou chez les enfants de 3^{e} année maternelle. Ces résultats statistiques ne nous permettent pas d'affirmer notre hypothèse, qui, pour rappel, postule une automatisation des configurations digitales plus importante chez les enfants de 3^{e} année maternelle (par rapport aux enfants de 2^{e} année maternelle).

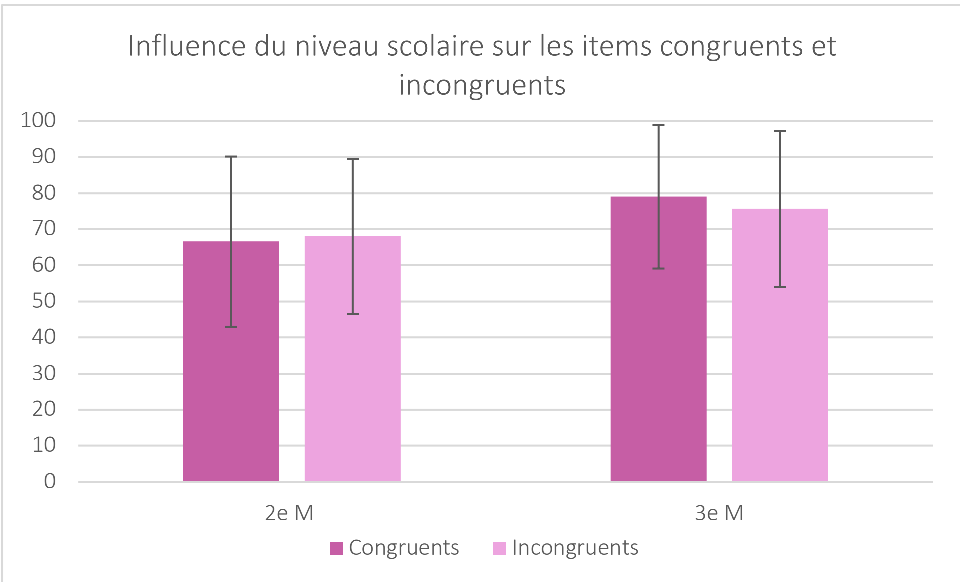


Figure 8. Pourcentage des réponses correctes obtenues à la tâche informatisée pour chaque groupe (2^{e} M = 2^{e} année maternelle ; 3^{e} M = 3^{e} année maternelle) en fonction du type d'items rencontré (congruents vs incongruents).

Par ailleurs, nous avons également suggéré que les enfants (quel que soit leur niveau scolaire) auraient plus de facilités lorsqu'ils sont amenés à traiter des items congruents égaux (ce qui signifie qu'ils sont identiques à la cible) que lors du traitement des items congruents distants (ce qui signifie qu'ils vont dans le même sens que la cible mais qu'ils ne sont pas identiques à la cible). Une ANOVA mixte est réalisée afin de démontrer cette hypothèse. [2 années scolaires (2e année maternelle – 3e année maternelle) * 2 types d'items (items congruents égaux – items congruents distants)] avec, comme variable dépendante, les performances obtenues à la tâche informatisée et, comme variables indépendantes, le type d'items et l'année scolaire.

Un effet simple de l'année scolaire est significatif [$F(1,80) = 6.57$, $p = 0\ .01$)]. Comme vous pouvez le voir sur le graphique de la figure 9, cela signifie que la moyenne des performances des enfants de 2e année maternelle est inférieure à la moyenne des performances des enfants de 3e année maternelle, quel que soit le type d'items rencontré. Cependant, l'effet simple du type d'items rencontré n'est pas significatif [$F(1,80) = 0.19$, p = n.s.]. De plus, l'interaction année scolaire * type d'items est également non significative [$F(1,80) = 4.47^{e}\text{-}4$, p = n.s.]. Comme le démontre le graphique de la figure 9, il n'y a pas de différence entre la moyenne des performances des enfants pour traiter les items congruents égaux et les items congruents distants que ce soit chez les enfants de 2e année maternelle ou chez les enfants de 3e année maternelle. Ces résultats statistiques ne permettent donc pas d'affirmer notre hypothèse, qui, pour rappel, postule un traitement présentant moins d'erreurs pour les items congruents égaux (par rapport aux items congruents distants).

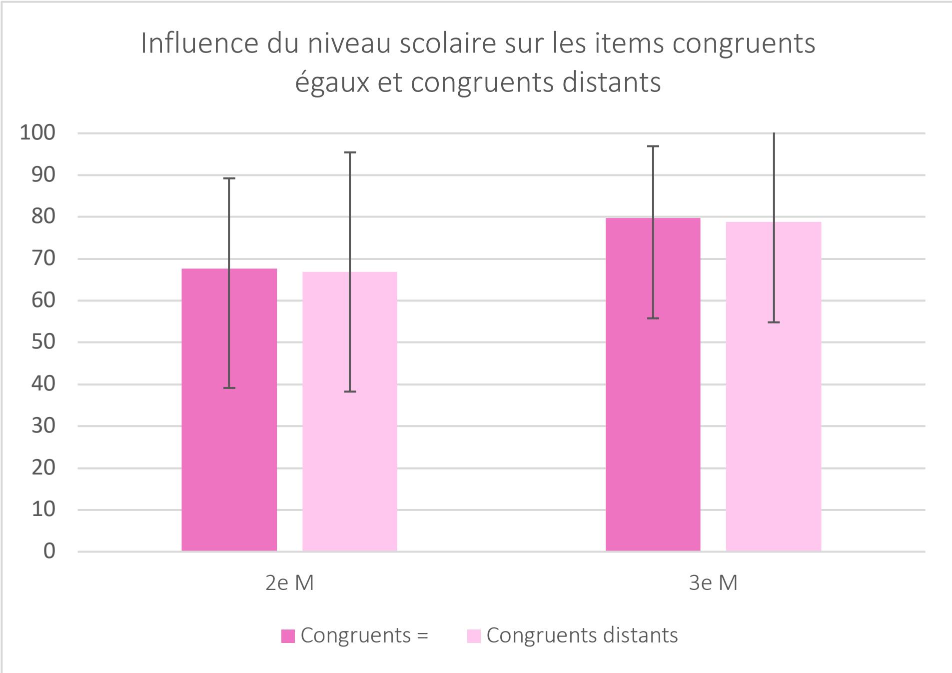


Figure 9. Pourcentage des réponses correctes obtenues à la tâche informatisée pour chaque groupe (2^{e} M = 2^{e} année maternelle ; 3^{e} M = 3^{e} année maternelle) en fonction du type d'items rencontré (congruents égaux vs congruents distants).

Afin de continuer à répondre à cette sous-question[31] et d'observer l'influence du niveau cardinal sur le traitement automatique, une ANOVA mixte est effectuée [2 niveaux de développement cardinal (subset-knowers – cardinal-knowers) * 2 types d'items (items congruents – items incongruents)] avec, comme variable dépendante, les performances obtenues à la tâche informatisée et, comme variables indépendantes le type d'items et le niveau de développement cardinal des enfants.

Un effet simple du niveau de développement cardinal est significatif [$F(1,80) = 8.14$, $p = 0 .01$)]. Comme vous pouvez le voir sur le graphique de la figure 10, cela signifie que la moyenne des performances observées chez les enfants « subset-knowers » est inférieure à la moyenne des performances observées chez les enfants « cardinal-knowers » quel que soit le type d'items traité. Cependant, l'effet simple du type d'items rencontré n'est pas significatif [$F(1,80) = 0.27$, p = n.s.], de même que l'interaction niveau de développement cardinal * type d'items [$F(1,80) = 0.17$, p = n.s.]. Comme vous pouvez l'observer sur le graphique de la figure 10, il n'y a pas de différence entre les moyennes des performances pour traiter les items congruents et celles pour traiter les items incongruents que ce soit chez les enfants « subset-knowers » ou chez les

---

[31] « *Ce traitement automatique est-il dépendant du niveau cardinal verbal de l'enfant et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ?* »

enfants « cardinal-knowers ». Les résultats statistiques ne vont donc pas dans le sens de notre hypothèse stipulant que le niveau de développement cardinal va influencer le traitement automatique des représentations digitales. En effet, aucune différence significative n'est observée entre les deux groupes.

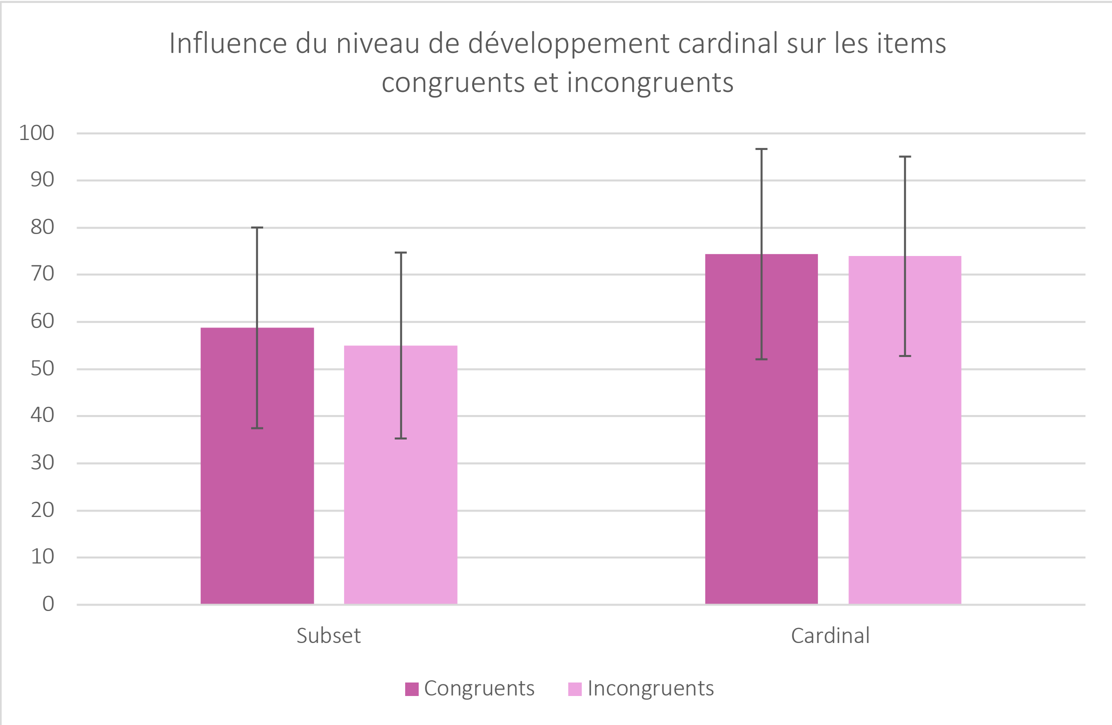


Figure 10. Pourcentage des réponses correctes obtenues à la tâche informatisée pour chaque groupe (subset-knowers et cardinal-knowers) en fonction du type d'items rencontré (congruents vs incongruents).

De plus, pour être plus précis, nous avons également suggéré que les enfants (quel que soit leur niveau de développement cardinal) auraient plus de facilités lorsqu'ils sont amenés à traiter les items congruents égaux (items identiques à la cible) que lors du traitement des items congruents distants (items allant dans le même sens que la cible mais non identiques à la cible). Une ANOVA mixte est réalisée. [2 niveaux de développement cardinal (subset-knowers – cardinal-knowers) * 2 types d'items (items congruents égaux – items congruents distants)] avec, comme variable dépendante, les performances obtenues à la tâche informatisée et, comme variables indépendantes, le type d'items et le niveau de développement cardinal.

Les analyses statistiques mettent en évidence plusieurs effets significatifs. Tout d'abord, un effet simple significatif du niveau de développement cardinal [$F(1,80) = 5.05$, $p = 0 .03$)] est observé. Comme vous pouvez le voir sur le graphique de la figure 11, cela signifie que la moyenne des performances des enfants « subset-knowers » est inférieure à la moyenne des performances des enfants « cardinal-knowers », quel que soit le type d'items rencontré. Ensuite, l'effet simple du type d'items rencontré est également significatif [$F(1,80) = 6.97$, $p = 0.01$]. Enfin, les résultats montrent que l'interaction niveau de développement cardinal * type d'items est aussi significative [$F(1,80) = 9.58$, $p <0.01$]. Comme l'illustre le graphique de la figure 11, les « subset-knowers » présentent de meilleures performances lorsqu'ils doivent traiter des items congruents égaux que lorsqu'ils doivent traiter des items distants même si ceux-ci sont congruents. Cette différence n'est pas retrouvée chez les « cardinal-knowers » qui présentent des performances équivalentes dans le traitement des deux types d'items.

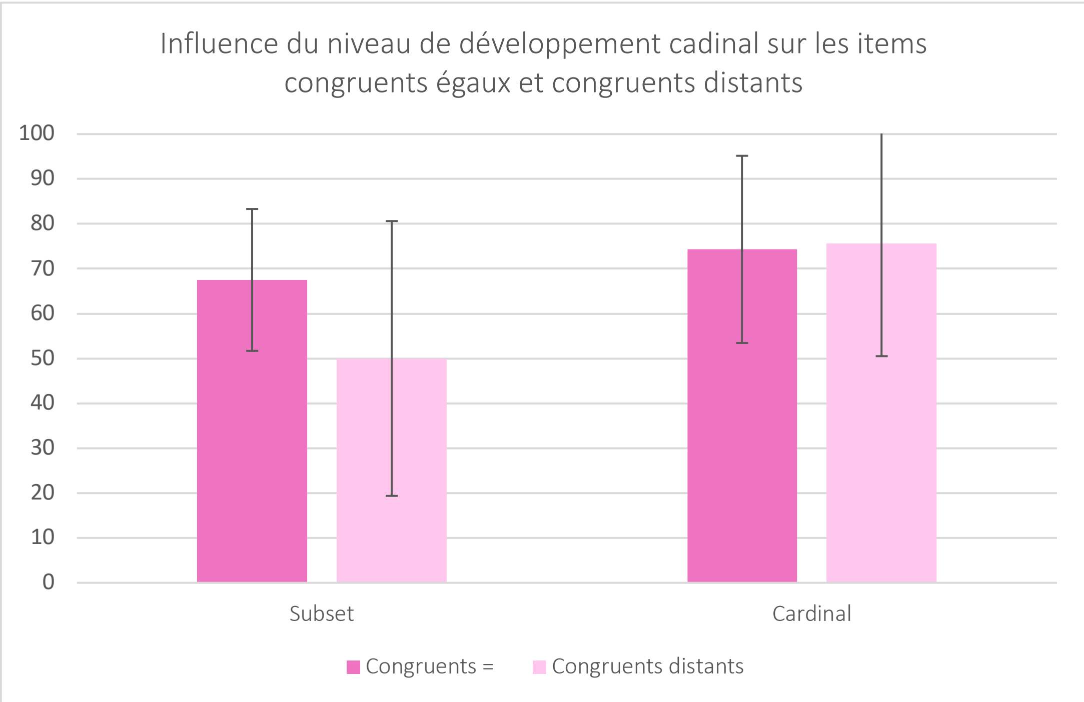


Figure 11. Pourcentage des réponses correctes obtenues à la tâche informatisée pour chaque groupe (subset-knowers et cardinal-knowers) en fonction du type d'items rencontré (congruents égaux vs congruents distants).

Afin d'évaluer, au sein du facteur <u>niveau cardinal de l'enfant</u> influençant le traitement automatique des représentations digitales, s'il existe une différence entre l'influence du niveau cardinal verbal et l'influence du niveau cardinal digital, une ANOVA mixte a été réalisée [3 types d'avantages du niveau cardinal (verbal – digital – pas d'avantage) * 2 types d'items (items congruents – items incongruents)]. La variable dépendante est les performances obtenues à la tâche informatisée et, les variables indépendantes sont le type d'items et le type d'avantages du niveau de développement cardinal des enfants.

Comme l'illustre le graphique de la figure 12, aucun effet n'est significatif. Les résultats statistiques ne nous permettent pas d'affirmer notre hypothèse indiquant que les enfants ayant un avantage digital (c'est-à-dire des performances plus élevées avec des configurations digitales qu'avec des nombres verbaux oraux) devraient plus influencer le traitement automatique (présentant moins d'erreurs) des doigts en comparaison avec les enfants présentant un avantage verbal.

L'effet simple du type d'avantages du niveau de développement cardinal présente les valeurs suivantes [$F(2,79) = 2.72$, p = n.s.)]. Aucune différence significative n'est observée entre les moyennes des performances des 3 groupes quel que soit le type d'items traité. Par ailleurs, les analyses statistiques révèlent également un effet simple non significatif du type d'items rencontré [$F(1,79) = 0.05$, p = n.s.]. Quel que soit le groupe (avantage verbal – avantage digital – pas d'avantage) dans lequel se situe l'enfant, les résultats ne montrent pas de différence entre les moyennes de ses performances pour traiter des items congruents et des items incongruents. Pour finir, l'interaction type d'avantages du niveau de développement cardinal * type d'items est également non significative [$F(1,79) = 0.02$, p = n.s.].

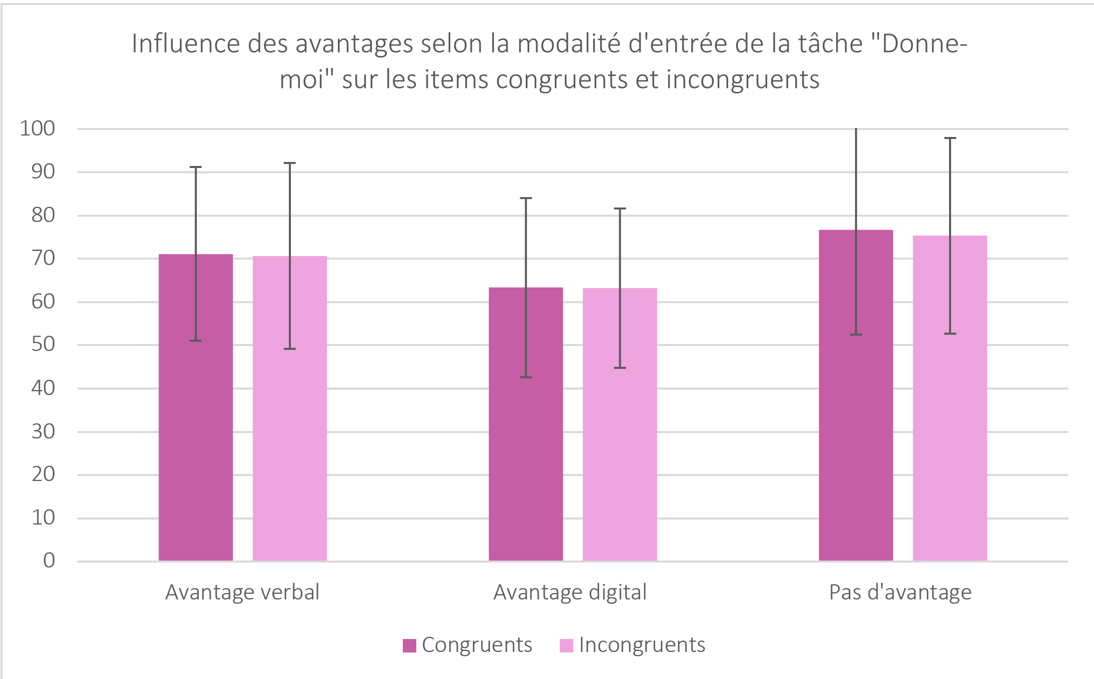


Figure 12. Pourcentage des réponses correctes obtenues à la tâche informatisée pour chaque groupe (selon l'avantage du niveau cardinal de l'enfant) en fonction du type d'items rencontré (congruents vs incongruents).

Afin d'être encore plus précis, nous avons aussi suggéré que les enfants (quel que soit leur avantage du niveau de développement cardinal) auraient plus de facilités lorsqu'ils sont amenés à traiter des items congruents égaux (items identiques à la cible) que lors du traitement des items congruents distants (items allant dans le même sens que la cible mais non identiques à la cible). Une ANOVA mixte est réalisée pour démontrer cette hypothèse [3 types d'avantages du niveau cardinal (verbal – digital – pas d'avantage) * 2 types d'items (items congruents égaux – items congruents distants)]. La variable dépendante est les performances obtenues à la tâche informatisée et, les variables indépendantes sont le type d'items et le type d'avantages du niveau de développement cardinal des enfants.

Les analyses statistiques n'indiquent aucun effet significatif. Bien que nous pourrions croire à une moyenne des performances plus élevée chez les enfants n'ayant pas d'avantage du niveau de développement cardinal par rapport aux moyennes des performances des deux autres groupes (avantage verbal – avantage digital) quel que soit le type d'items rencontré, la différence entre ces groupes n'est pas significative. Illustration sur le graphique de la figure 13. L'effet simple du type d'avantages du niveau de développement est non significatif [$F(2,79) = 2.81$, $p =$ n.s.]. Les analyses statistiques dévoilent également un effet simple du type d'items rencontré non significatif [$F(1,79) = 1.03$, $p =$ n.s.]. Il en va de même pour l'interaction type d'avantages du niveau de développement cardinal * type d'items [$F(1,79) = 1.24$, $p =$ n.s.]. Ces résultats statistiques ne permettent donc pas d'affirmer notre hypothèse, qui, pour rappel, postule un traitement présentant moins d'erreurs pour les items congruents égaux (par rapport aux items congruents distants).

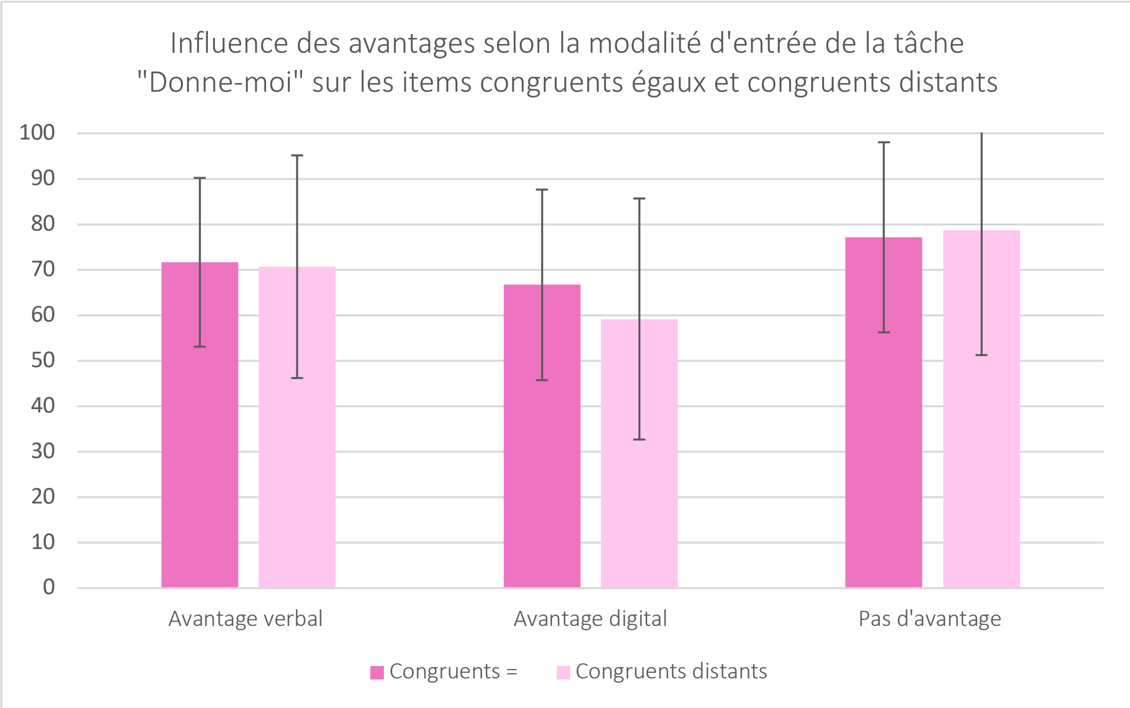


Figure 13. Pourcentage des réponses correctes obtenues à la tâche informatisée pour chaque groupe (selon l'avantage du niveau cardinal de l'enfant) en fonction du type d'items rencontré (congruents égaux vs congruents distants).

DISCUSSION

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'automatisation progressive de la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres chez l'enfant âgé de 2 ;5 à 5 ans. En d'autres termes, nous avons pour but de démontrer l'existence d'un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire, mais également de savoir quels facteurs influencent cette automatisation, le stade auquel se situe l'enfant et/ou son niveau scolaire ?

De nos jours, les données récoltées au sein de la littérature montrent un traitement automatique des symboles numériques chez l'adulte (Tzelgov et al., 1992 ; Girelli et al., 2000). Concernant l'enfant, les chercheurs observent que, dès son plus jeune âge, il est capable de traiter de façon automatique les quantités non symboliques perceptuelles qui lui sont présentées (Rouselle & Noël 2008) et que le traitement des symboles tels que les nombres verbaux et les chiffres devient également automatique, mais de façon plus progressive, au fur et à mesure de son développement et de ses apprentissages. (Girelli et al., 2000 ; Rubinsten et al., 2002 ; Noël et al., 2005). Par ailleurs, il a été démontré que les doigts représentent un outil utilisé par la plupart des enfants afin de développer un système numérique mature (Gelman & Gallistel, 1978 ; Fuson et al., 1982 ; Fuson, 1988 ; Butterworth, 1999, 2005). De même, nous relevons que les adultes (Di Luca & Pesenti, 2008), mais également les enfants de 7 ans (Noël, 2005) présentent un traitement automatique des configurations digitales. La période préscolaire étant le moment où l'enfant utilise le plus souvent ses doigts, nous nous intéressons à mieux comprendre leur implication dans le développement numérique et arithmétique. Cet outil, sert-il juste de façon fonctionnelle (aide au dénombrement) ou bien est-il également impliqué dans le traitement automatique des quantités. Serait-il, dès lors, un élément important au développement ? Nous posons la question de recherche suivante :

« Existe-t-il un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire ? Ce traitement automatique est-il dépendant du stade auquel se situe l'enfant dans son développement numérique et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

Afin d'obtenir les données nécessaires pour émettre des réponses à cette question de recherche, nous proposons aux enfants une tâche de comparaison à un nombre standard dans quatre conditions. Deux d'entre elles, les conditions non expérimentales (items vides et items couleurs), nous permettent d'affirmer que les performances obtenues aux deux autres conditions expérimentales ne sont pas influencées par la prise en compte simultanée de deux éléments lors de la comparaison. Par ailleurs, les deux conditions expérimentales (items congruents et items incongruents) nous aident à observer le caractère automatique du traitement des configurations digitales. En effet, l'une des conditions est congruente, ce qui, pour rappel, signifie que la configuration digitale présentée simultanément et la cible (nombre verbal oral cité par l'ordinateur) vont dans le même sens, ce qui est censé aider l'enfant. Par opposition, la condition incongruente indique que la configuration digitale présentée ne va pas dans le même sens que la cible, ce qui pourrait influencer la réponse de l'enfant et interférer avec ses performances. Le caractère automatique du traitement des configurations digitales est mis en évidence par le biais de deux types d'effets que nous pouvons observer dans cette tâche. L'effet de distance qui stipule que plus la distance entre les quantités est grande, plus il est facile (moins d'erreurs) de les comparer et l'effet de congruence qui correspond à présenter de meilleures performances en condition congruente par rapport à la condition incongruente.

De plus, nous avons élaboré différentes sous-questions d'investigation afin de répondre de manière précise à notre question de recherche. La première est posée afin de démontrer une réelle existence de l'automatisation des configurations digitales au sein de notre population d'enfants de 2^{e} et 3^{e} années maternelles, la deuxième afin de découvrir la nature des facteurs qui l'influencent, mais également leur degré d'influence. La dernière est établie afin d'être davantage précis sur la nature du facteur « niveau de développement cardinal » influençant l'automatisation des configurations digitales.

SOUS-QUESTION 1 : L'EXISTENCE D'UN TRAITEMENT AUTOMATISÉ AU SEIN DE NOTRE POPULATION

Pour rappel, l'enfant est capable, dès l'âge de 3 ans, de traiter automatiquement les propriétés perceptuelles et numériques des quantités non symboliques (Rouselle & Noël, 2008). Girelli et al. (2000) mettent en évidence un traitement automatique des informations symboliques chez l'adulte. Ils soulignent également que, chez l'enfant, ce traitement automatique des quantités symboliques arrive progressivement, suite à un certain apprentissage. De plus, l'automatisation des configurations digitales a été démontrée chez l'adulte (Di Luca & Pesenti, 2008), mais également chez les enfants de 7 ans (Noël, 2005). Par ailleurs, Gunderson et al. (2015) mettent en évidence que l'expérience mène à un traitement automatisé. Cette théorie expliquerait que le traitement automatique des symboles ne se développe qu'à partir de la première année primaire, au vu de l'utilisation du code arabe plus fréquente en primaire par rapport à la maternelle. La logique de ce postulat stipule que plus l'enfant utilisera ses doigts, plus le traitement des configurations digitales sera automatique. La période préscolaire étant celle durant laquelle l'enfant utilise le plus souvent ses doigts, nous supposons un traitement automatique des configurations digitales dès ce moment-là et posons la sous-question suivante :

« **Existe-t-il un traitement automatisé ou non des configurations digitales au sein de notre population d'enfants de 2e et 3e années maternelles ?** »

Au vu de ces données littéraires, nous émettons l'hypothèse qu'il existe effectivement un traitement automatisé des configurations digitales au sein de notre population regroupant des enfants de 2e et 3e années maternelles.

Les analyses statistiques observées au premier test T (comparant les deux conditions non expérimentales) n'indiquent aucune différence significative entre les moyennes des items vides et des items couleurs. Dès lors, nous pouvons affirmer que le traitement simultané de deux informations n'influence pas les performances obtenues dans les conditions expérimentales. Le deuxième et le troisième test T, comparant les items congruents vs incongruents et les items congruents égaux vs congruents distants nous permettent d'observer l'existence ou non d'un traitement automatisé au sein de notre population. En raison des résultats obtenus à ces différents tests, chacune des comparaisons ne présentant aucune différence significative entre les moyennes des performances pour traiter les items rencontré (peu importe leur nature), nous ne pouvons pas confirmer qu'il existe un traitement automatisé des configurations digitales au sein de notre population. Nous pourrions expliquer ces résultats par le fait que les enfants de cet âge utilisent plus leurs doigts de façon fonctionnelle qu'automatisée. En effet, en 2e et 3e années maternelles, les enfants sont encore au début des apprentissages numériques grâce aux doigts. Ces derniers seraient, à ce moment-là, davantage utilisés en tant qu'aide au dénombrement. Lafay et al. (2013) étudient l'utilisation spontanée des doigts chez les enfants de 2e année maternelle, 3e année maternelle et 1ère année primaire par le biais d'une tâche de comptage d'images et mettent en avant que l'utilisation spontanée des doigts augmente en fonction du niveau scolaire et, qu'elle est à son apogée chez les enfants de 1ère année primaire. Dès lors, notre population est peut-être trop jeune pour pouvoir observer une automatisation des configurations digitales. Cependant, il est important d'interpréter les résultats des autres analyses statistiques afin de pouvoir émettre une conclusion finale quant à la nature de cet outil.

SOUS-QUESTION 2 : LA NATURE DES FACTEURS INFLUENÇANT CETTE AUTOMATISATION

La deuxième sous-question élaborée pour connaître la nature des facteurs influençant cette automatisation est la suivante :

« Ce traitement automatique est-il dépendant du niveau cardinal verbal de l'enfant et/ou de son niveau scolaire ? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

LE NIVEAU SCOLAIRE

Comme décrit précédemment, Gunderson et al. (2015) soulignent que l'entraînement mène à un traitement automatisé. Si nous suivons cette théorie, plus l'enfant utilise fréquemment un code, plus ce dernier fera l'objet d'un traitement automatique. Les enfants de 3e année maternelle ayant un an d'expérience supplémentaire par rapport aux enfants de 2e année maternelle, ils présenteront un traitement plus automatisé des configurations digitales.

Nous émettons l'hypothèse que le niveau scolaire va influencer le traitement automatique des représentations digitales. En effet, les enfants fréquentant une 3e année maternelle seraient plus matures (que les enfants de 2e année maternelle) pour réaliser un traitement automatique des configurations digitales.

Les analyses statistiques concernant l'effet de congruence mettent en exergue que les enfants de 3e maternelle sont en moyenne plus performants que les enfants de 2e année maternelle, quel que soit le type d'items rencontré. Cependant, les résultats indiquent également qu'il n'y a pas de différence pour le traitement des items congruents et des items incongruents que ce soit chez les enfants de 2e année maternelle ou chez les enfants de 3e année maternelle. Aucun effet de congruence n'est observé (quelle que soit la population). Dès lors, nos données ne confirment pas la théorie de Gunderson et ses collaborateurs. Nous ne sommes pas en mesure d'affirmer notre hypothèse qui, pour rappel, postule une automatisation des configurations digitales plus importantes chez les enfants de 3e année maternelle.

De même, les analyses statistiques explorant l'effet de distance indiquent que la moyenne des performances des enfants de 2e année maternelle est inférieure à la moyenne des performances des enfants de 3e maternelle, quel que soit le type d'items rencontré, mais également qu'il n'y a pas de différence entre la moyenne des performances des enfants de 2e et 3e années maternelles pour traiter les items congruents égaux et les items congruents distants. Aucun effet de distance n'est observé au sein de nos deux groupes. Dès lors, nous ne pouvons pas affirmer notre hypothèse qui, pour rappel, postule un traitement présentant moins d'erreurs pour les items congruents égaux.

Nous ne retrouvons pas de différence entre les performances des enfants de 2e et 3e années maternelles concernant le type d'items rencontré. Dès lors, nos résultats n'appuient pas la théorie de Gunderson et al. (2015) stipulant que l'entraînement amène à l'automatisation. Nous ne sommes pas en mesure de confirmer que le traitement automatique se met en place en fonction de l'âge. Dans cette étude, l'âge est représenté en termes de niveau scolaire et non en termes de date de naissance, d'âge chronologique. Il ne faut pas oublier qu'au sein d'un niveau scolaire, certains enfants ont 11 mois de différence. Une autre façon de procéder aurait pu être de considérer l'âge chronologique des enfants au lieu de leur niveau scolaire.

Lafay et al. (2013) étudient les performances d'enfants de 2e année maternelle, 3e année maternelle et 1ère année primaire à une tâche d'identification de configurations digitales et mettent en avant des résultats en partie comparables aux nôtres. En effet, ces auteurs observent que le niveau scolaire influence de façon positive les performances (1ère année primaire > 3e année maternelle > 2e année maternelle). Ils observent également que les enfants de 2e année maternelle ne présentent pas de différence pour traiter des items congruents ou incongruents. Nos résultats peuvent s'expliquer par le fait que les enfants sont trop jeunes ou que la différence entre les enfants de 2e année maternelle et ceux de 3e année maternelle n'est pas suffisante. Par ailleurs, l'absence d'effets de congruence et de distance au sein de notre population appuie les données explorées par Nicoladis et al. (2010) qui ont démontré que les enfants d'âge préscolaire seraient davantage précis dans le traitement spontané avec des mots-nombres qu'avec des gestes et que cette précision augmenterait avec la magnitude des nombres, surtout chez les enfants plus âgés (de 4 à 5 ans). Nos enfants ayant tous au moins 4 ans seraient, selon cette théorie, plus précis avec les mots qu'avec les gestes.

Nous pouvons également discuter l'absence de résultats par le fait qu'il n'existe pas de programme précis concernant la matière à enseigner en maternelle. Chaque enseignant et chaque enfant voient les nombres à des moments variables, parfois plus tôt, parfois plus tard. Cela engendre des différences individuelles entre les enfants. De plus, ces différences interindividuelles proviennent également de la façon dont les parents sont impliqués ou non dans la scolarisation de leur enfant. En effet, un parent impliqué aura tendance à stimuler son enfant, à lui fournir des exercices, des explications, etc. Enfin, la plupart des enfants testés fréquentent une classe mixte de 2^{e} et 3^{e} années maternelles. Cela signifie, par exemple, que bien qu'ils soient en 2^{e} année maternelle, ils peuvent avoir des compétences supérieures et peuvent , dès lors, être amenés à faire les exercices des enfants de 3^{e} année maternelle. Et vice versa pour les enfants de 3^{e} année maternelle ayant des compétences inférieures. Une classe mixte implique qu'un enfant de 2^{e} année maternelle puisse davantage effectuer des exercices proposés aux enfants de 3^{e} année maternelle par rapport à une classe non mixte composée uniquement d'enfants de 2^{e} année maternelle ou d'enfants de 3^{e} année maternelle. Cette absence de différence entre les enfants de 2^{e} et 3^{e} années maternelles peut donc dépendre du programme d'enseignement décidé en partie par l'enseignant, du soutien parental, mais également du fait que la plupart des enfants proviennent d'une classe mixte composée d'enfants de 2^{e} et 3^{e} années maternelles.

LE NIVEAU DE DÉVELOPPEMENT CARDINAL

Le niveau de développement cardinal nous semble également être un facteur pouvant influencer ce caractère automatique du traitement des configurations digitales. Par définition, les enfants appelés « cardinal-knowers » ont acquis le principe de cardinalité de manière définitive, quelle que soit la numérosité. Les enfants nommés « subset-knowers » produisent des collections allant jusque 3 objets. Au vu de notre tâche informatisée présentant des items allant de 1 à 5, nous supposons que les « cardinal-knowers » présenteront un avantage par rapport aux « subset-knowers » pour qui la compréhension de la cardinalité s'arrête à la numérosité 3. Cependant, nous gardons en tête la découverte de Gunderson et al. (2015) qui mettent en évidence une supériorité des gestes pour dénombrer une quantité chez les enfants appelés « subset-knowers ». Ces derniers sont, en effet, plus à l'aise avec les configurations digitales qu'avec les mots-nombres.

Quel que soit le groupe dans lequel se situe l'enfant, aucun effet de congruence n'est observé. Bien que les analyses statistiques mettent en évidence une supériorité des performances chez les enfants « cardinal-knowers » par rapport à celles observées chez les « subset-knowers », aucune différence significative entre les moyennes des performances pour traiter les items congruents et pour traiter les items incongruents n'est constatée, quel que soit le groupe auquel appartient l'enfant.

L'analyse permettant d'observer ou non la présence d'un effet de distance met en avant des performances inférieures chez les enfants « subset-knowers » par rapport aux performances des enfants « cardinal-knowers », quel que soit le type d'items rencontré. Les résultats démontrent également que les « subset-knowers » présentent de meilleures performances lorsqu'ils sont amenés à traiter des items congruents égaux que lorsqu'ils doivent traiter des items distants même si ceux-ci sont congruents. Cette différence n'est pas retrouvée chez les « cardinal-knowers » qui présentent des performances équivalentes dans le traitement des deux types d'items. Ces données nous permettent d'affirmer un effet de distance présent chez les « subset-knowers » et absent chez les « cardinal-knowers ».

Les données récoltées (performances supérieures chez les « cardinal knowers », aucun effet de congruence quel que soit le groupe et effet de distance seulement chez les « subset-knowers ») ne nous permettent pas de confirmer que le niveau de développement cardinal influence le traitement automatique des représentations digitales. L'absence d'effet de congruence peut s'expliquer par la théorie de Nicoladis et al. (2010) qui ont démontré que les enfants d'âge préscolaire sont davantage précis dans le traitement spontané avec des mots-nombres qu'avec des gestes et que cette précision augmente avec la magnitude des nombres, surtout chez les enfants plus âgés (de 4 à 5 ans). Nos enfants ayant tous au moins 4 ans seraient, selon cette théorie, plus précis avec les mots qu'avec les gestes.

L'effet de distance observée chez les « subset-knowers » appuie la théorie de Gunderson et al. (2015) prônant une supériorité des gestes pour dénombrer une quantité chez ces enfants. Par ailleurs, nos résultats soutiennent les dires de Guedin et al. (2018). D'après ces auteurs, à partir d'une bonne connaissance de la quantité 4, cet avantage gestuel disparaît, car les mots deviennent alors plus économiques que le recours aux doigts. Les « cardinal-knowers » qui, par définition, ont acquis de manière définitive le principe de cardinalité, possèdent une bonne représentation du nombre. Dès lors, l'absence d'interférence des configurations digitales éloignées ou identiques chez les enfants « cardinal-knowers » peut s'expliquer par le fait que les enfants appartenant à ce groupe, au vu de leur niveau de compréhension de cardinalité, n'ont plus besoin de cette aide-externe proposée pour se représenter la quantité. Les configurations digitales n'auraient, pour eux, pas d'influence. L'effet de distance observé chez les « subset-knowers » appuie la théorie de Gunderson et al. (2015) qui présente une supériorité des gestes pour dénombrer une quantité chez ces enfants, mais aussi celle de Wynn (1992) indiquant que la compréhension du principe de cardinalité peut aller de un à trois chez les « subset-knowers ». En effet, il est logique d'observer que les configurations digitales congruentes égales soient plus opportunes aux enfants appartenant à ce groupe au vu de leur représentation peu claire des quantités supérieures à leur niveau de cardinalité et de leur préférence à communiquer des quantités avec leurs doigts plutôt qu'avec des mots. Par ailleurs, un échantillon plus important ou une répartition plus équilibrée entre les « subset-knowers » et les « cardinal-knowers » pourrait être plus intéressant et amener d'autres résultats. En effet, les « subset-knowers » sont au nombre de 10 alors que les « cardinal-knowers » sont 7 fois plus nombreux, 72 enfants constituent ce groupe. Il est important que le nombre d'enfants dans chaque groupe (subset vs cardinal) soit plus équilibré.

SOUS-QUESTION 3 : PRÉCISION QUANT À LA NATURE DE L'INFLUENCE DU FACTEUR NIVEAU CARDINAL DE L'ENFANT SUR L'AUTOMATISATION

Au sein de ce facteur du niveau de développement cardinal, nous nous sommes demandé s'il existait une différence d'influence entre le niveau cardinal verbal et le niveau cardinal digital. Nous tentons donc à répondre à la sous-question suivante :

« Plus précisément, au sein du facteur niveau cardinal de l'enfant influençant le traitement automatique des représentations digitales, existe-t-il une différence entre l'influence du niveau cardinal verbal et l'influence du niveau cardinal digital ? »

Nous émettons l'hypothèse que les enfants ayant un avantage digital (c'est-à-dire des performances plus élevées avec des configurations digitales qu'avec des nombres verbaux oraux) devraient davantage influencer le traitement automatique des doigts en comparaison avec les enfants présentant un avantage verbal. En effet, détenir un avantage digital suppose que ces enfants utilisent plus fréquemment leurs doigts et sont plus familiers avec ces derniers par rapport aux enfants présentant un avantage verbal. Ayant un avantage digital, ces enfants présument une plus grande familiarité avec les configurations digitales. Leurs expériences face aux configurations digitales sont plus nombreuses. Ils ont, dès lors, plus de facilités à les comprendre et à les assimiler. Par ailleurs, nous savons que plus un enfant est exposé à un apprentissage, plus il sera rapide pour lui de développer le traitement automatique de cet apprentissage (Gunderson et al., 2015).

Les données issues de nos analyses statistiques mettent en avant qu'il n'y a pas de différence entre les moyennes des performances des trois groupes (avantage verbal – avantage digital – pas d'avantage) quels que soient les items rencontrés. Par ailleurs, aucune différence n'est observée lorsque les enfants doivent traiter des items congruents et des items incongruents ou encore lorsqu'ils doivent traiter des items congruents égaux et des items congruents distants. Pour résumer, aucun effet de congruence ni de distance n'est observé.

Dès lors, nos résultats statistiques (aucun effet de congruence et aucun effet de distance quel que soit le groupe dans lequel se situe l'enfant) n'appuient pas la théorie de Gunderson et al. (2015). Nous ne pouvons pas confirmer qu'il existe une différence d'influence entre les enfants présentant un niveau cardinal verbal et ceux présentant un niveau cardinal digital.

Notre échantillon n'étant pas très important (seulement 15 enfants composent le groupe « avantage digital », 26 enfants sont dans le groupe « avantage verbal » et 41 enfants ne présentent aucun avantage), il serait intéressant d'effectuer ces analyses statistiques avec les données issues d'un échantillon plus robuste. Il serait également profitable d'équilibrer la répartition du nombre d'enfants dans les trois groupes.

L'absence de résultats pourrait s'expliquer par un manque de données au vu de la taille de notre échantillon mais également par une mauvaise répartition des enfants dans les groupes. D'autre part, lors de la tâche « Donne-moi » en modalité digitale, certains enfants, dont le résultat a été noté correct, ont tendance à compter un à un le nombre de doigts levés et ne reconnaissent pas directement le nombre de billes à donner. Pouvons-nous donc considérer qu'ils présentent un avantage digital ?

En 2017, Hornung et al. mettent en exergue que la tâche de dénomination rapide[32] de configurations digitales est la mesure la plus fiable pour prédire les performances arithmétiques des élèves de 1ère année primaire. Selon eux, les enfants plus compétents dans la dénomination rapide des configurations digitales ont une compréhension plus profonde du concept du nombre et sont dès lors susceptibles d'être plus compétents en arithmétique. En proposant aux enfants une tâche de dénomination rapide automatisée des configurations digitales au préalable à la tâche « Donne-moi », nous pourrions comparer les résultats obtenus. De ce fait, nous connaîtrions directement quels stimuli sont plus familiers aux enfants et, dès lors, obtenir une façon plus sensible et fidèle de les répartir au sein des sous-groupes « avantages ».

Pour conclure, nous avons analysé le traitement automatique des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire par le biais de deux effets (congruence et distance). Cependant, seul un effet de distance est observé chez les enfants «subset-knowers », pour qui la compréhension du principe de cardinalité n'est pas généralisée et va jusque maximum 3. Les enfants présents dans ce groupe ont donc une représentation moins précise des nombres supérieurs à leur niveau de cardinalité. Ces résultats pourraient s'expliquer de manière générale par plusieurs théories émises.

Tout d'abord, les participants à l'étude ont tous au moins 4 ans. Selon les dires de Nicoladis et al. (2010), les enfants de cet âge sont plus précis pour le traitement spontané des quantités avec les mots-nombres qu'avec les gestes. Les configurations digitales n'auraient peut-être donc pas d'influence sur notre population, ce qui expliquerait que les résultats entre items congruents vs incongruents et entre items congruents égaux vs congruents distants ne diffèrent quasi pas.

Ensuite, selon Guedin et al. (2018), à partir d'une bonne connaissance de la quantité 4 (cas du groupe « cardinal-knowers »), l'avantage gestuel prôné par Gunderson et al. (2015) disparaît, car les mots deviennent alors plus économiques que le recours aux doigts. La plupart de notre population appartient au groupe « cardinal-knowers », pour qui le principe de cardinalité est généralisé (Wynn, 1992 ; Sarnecka & Lee, 2009). L'absence de différences entre les

[32] Les tâches de dénomination rapide automatisée consistent à nommer le plus rapidement possible des stimuli visuels familiers (ex. : des images, des lettres, etc.) (Denckla et Rudel, 1974).

performances pour traiter les différents types d'items peut donc être expliquée par le fait que la majorité de notre population appartient au groupe pour qui les schèmes des doigts n'ont plus d'influence sur la représentation des quantités (vu qu'elles sont précises pour ce groupe).

Enfin, une grande partie des enfants testés fréquente une classe mixte de 2e et 3e années maternelles. Bien qu'ils soient inscrits en 2e ou en 3e année maternelle, ils sont parfois amenés à réaliser des exercices d'enfants plus ou moins avancés selon leur niveau. La différence de niveau peut donc être moins marquée par rapport à une population venant principalement de deux classes bien définies et séparées.

D'après nous, une différence plus importante entre les enfants aurait pu amener des résultats différents. Avant la crise sanitaire, il était prévu d'intégrer des enfants de 1ère année maternelle au sein de notre échantillon. En 1ère année maternelle, les enfants ont tous moins de 4 ans et sont tous censés appartenir au groupe « subset-knowers ». Cette population aurait pu davantage bénéficier des configurations digitales présentées dans la tâche informatisée. Nous aurions peut-être observé une interférence plus importante des configurations digitales sur les performances obtenues à la tâche informatisée.

LIMITES

Bien qu'intéressante, notre étude présente plusieurs limites que nous abordons dans la suite de cet écrit.

Tout d'abord, rappelons que cette étude s'inscrit dans le cadre d'une étude plus générale menée par le service de neuropsychologie au sein de l'Université de Liège dans le service du Professeur Laurence Rousselle. De ce fait, les enfants se sont vu administrer un grand nombre de tests, tous ne servant pas pour cet écrit. Par conséquent, nous avons remarqué que, malgré la pause au milieu du testing, ce dernier paraissait très long pour les enfants qui se déconcentraient et se décourageaient malgré nos encouragements. L'ensemble des tests réalisés ne reflète pas, selon nous, les réelles compétences des enfants en raison de la fatigue, de la démotivation et de la déconcentration qui se sont accentuées au fur et à mesure des exercices proposés. De même, le caractère répétitif de certaines tâches (ex. : la tâche « Donne-moi »), bien que nécessaire pour comparer ces épreuves, engendre chez l'enfant de la lassitude.

Chez les enfants d'âge préscolaire, la variabilité interindividuelle est particulièrement importante au niveau des compétences digitales ou numériques, des compétences attentionnelles, mais également de la motivation et des intérêts. Au sein de notre population, certains enfants de 2e année maternelle sont capables de réciter la chaîne numérique verbale jusque 20 sans se tromper alors que d'autres enfants du même niveau scolaire ne comptent que jusque 4. Il en est de même pour les enfants de 3e année maternelle. Certains récitent correctement jusque 10 alors que d'autres sont capables de le faire jusque 20. Par ailleurs, certains enfants parviennent à rester concentrés tout au long du testing alors que d'autres se déconcentrent après un exercice. La variabilité intra-individuelle est également très variable chez les jeunes enfants. Un enfant capable de compter jusque 20 avant la pause n'a récité correctement la chaîne numérique que jusque 10 après la pause pour cause de déconcentration ou de dissipation. Afin de contrebalancer ces variabilités, il est important d'obtenir un grand nombre de données. Au sein de notre échantillon, le nombre d'enfants étant inférieur à 50 dans la plupart des groupes (sauf pour le groupe « cardinal-knowers » où N= 72), notre effectif n'est pas suffisant pour obtenir des données robustes.

Outre le fait que le nombre d'enfants ne soit pas suffisant dans les groupes, leur répartition n'est pas équilibrée. En effet, le groupe « subset-knowers » est composé de 10 enfants alors que le groupe « cardinal-knowers » en compte 72. De plus, les enfants formant le groupe « avantage verbal » sont 26, les enfants constituant le groupe « avantage digital » sont 15 alors que le plus conséquent est le groupe « pas d'avantage », regroupant 41 enfants.

Dans le contexte de la crise sanitaire, nous avons dû récolter des données de l'an passé. Dès lors, tous les enfants n'ont pas été testés par le même examinateur. Bien que des normes de passation existent, chaque personne se crée ses habitudes et procède de façon différente. Dans le même ordre d'idée, les personnalités diffèrent d'une personne à l'autre. Certains examinateurs sont susceptibles d'influencer (de manière positive ou négative) l'enfant par des mimiques, des indices non verbaux, etc. De plus, certaines personnes sont plus sujettes à vouloir aider l'enfant et donc, à être plus clémentes envers les notes attribuées. Cependant, dans le cadre de cet écrit, le biais de variabilité de résultats dû à l'expérimentateur est limité, car les tests ont été administrés par seulement deux personnes différentes.

Concernant les conditions et moments de passation, nous pouvons émettre deux remarques. La première est que, bien que nous ayons testé des enfants dans une pièce calme et familière, celle-ci était le lieu de passage des enfants de la classe pour accéder aux toilettes. Certains participants ont alors été distraits lors du passage d'un copain. Par ailleurs, le moment de la journée n'était pas toujours adéquat et équitable d'un enfant à l'autre. Nous voulons dire par là qu'un enfant testé dès son arrivée à l'école possèdera plus de ressources attentionnelles et présentera moins de fatigue accumulée qu'un enfant testé en fin de journée.

Nous avons également pensé à certaines limites retrouvées dans la tâche informatisée et dans la façon d'analyser les résultats. Tout d'abord, bien que les premiers essais soient des items contrôles, nous ne pouvons pas facilement vérifier la compréhension de l'enfant. En effet, les items défilent les uns après les autres et nous ne pouvons pas marquer de pause entre les premiers items afin de vérifier que l'enfant a correctement compris la consigne, vérifier s'il comprend les notions « plus grand/ plus petit » ou encore afin de lui fournir des explications supplémentaires s'il réalise des erreurs. Sans cela, nous ne pouvons pas être certains que l'enfant ait compris ce qu'il fallait faire. Les premières réponses correctes sont, dès lors, peut-être le fruit du hasard ? Ensuite, nous avons proposé des items allant de 1 à 5 en comparaison avec le nombre standard 3. Ce traitement de petits nombres ne laisse la possibilité que d'une distance de « un » maximum entre les items congruents égaux et les items congruents distants. Or, une distance de « un » peut être plus compliquée à traiter que des nombres égaux ou des nombres présentant une distance de 3 ou 4 (pour rappel, plus la distance entre les quantités est grande, plus il est facile de les comparer). De plus, nous avons évalué le caractère automatique des configurations digitales en analysant le pourcentage de réponses correctes à la tâche informatisée. Or, un traitement automatique est dit « rapide et sans effort ». Nous aurions, dès lors, pu prendre en compte le temps de réponse pour analyser les résultats. Enfin, la tâche informatisée nécessite une certaine maîtrise pour comparer des quantités. Pour ce faire, il est essentiel de comprendre et savoir que, par exemple, 2 est plus petit que 3. Or, selon Sella et Lucangelli (2020) les enfants de maternelle ont plus l'habitude de compter vers l'avant que vers l'arrière. Leur concept de quantité et de nombre est moins stable pour accéder au chiffre précédent que pour accéder au chiffre suivant. Le caractère comparatif de cette tâche est peut-être compliqué pour certains enfants.

Concernant les groupes, nous avons énoncé quelques remarques dans la discussion que nous allons rappeler. Tout d'abord, la répartition du nombre d'enfants dans les groupes n'est pas équitable (cf. tableau 5 : tableau descriptif). Ensuite, la formation des groupes « subset-knowers » et « cardinal-knowers » peut être discutée. La définition d'un « cardinal -knowers » mise en avant par Wynn (1992) et utilisée par plusieurs auteurs est que l'enfant a acquis le principe de cardinalité de manière définitive, quelle que soit la numérosité. Cependant, au sein de notre échantillon, tous les enfants catégorisés comme « cardinal-knowers » n'obtiennent pas 10/10 à la tâche « Donne-moi ». Peuvent-ils, dès lors, appartenir à ce groupe « cardinal-knowers » ? Le principe de cardinalité est-il réellement généralisé une fois la quantité 4 acquise ?

Enfin, nous avons créé les groupes « avantage verbal – avantage digital – pas d'avantage » suite aux performances des enfants obtenues dans les deux modalités de la tâche « Donne-moi ». Cependant, certains enfants, ne connaissant pas la configuration digitale présentée, comptaient nos doigts (un à un) afin de nous donner la quantité exacte. Peut-on donc considérer la réponse comme correcte concernant l'avantage digital ?

CONCLUSION

La présente étude effectuée a pour but d'explorer l'automatisation des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres auprès d'enfants d'âge préscolaire. En d'autres termes, nous avons pour but de démontrer l'existence d'un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire, mais également de savoir quels facteurs influencent cette automatisation : le stade auquel se situe l'enfant et/ou son niveau scolaire ?

Les résultats obtenus dans cette étude ne nous permettent pas d'affirmer un caractère automatique des configurations digitales au sein de notre population d'enfants de 2^{e} et 3^{e} années maternelles. Nous pouvons, dès lors, amener une réponse à la question qui revient plusieurs fois dans cet écrit : « Cet outil sert-il juste de façon fonctionnelle (aide au dénombrement) ou bien est-il également impliqué dans le traitement automatique des quantités ? Il serait, dès lors, un élément important au développement. » En nous basant sur les données récoltées, par le biais d'une certaine méthodologie et au sein de notre échantillon, nous pencherions, pour le moment, vers l'idée d'un outil fonctionnel.

Toutefois, au vu des éléments littéraires probants concernant l'automatisation du système numérique symbolique chez l'enfant au fur et à mesure de ses apprentissages primaires (Girelli et al., 2000), mais également suite aux découvertes de Di Luca et al. (2011) qui montrent un traitement automatique des schèmes des doigts chez les adultes et à celles de Noël (2005), qui suggère que les enfants de 7 ans possèdent une représentation holistique des nombres exprimés par des configurations digitales, nous pensons qu'il n'y a pas de raison pour qu'il ne se passe rien lorsque les enfants sont en maternelle. Pour l'instant, la manière dont nous avons procédé ne nous permet pas d'observer de résultats. Bien que nous ayons tenté de mettre en place les meilleures conditions méthodologiques possibles, il est évident que certaines choses peuvent être améliorées. Par ailleurs, face à la variabilité présente au sein de notre population d'âge préscolaire (influence de l'âge, des compétences attentionnelles, du système scolaire, etc.), il est compliqué de mettre en place la méthodologie « parfaite et sans limites ».

Pour terminer, cette absence de résultats au sein de notre population nous pousse à nous demander si les enfants testés ne sont pas simplement trop grands et présentant un niveau de développement numérique assez élevé pour que le traitement automatique des nombres verbaux oraux surpasse celui des configurations digitales. Ce qui expliquerait l'absence d'interférence de ces dernières sur les performances à la tâche informatisée.

Nous nous posons également la question de savoir si l'utilisation des doigts est toujours d'actualité au sein de l'enseignement. Apprend-on toujours aux enfants à utiliser leurs doigts ? Les enseignants présentent-ils toujours les différentes façons de se représenter un nombre (nombre arabe, configuration digitale, schème des dés) lors de l'apprentissage d'un nouveau nombre ? Comme expliqué dans la partie théorie de cet écrit, l'utilisation des doigts n'est pas innée et dépend d'une culture à l'autre (Guedin et al., 2018). Si on ne l'apprend plus à l'école, peut-être est-ce logique de ne pas obtenir de résultats ? Afin de savoir si l'enseignement actuel a une part d'influence sur nos résultats, proposer un questionnaire destiné aux enseignants peut être intéressant.

PERSPECTIVES

Cette étude s'inscrivant dans le cadre d'une étude plus générale menée par le service de neuropsychologie au sein de l'Université de Liège dans le service du Professeur Laurence Rousselle, nous proposons différentes manières de l'améliorer sur le plan statistique et méthodologique.

En premier lieu, il serait intéressant d'augmenter le nombre de sujets testés afin de minimiser l'influence de la variabilité interindividuelle. Également, une répartition plus équilibrée des participants au sein des groupes formés permettrait d'obtenir des données plus robustes. De plus, élargir notre population en intégrant des enfants de 1ère année maternelle, mais également des enfants de 1ère année primaire auraient pu amener d'autres résultats. En effet, les enfants de 1ère année maternelle n'ayant pas encore un niveau de développement numérique très élevé pourraient être davantage influencés par les configurations digitales par rapport aux enfants de 3e année maternelle pour qui la représentation des nombres est plus précise. D'un autre côté, inclure des enfants de 1ère année primaire qui entrent dans l'arithmétique et, qui sont dès lors susceptibles d'utiliser leurs doigts pour résoudre des calculs pourrait faire l'objet d'observations intéressantes.

Ensuite, sachant que les enfants de notre échantillon obtiennent au minimum 7 à la tâche de litanie, nous pourrions, dans une étude future, inclure des items allant jusque 7 voire plus si l'échantillon futur, supérieur au nôtre, présentait une litanie plus élevée[33]. Par ailleurs, en incluant davantage d'items (par exemple, des items allant jusque 7), une distance plus importante entre eux pourrait être de mise. Ceci permettrait peut-être d'observer davantage d'effets de distance lors des analyses statistiques, car, pour rappel, plus la distance entre les quantités est grande, plus il facile de les comparer. Cependant, nous n'oublions pas que les enfants sont jeunes et qu'il est important de ne pas leur proposer une tâche trop complexe compte tenu de leur niveau. Incorporer des enfants plus âgés dans notre échantillon pourrait également permettre aux chercheurs de réaliser une tâche plus complexe en termes de nombres utilisés.

---

[33] Il est à noter que, si parmi un grand échantillon d'enfants, nous retirons ceux qui sortent de la moyenne, cela n'influence pas la puissance des effets.

Par ailleurs, il serait intéressant d'analyser la différence de performances des enfants lors du traitement des items incongruents (configurations digitales qui ne vont pas dans le même sens que le nombre verbal oral cité par l'ordinateur) et lors du traitement des items congruents égaux (configurations digitales qui correspondent au nombre verbal oral cité par l'ordinateur). Au vu de l'effet de distance observé chez les « subset-knowers », les configurations digitales proches de la cible énoncée par l'ordinateur sembleraient interférer sur le traitement des nombres verbaux oraux. Or, nous avons comparé les items incongruents vs les items congruents, ces derniers groupant des items congruents égaux et distants. De ce fait, le regroupement de ces deux types d'items (égaux et distants) a peut-être eu une influence sur nos résultats en masquant une certaine interférence significative des items incongruents sur le traitement des nombres verbaux oraux.

Pour finir, comme expliqué précédemment, les procédures pour établir la répartition des enfants dans les différents groupes peuvent être modifiées. Concernant la classification « subset-knowers »/ « cardinal-knowers », nous avons remarqué que certains enfants, en désaccord avec la théorie de Wynn (1992) mettant en avant que les « cardinal-knowers » ont acquis le principe de cardinalité de manière définitive, n'obtenaient pas la note de 10/10 à la tâche « Donne-moi ». Pouvons-nous, dès lors, parler d'une généralisation du principe de cardinalité lorsque l'enfant maîtrise le cardinal de la numérosité 4 ? De ce fait, dans une future étude, nous penserions à établir la classification différemment. Pour analyser de façon plus précise l'interférence des configurations digitales sur les nombres verbaux oraux en fonction du niveau de développement cardinal de l'enfant, nous classerions chaque enfant selon son réel niveau de cardinalité et nous ne ferions plus de généralisation. Les enfants qui obtiendraient moins de 4 à la tâche « Donne-moi » ne seraient plus catégorisés « subset-knowers » et ceux présentant des performances équivalentes ou supérieures à 4 à la tâche « Donne-moi » ne s'appelleraient plus les « cardinal-knowers ». Nous les classifierions «One-knowers» s'ils obtenaient 1/10 à la tâche, «Two-knowers » si leur performance équivalait à 2/10 à la tâche ..., « Six-knowers » si leur résultat était de 6/10 à la tâche, etc.

Concernant la classification qui permet de préciser, au sein du niveau de développement cardinal, si l'enfant possède un avantage verbal, digital ou s'il ne présente pas d'avantage, nos observations nous ont également interpellées. En effet, durant la passation de la tâche « Donne-moi » en modalité digitale, nous avons remarqué, à plusieurs reprises, que certains enfants avaient tendance à compter (un à un) le nombre de doigts levés lorsqu'ils ne reconnaissaient pas directement la configuration digitale présentée et donc, ne savaient pas combien de billes nous donner. Pouvons-nous, dès lors, compter la réponse correcte et considérer qu'ils ont un avantage digital ? Afin d'être plus précis quant aux préférences de stimuli chez l'enfant, nous avons songé à proposer aux participants, au préalable de la tâche « Donne-moi », une tâche de dénomination rapide de configurations digitales prônée par Hornung et al. (2017). Pour rappel, ces derniers mettent en exergue que la tâche de dénomination rapide de configurations digitales est la mesure la plus fiable pour prédire les performances arithmétiques des élèves de 1ère année primaire. Selon eux, les enfants plus compétents dans la dénomination rapide des configurations digitales ont une compréhension plus profonde du concept du nombre et sont, dès lors, susceptibles d'être plus compétents en arithmétique. En proposant aux enfants cette tâche au préalable, nous connaîtrions directement quels stimuli sont plus familiers aux enfants et dès lors, obtiendrions une façon plus sensible et fidèle de les répartir au sein des sous-groupes « avantages ».

En conclusion, bien que les recherches et la compréhension du domaine numérique augmentent depuis quelques années, il existe encore de nombreuses façons d'apporter de nouvelles données à la littérature. Le traitement automatisé des configurations digitales, s'inscrivant dans ce vaste domaine, reste, à ce jour, encore peu étudié. Il serait intéressant de mener diverses études afin d'approfondir les recherches à ce sujet, et ce en fonction des différentes réflexions mises à jour dans ce mémoire.

BIBLIOGRAPHIE

Alibali, M. W., & DiRusso, A. A. (1999). The function of gesture in learning to count: More than keeping track. *Cognitive Development*, *14*(1), 37-56.

Agrillo, C., Piffer, L., & Bisazza, A. (2011). Number versus continuous quantity in numerosity judgments by fish. *Cognition*, *119*(2), 281-287. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.10.022

Andres, M., Seron, X., & Olivier, E. (2007). Contribution of hand motor circuits to counting. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 563–576. https://psycnet.apa.org/doi/10.1162/jocn.2007.19.4.563

Andres, M., Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008). Finger counting: The missing tool?. *Behavioral and Brain Sciences*, *31*(6), 642-643. https://doi.org/10.1017/S0140525X08005578

Andres, M., Michaux, N., & Pesenti, M. (2012). Common substrate for mental arithmetic and finger representation in the parietal cortex. *Neuroimage*, *62*(3), 1520-1528. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.047

Ardila, A. (1993). On the origins of calculation abilities. *Behavioural Neurology*, *6*(2), 89-97. https://doi.org/10.3233/BEN-1993-6204

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science, 255*(5044), 556–559. https://psycnet.apa.org/doi/10.1126/science.1736359

Banks, W. P., Fujii, M., & Kayra-Stuart, F. (1976). Semantic congruity effects in comparative judgments of magnitudes of digits. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *2*(3), 435. https://doi.org/10.1037/0096-1523.2.3.435

Baroody, A. J., & Ginsburg, H. P. (1986). *The relationship between initial meaningful and mechanical knowledge of arithmetic.* In J. Hiebert (Ed.), *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (p. 75–112). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Baroody, A. J. (1987). The development of counting strategies for single-digit addition. *Journal for Research in Mathematics Education*, *18*(2), 141-157. https:// doi.org/ 10.2307/749248

Beller, S., & Bender, A. (2011). Explicating numerical information: When and how fingers support (or hinder) number comprehension and handling. *Frontiers in Psychology*, 2, Article 214. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00214

Bender, A., & Beller, S. (2011). Fingers as a tool for counting–naturally fixed or culturally flexible?. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 256. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00256

Bender, A., & Beller, S. (2012). Nature and culture of finger counting: Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition*, *124*(2), 156-182. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.05.005

Berteletti, I., & Booth, J. (2014). Finger Representation and Finger-Based Strategies in the Acquisition of Number Meaning and Arithmetic. In *Development of Mathematical Cognition* (pp. 109–139). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801871-2.00005-8

Brissiaud, R. (1992). *A tool for number construction: Finger symbol sets.* (C. Greenbaum, Trans.). In J. Bideaud, C. Meljac, & J.-P. Fischer (Eds.), *Pathways to number: Children's developing numerical abilities* (p. 41–65). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Brissiaud, R. (2011). *Comment les enfants apprennent à calculer*. Retz.

Buckley, P. B., & Gillman, C. B. (1974). Comparisons of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, *103*(6), 1131-1136. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0037361

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

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*(1), 3-18. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x

Camos, V., Fayol, M., & Barrouillet, P. (1999). L'activité de dénombrement chez l'enfant: double tâche ou procédure?. *L'année Psychologique*, *99*(4), 623-645. https://doi.org/10.3406/psy.1999.28497

Carey, S. (2000). The origin of concepts. *Journal of Cognition and Development*, *1*(1), 37-41. https://doi.org/10.1207/S15327647JCD0101N_3

Carey, S., & Sarnecka, B. W. (2006). The development of human conceptual representations: A case study. *Processes of Change in Brain and Cognitive Development: Attention and Performance XXI*, 473-496.

Costa, A. J., Silva, J. B. L., Pinheiro-Chagas, P., Krinzinger, H., Lonnemann, J., Willmes, K., Wood, G. & Haase, V. G. (2011). A hand full of numbers: A role for offloading in arithmetics learning?. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 368. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00368

Crollen, V., & Noël, M. P. (2015). The role of fingers in the development of counting and arithmetic skills. *Acta Psychologica*, *156*, 37-44. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.01.007

Crollen, V., Seron, X., & Noël, M. P. (2011). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities?. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 242. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00242

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

Denckla, M. B., & Rudel, R. (1974). Rapid “automatized” naming of pictured objects, colors, letters and numbers by normal children. *Cortex*, *10*(2), 186-202. https://doi.org/10.1016/S0010-9452(74)80009-2

Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Experimental Brain Research*, *185*(1), 27-39. https://psycnet.apa.org/doi/10.1007/s00221-007-1132-8

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*, Article 272. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00272

Domahs, F., Kaufmann, L., & Fischer, M. H. (Eds.) (2012). *Handy numbers: Finger counting and numerical cognition*. Frontiers E-books. https:// doi.org/10.3389/978-2-88919-059-1

Domahs, F., Klein, E., Moeller, K., Nuerk, H. C., Yoon, B. C., & Willmes, K. (2012). Multimodal semantic quantity representations: Further evidence from Korean sign language. *Frontiers in Psychology*, *2,* Article 389. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00389

Dowker, A. (2008). Individual differences in numerical abilities in preschoolers. *Developmental Science*, *11*(5), 650-654. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00713.x

Duncan, E. M., & McFarland, C. E. (1980). Isolating the effects of symbolic distance, and semantic congruity in comparative judgments: An additive-factors analysis. *Memory & Cognition*, *8*(6), 612-622. https:// doi.org/0090-502X/80/060612-11

Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuro-psychological performance: A longitudinal study. *Cognition*, *68*(2), B63-B70. https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00046-8

Fayol, M., & Seron, X. (2005). About Numerical Representations: Insights from Neuropsychological, Experimental, and Developmental Studies. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 3–22).

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

Fischer, M. H., Kaufmann, L., & Domahs, F. (2012). Finger counting and numerical cognition. *Frontiers in Psychology*, *3*, Article 108. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00108

Fischer, U., Suggate, S. P., Schmirl, J., & Stoeger, H. (2018). Counting on fine motor skills: links between preschool finger dexterity and numerical skills. *Developmental Science*, *21*(4), e12623. https://doi.org/10.1111/desc.12623

Frye, D., Braisby, N., Lowe, J., Maroudas, C., & Nicholls, J. (1989). Young children's understanding of counting and cardinality. *Child Development*, *60*(5), 1158-1171. https://doi.org/10.2307/1130790

Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. In C. J. Brainerd (Ed.), *Children's Logical and Mathematical Cognition* (pp. 33–92). Springer Link. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-9466-2_2

Fuson, K. C., Secada, W. G., & Hall, J. W. (1983). Matching, counting, and conservation of numerical equivalence. *Child Development*, *54*(1), 91-97. https://doi.org/10.2307/1129865

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

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*(1), e54651. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054651

Gelman, R., & Gallistel, C. (1978). *Young children's understanding of numbers*. Harvard University Press.

Gelman, R., & Meck, E. (1983). Preschoolers' counting: Principles before skill. *Cognition*, *13*(3), 343–359.

Girelli, L., Lucangeli, D., & Butterworth, B. (2000). The development of automaticity in accessing number magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology, 76*(2), 104–122. https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2564

Guedin, N., Thevenot, C., & Fayol, M. (2018). Des doigts et des nombres. *Psychologie Française*, *63*(4), 379-399. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2017.07.001

Gunderson, E. A., Spaepen, E., Gibson, D., Goldin-Meadow, S., & Levine, S. C. (2015). Gesture as a window onto children's number knowledge. *Cognition*, *144*, 14-28. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.07.008

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*, Article 1746. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01746

Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(6), 435-448. https://psycnet.apa.org/doi/10.1038/nrn1684

Hyde, D. C., & Spelke, E. S. (2011). Neural signatures of number processing in human infants: Evidence for two core systems underlying numerical cognition. *Developmental Science*, *14*(2), 360-371. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00987.x

Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2008). Development of number combination skill in the early school years: When do fingers help?. *Developmental Science*, *11*(5), 662-668. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00715.x

Klein, E., Moeller, K., Willmes, K., Nuerk, H. C., & Domahs, F. (2011). The influence of implicit hand-based representations on mental arithmetic. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 197. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00197

Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction*, *19*(6), 513–526. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002

Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C., & Fayol, M. (2013). The role of fingers in number processing in young children. *Frontiers in Psychology*, *4*, Article 488. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00488

Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, *27*(2), 364-382.

Marinthe, C., Fayol, M., & Barrouillet, P. (2001). Gnosies digitales et développement des performances arithmétiques. *Troubles du Calcul et Dyscalculies Chez L'enfant*, 239-254.

Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., et al. (2012). Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive Processing, 13*(1), 271–274. https://doi.org/10.1007/s10339-012-0457-9

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature*, *215*(5109), 1519-1520.

Neveu, M. (2018). *Des doigts et des nombres. Utilisation d'outils d'analyse du mouvement pour étudier le rôle des doigts dans l'apprentissage de la cardinalité: une étude pilote* [Doctoral dissertation, University of Liège]. MatheO. https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/5660

Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers?. *Cognitive Development*, *25*(3), 247-261. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2010.04.001

Noël, M. P. (2005). Finger gnosia: a predictor of numerical abilities in children?. *Child Neuropsychology*, *11*(5), 413-430. https://doi.org/10.1080/09297040590951550

Noël, M. P., Rousselle, L., & Mussolin, C. (2005). *Magnitude representation in children*. Handbook of Mathematical Cognition, 179-195.

Penner-Wilger, M., & Anderson, M. L. (2013). The relation between finger gnosis and mathematical ability: Why redeployment of neural circuits best explains the finding. *Frontiers in Psychology*, *4*, Article 877. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00877

Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X., & Volder, A. D. (2000). Neuroanatomical substrates of Arabic number processing, numerical comparison, and simple addition: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(3), 461-479. https://doi.org/10.1162/089892900562273

Previtali, P., Rinaldi, L., & Girelli, L. (2011). Nature or nurture in finger counting: a review on the determinants of the direction of number–finger mapping. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 363. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00363

Pinel, P., Piazza, M., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgments. *Neuron, 41*(6), 983–993. https://doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00107-2

Reeve, R. (2011). Five-to 7-year-olds' finger gnosia and calculation abilities. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 359. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00359

Roesch, S., & Moeller, K. (2015). Considering digits in a current model of numerical development. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, Article 1062. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01062

Rousselle, L., & Noël, M. P. (2008). The development of automatic numerosity processing in preschoolers: Evidence for numerosity-perceptual interference. *Developmental Psychology*, *44*(2), 544. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0012-1649.44.2.544

Rubinsten, O., Henik, A., Berger, A., & Shahar-Shalev, S. (2002). The development of internal representations of magnitude and their association with Arabic numerals. *Journal of Experimental Child Psychology, 81*(1), 74–92. https://doi.org/10.1006/jecp.2001.2645

Sarnecka, B. W., & Gelman, S. A. (2004). Six does not just mean a lot: Preschoolers see number words as specific. *Cognition*, *92*(3), 329-352. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.001

Sarnecka, B. W., Kamenskaya, V. G., Yamana, Y., Ogura, T., & Yudovina, Y. B. (2007). From grammatical number to exact numbers: Early meanings of 'one','two', and 'three'in English, Russian, and Japanese. *Cognitive Psychology*, *55*(2), 136-168. https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2006.09.001

Sarnecka, B. W., & Carey, S. (2008). How counting represents number: What children must learn and when they learn it. *Cognition*, *108*(3), 662-674. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.05.007

Sarnecka, B. W., & Lee, M. D. (2009). Levels of number knowledge during early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*(3), 325-337. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.02.007

Sekuler, R., & Mierkiewicz, D. (1977). Children's judgments of numerical inequality. *Child Development*,*48*(2), 630-633. https://doi.org/10.2307/1128664

Sella, F. & Lucangeli, D. (2020). The knowledge of the preceding number reveals a mature understanding of the number sequence. *Cognition 194*, 104104. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104104

Siegler, R. S., & Shrager, J. (1984). Strategic choices in addition and subtraction: how do children know what to do? In C. Sophian (Ed.), *Origins of cognitive skills* (pp. 229–293). Hillsdale: Erlbaum.

Schild, U., Bauch, A., & Nuerk, H. C. (2020). A Finger-Based Numerical Training Failed to Improve Arithmetic Skills in Kindergarten Children Beyond Effects of an Active Non-numerical Control Training. *Frontiers in Psychology*, *11*, Article 529. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00529

Temple, C., 1997. *Developmental Cognitive Neuropsychology.* Psychology Press.

Thevenot, C., Castel, C., Danjon, J., Renaud, O., Ballaz, C., Baggioni, L., & Fluss, J. (2014). Numerical abilities in children with congenital hemiplegia: An investigation of the role of finger use in number processing. *Developmental Neuropsychology*, *39*(2), 88-100. https://doi.org/10.1080/87565641.2013.860979

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*(4), 3139-3148. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.037

Tzelgov, J., & Ganor-Stern, D. (2005). Automaticity in processing ordinal information. *Handbook of Mathematical Cognition*, 55-66.

Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A. (1992). Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(1), 166-179. https://doi.org/10.1037/0278-7393.18.1.166

Van Eerde, D., Van den Berg, W., & Lit, S. (1992). Kwantiwijzer voor leerkrachten. *Werkboek 4: overbruggen van 10 (optellen)*.

Van Rinsveld, A., Hornung, C., & Fayol, M. (2020). Finger Rapid Automatized Naming (RAN) predicts the development of numerical representations better than finger gnosis. *Cognitive Development*, *53*, 100842. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2019.100842

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

Vossius, L. (2019, May 22) *MT 180, finale interuniversitaire 2019 : Mes doigts ne s'ennuient jamais !*. https://www.youtube.com/watch?v=VG8DEoeTVOw

Watts, T. W., Duncan, G. J., Siegler, R. S., & Davis-Kean, P. E. (2014). What's past is prologue: Relations between early mathematics knowledge and high school achievement. *Educational Researcher*, *43*(7), 352-360. https://doi.org/10.3102%2F0013189X14553660

Wiese, H. (2003). Iconic and non-iconic stages in number development: The role of language. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(9), 385–390. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00192-X

Wiese, H. (2007). The co-evolution of number concepts and counting words. *Lingua*, *117*(5), 758-772. https://doi.org/10.1016/j.lingua.2006.03.001

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition, 36*(2), 155–193.

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358*(6389), 749– 750.

Zulauf, M. W., Schweiter, M., & von Aster, M. (2003). Das Kindergartenalter: Sensitive Periode für die Entwicklung numerischer Fertigkeiten. *Kindheit und Entwicklung: Zeitschrift für Klinische Kinderpsychologie*, *12*(4), 222–230. https://doi.org/10.1026/0942-5403.12.4.222

RÉSUMÉ

Dans la société actuelle, les nombres, au vu de leur omniprésence, ont une importance fondamentale. Pour pouvoir s'épanouir et être autonome en communauté, il est primordial de pouvoir traiter précisément ces nombres. Pour y arriver, l'enfant, durant son développement, passe par plusieurs étapes. Parmi celles-ci, nous pouvons relever l'utilisation des doigts. Cette étude a pour objectif d'analyser l'implication des doigts chez l'enfant d'âge préscolaire. À savoir, si les doigts servent juste de façon fonctionnelle (aide au dénombrement) ou bien s'ils sont également impliqués dans le traitement automatique des quantités. Ils seraient, dès lors, un élément important pour le développement numérique. Par conséquent, nous nous posons la question de recherche suivante :

« Existe-t-il un traitement automatisé des configurations digitales chez les enfants d'âge préscolaire ? Ce traitement automatique est-il dépendant du stade auquel se situe l'enfant dans son développement numérique et/ou de son niveau scolaire? Quels facteurs influencent cette automatisation ? »

Pour tenter d'y répondre, nous avons administré 3 tâches différentes à 82 enfants fréquentant une 2e ou une 3e année maternelle. La première, la litanie, nous permet d'explorer la connaissance de la chaîne numérique chez l'enfant. La deuxième, « Donne-moi », conçue par Wynn en 1992, nous aide à situer l'enfant par rapport à son niveau de développement du cardinal et la dernière, la tâche informatisée, nous permet d'observer le traitement automatique des configurations digitales par le biais de deux effets : congruence et distance.

Les résultats obtenus ne nous permettent pas de confirmer l'existence d'un traitement automatique des configurations des doigts au sein de notre population. Les effets de congruence et de distance recherchés n'ont pas été retrouvés. Quels que soient le niveau scolaire (2e ou 3e année maternelle) ou les préférences de stimuli de l'enfant (verbal, digital, neutre), aucune interférence des configurations digitales n'est observée. Toutefois, les enfants présentant un niveau de cardinalité moins élevé semblent tirer profit des configurations digitales alors que ces dernières n'interfèrent pas avec les performances des enfants dont le niveau de développement du cardinal est plus élevé.

« Étude de l'automatisation progressive de la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres chez les enfants âgés entre 2,5 et 5 ans ».

ANNEXES

Promotrice : Laurence Rousselle

Lectrices : Geurten Marie & Libioul Valérie

Étudiante : Lebon Sara

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

Finalité Communication et Handicap

Université de Liège, Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Année académique **2019-2020**

TABLE DES ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1 : LETTRE D'INFORMATIONS ET CONSENTEMENT PARENTAL

Professeur Laurence ROUSSELLE
Docteur en Psychologie, ULiège

Line Vossius
Doctorante en Psychologie, Chercheuse à l'ULiège

Unité de recherche « Enfances »
Université de Liège
Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Madame, Monsieur,
Chers Parents,

Je m'appelle Sara Lebon, je suis mémorante et je travaille avec Line Vossius, chercheuse à l'Université de Liège qui mène actuellement une thèse visant une meilleure compréhension du développement des nombres et des mathématiques chez le jeune enfant en collaboration avec le Dr. Laurence Rousselle, Professeur dans l'Unité de Neuropsychologie, à l'ULiège. L'un de nos projets s'intéresse aux liens entre le comptage sur les doigts (utilisation des doigts dans les activités numériques) et le développement du concept du nombre chez le jeune enfant.

Je vous demande l'autorisation de rencontrer votre enfant au sein de son institution scolaire, suite à l'accord de la direction de l'école, afin d'évaluer ses habiletés digitales et numériques sous forme de petits jeux et exercices ludiques.

Si vous me donnez cet accord, je rencontrerai votre enfant à une seule reprise durant une séance d'une quarantaine de minutes afin de réaliser avec lui des petites activités évaluant les habiletés digitales (par exemple, compter sur ses doigts, imiter des configurations de doigts, etc.) et les habiletés numériques (par exemple, compter des images, compter le plus loin possible, etc.). Votre enfant pourra à tout moment refuser ou arrêter l'exercice en cours de route. Son rythme et ses habitudes (collations, récréations, sieste, etc.) seront respectés.

Les résultats de votre enfant à ces tâches resteront entièrement confidentiels et l'anonymat sera strictement respecté lors du traitement des données. Enfin, je tiens à souligner que vous pouvez à tout moment décider de mettre fin à la participation de votre enfant, et ce sans justification de votre part.

Vous trouverez, joints à cette lettre, un formulaire de consentement à remettre, quelle que soit votre décision, à l'instituteur/l'institutrice de votre enfant.

Je reste bien entendu à votre entière disposition pour tout renseignement complémentaire.

En vous remerciant de l'attention portée à ce courrier, je vous prie de recevoir, Madame, Monsieur, Chers parents, mes salutations respectueuses.

Sara Lebon et Line Vossius

Place des Orateurs, 1, Bât. B33 — 4000 Liège –
Tél : 32(0)4 366 22 26 — Email : Line.Vossius@uliege.be

Université de Liège

Chercheur : Line Vossius (et Sara Lebon)
Unité de Recherche « Enfances » — Service de Neuropsychologie
Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation
B33 Trifacultaire — Quartier Agora
Place des Orateurs 1
4000 Liège
Line.Vossius@uliege.be — Tél. : +32 (0) 4 366 22 26

Titre de l'étude : Étude de l'automatisation progressive de la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres chez les enfants âgés entre 2,5 et 5 ans

Ces recherches accordées par le comité d'éthique de la faculté de psychologie de l'ULiège et menées dans le respect des lois belges du :
– 08/12/1992 relative à la protection de la vie privée
– 07/05/2004 relative aux expérimentations sur la personne humaine

- J'ai lu et compris les informations concernant l'étude et son déroulement
- J'ai pu poser toutes les questions voulues sur l'expérience.
- Je peux mettre un terme à la collaboration de mon enfant à tout moment, sans devoir motiver ma décision.
- J'ai été informé que je peux avoir accès et modifier mes données personnelles.
- Mon enfant pourra à tout moment refuser ou arrêter l'exercice en cours de route.
- Les données recueillies seront strictement confidentielles et anonymisées (codification basale communément utilisée en milieu hospitalier [AA-MM-JJ + initiales]).
- Les résultats obtenus dans le cadre de la recherche ne doivent en aucun cas être utilisés pour établir un diagnostic ou une orientation scolaire.
- Je conserve une copie du présent document signé.

- **J'accepte/je n'accepte*** pas que mon enfant participe à l'étude reprise ci-dessus.

  * biffer la mention inutile

Pour consentement, en date du..............................
Nom et prénom de l'enfant : ....
Numéro de GSM et adresse mail des parents :...

Formulaire signé en double exemplaire dont une copie est remise au participant.

Tuteur légal :
Nom et signature

Chercheur :
Nom et signature
Line Vossius
Vossius L.

Université de Liège

Chercheur : Line Vossius (et Sara Lebon
Unité de Recherche « Enfances » — Service de Neuropsychologie
Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation
B33 Trifacultaire — Quartier Agora
Place des Orateurs 1
4000 Liège
Line.Vossius@uliege.ac.be — Tél. : +32 (0) 4 366 22 26

Titre de l'étude : Étude de l'automatisation progressive de la compréhension des quantités véhiculées par les doigts et les mots-nombres chez les enfants âgés entre 2,5 et 5 ans

Ces recherches accordées par le comité d'éthique de la faculté de psychologie de l'ULiège et menées dans le respect des lois belges du :
- 08/12/1992 relative à la protection de la vie privée
- 07/05/2004 relative aux expérimentations sur la personne humaine

Texte à lire à l'enfant : *« Bonjour, je m'appelle Line, et toi, tu t'appelles comment ? Si tu es d'accord, je te propose de faire des petits jeux ensemble… On va faire des petits jeux avec ces images, ces jetons, cette boîte, et on fera même 3 petits jeux sur l'ordinateur tout à l'heure. Ce sera des petits jeux pour me montrer comment tu sais super bien compter… Tu sais compter toi ? Waouh Trop chouette ! ! »*

Maintenant que je t'ai expliqué en quoi consiste mon projet, es-tu d'accord d'y participer ? Mais tu sais, tu n'es pas obligé de dire oui, tu peux très bien ne pas le faire si tu n'en as pas envie. En plus, si tu commences et que tu n'as plus envie de continuer, il suffit de me le dire et on arrêtera les activités sans problème. Ce ne sera pas grave du tout, tu ne devras pas m'expliquer pourquoi. Et tu pourras tout de suite rentrer en classe/aller retrouver tes parents. Ok ? Alors, tu es d'accord ?

Il faut aussi que je te dise que ce que tu vas faire avec moi, ça va rester entre nous, je n'irai pas raconter comment tu as travaillé avec moi ni à ton institutrice ni à tes parents, je leur dirai juste que tout s'est bien passé s'ils me le demandent. Par contre, toi tu peux leur raconter comment ça s'est passé si tu en as envie. Mais tu n'es pas obligé de leur raconter si tu n'en as pas envie, c'est comme tu veux.

Est-ce que tu as bien compris tout ce que je viens de dire, je sais que c'est un peu compliqué tout ça, mais c'est vraiment important pour moi que tu sois d'accord de faire les exercices, que tu saches que tu peux arrêter quand tu veux et que tout ce qui est dit ici je ne le raconterai à personne, mais toi tu peux en parler à qui tu veux.
Avant qu'on commence à faire les exercices, est-ce que tu as une question pour moi ?

Je soussigné(e), ________________________________ (nom de l'investigateur), avoir expliqué le but et la nature de cette étude à ______________________________ (nom du participant) dans un langage approprié selon l'âge du participant. Il/Elle a eu l'opportunité de parler de l'étude avec moi de façon détaillée. J'ai répondu à toutes ses questions et il/elle a donné son assentiment à sa participation dans cette étude.

Signature de l'investigateur : Date :

LITANIE

DÉVELOPPEMENT NUMÉRIQUE VERBAL

LITANIE

Consignes : *« Est-ce que tu peux compter le + loin possible »* (Max = 20, Amorce si nécessaire : *1, 2, …*)

Essai 1 : ……………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

Amorce nécessaire jusque 3 max	Oui - Non
Usage des doigts	Oui - Non
Usage des doigts correct jusqu'à ……… (*n* doigts) (correct = lever les doigts 1 à 1 en correspondance avec NVO)	Oui - Non

Essai 2 : *« Ouff, tu as compté super vite, je n'ai pas bien tout entendu, est ce que tu peux recommencer ? »*

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

Amorce nécessaire	Oui - Non
Usage des doigts	Oui - Non
Usage des doigts correct jusqu'à ……… (*n* doigts) (correct = lever les doigts 1 à 1 en correspondance avec NVO ?)	Oui - Non

Cotation :

Nombre jusqu'auquel l'enfant sait réciter sans se tromper à 2 reprises (partie stable et conventionnelle)	
Série correcte la plus longue pendant le testing	

5

MODALITÉ VERBALE

Développement numérique verbal : Tâche « Donne-moi » verbale

Consignes et passation : *« Voici des petites billes/fleurs, peux-tu m'en donner n ? »*

Si l'enfant réussit à donner *x*, demander *x + 1* à l'essai suivant.
Si l'enfant échoue à donner *x + 1*, demander *x* à l'essai suivant.

Critère d'arrêt : Arrêt quand l'enfant n'obtient pas au moins 2/3 à une numérosité donnée.

Cotation : Niveau de développement cardinal = + grande numérosité pour laquelle l'enfant a obtenu au moins 2/3.
1 erreur de dénombrement autorisée : Si l'enfant utilise le dénombrement pour déterminer la numérosité, créditer comme correcte une réponse de *x ± 1* en cas d'erreur de dénombrement (Wynn, 1990, 1992).

N	Essai	Procédure (Dénombrement/Estimation)	Nombre donné	0/1
1	1			
	2			
	3			
2	1			
	2			
	3			
3	1			
	2			
	3			
4	1			
	2			
	3			
5	1			
	2			
	3			
6	1			
	2			
	3			
7	1			
	2			

	3			
8	1			
	2			
	3			
9	1			
	2			
	3			
10	1			
	2			
	3			
Niveau de développement cardinal :				

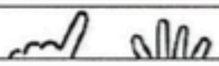
Développement numérique digital : Tâche « Donne-moi » digitale

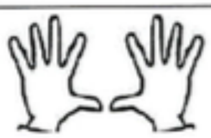
Consignes et passation : « *Voici des animaux, peux-tu me donner ça* [montrer le nombre de doigts requis] *d'animaux ?* » Laisser les doigts visibles jusqu'à la réponse de l'enfant.

Si l'enfant réussit à donner *x*, demander *x + 1* à l'essai suivant.
Si l'enfant échoue à donner *x + 1*, demander *x* à l'essai suivant.

Critère d'arrêt : Arrêt quand l'enfant n'obtient pas au moins 2/3 à une numérosité donnée.

Cotation : Niveau de développement cardinal = + grande numérosité pour laquelle l'enfant a obtenu au moins 2/3.
1 erreur de dénombrement autorisée : Si l'enfant utilise le dénombrement pour déterminer la numérosité, créditer comme correcte une réponse de *x ± 1* en cas d'erreur de dénombrement (Wynn, 1990, 1992).

N	Essai	Procédure (Dénombrement/Estimation)	Nombre donné	0/1
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			

	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
Niveau de développement cardinal :				