



UNIVERSITÉ DE NANTES

Unité de Formation et de Recherche de Médecine et des Techniques Médicales

Année Universitaire 2020-2021

## **Mémoire**

Pour l'obtention du

### **Certificat de Capacité en Orthophonie**

#### **Efficacité d'un entraînement du comptage sur les doigts : comparaison d'enfants malvoyants et tout-venant**

**Présenté par *Aude GUILLON***

**Née le 29/11/1996**

Président du Jury : Madame COUPECHOUX – Helen – Orthophoniste

Directrice du Mémoire : Madame CROLLEN – Virginie – Professeur

Co-Directrice du Mémoire : Madame LEBAYLE-BOURHIS – Annaïck – Orthophoniste,  
Chargée de cours, Directrice des stages au C.F.U.O de Nantes

Membres du jury : Madame LELIEVRE – Camille – Orthophoniste

## REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier tout d'abord ma directrice de mémoire, Mme Virginie Crollen et ma co-directrice, Mme Lebayle-Bourhis. Merci pour votre disponibilité, vos conseils et réflexions partagés tout au long de ce projet ainsi que vos corrections précises et avisées.

Je remercie également les membres du jury de mémoire pour le temps consacré à sa lecture et son analyse.

Je tiens à remercier tout particulièrement les enfants, parents et enseignants, sans qui ce mémoire n'aurait pu être réalisé. Merci pour votre implication et participation enthousiaste à ce projet.

Je souhaite également remercier Menik, ma collaboratrice belge sur cette étude avec qui nous avons surmonté toutes les montagnes russes émotionnelles de ce mémoire. Merci pour ta présence, ton partage et ton soutien tout au long de cette année !

Je remercie Catherine, je ne serais sans doute pas en train de présenter ce mémoire sans vous.

Un immense merci à ma famille et tout particulièrement mes parents. Merci pour votre amour et votre soutien sans faille. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir fait de chaque retour à la maison une bulle de réconfort.

Je souhaite également remercier mes ami.e.s, de toujours et de ces dernières années. Merci Maïder, Laure et Lucile pour votre indéfectible amitié sur laquelle je peux compter, votre soutien à toute épreuve et nos retrouvailles toujours identiques à la veille.

Merci les CL, merci d'être aussi magiques les uns que les autres et de constituer ensemble un cocon d'amitié si soudé.

Merci Clément d'être à la fois la pire et la meilleure personne que je connaisse, ne change pas.

Merci Manon de m'avoir inspirée pour faire ce beau métier et m'avoir guidée tout au long de ces études.

Merci Thaïs, Lella, Alice et Nathan pour ces cinq années incroyables. Merci pour la fête (beaucoup), les rires (aussi) et votre soutien (tout particulièrement cette dernière année).

Merci enfin à Antoine. Merci de croire en moi au quotidien et d'avoir apaisé celui-ci tout au long de cette année.



UNIVERSITÉ DE NANTES  
FACULTÉ DE MÉDECINE  
ET DES TECHNIQUES MÉDICALES

Centre de Formation Universitaire en Orthophonie  
Directeur : Pr Florent ESPITALIER  
Co-Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON  
Directrice des Stages : Mme Annaick LEBAYLE-BOURHIS

## U.E.7.5.c Mémoire Semestre 10

### ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

« Par délibération du Conseil en date du 7 Mars 1962, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation ».

#### Engagement de non-plagiat

Je, soussignée Aude GUILLON déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes ses formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à : Nantes .

Le 24/05/2021

Signature :

## SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THÉORIQUE.....	2
I. Développement typique des compétences numériques.....	2
1. Modèle de Krajewski et Schneider (2009) : Étapes du développement mathématique précoce.....	4
1.1. Niveau 1 - Compétences numériques de base.....	4
1.1.1. Comptage.....	4
1.1.2. Dénombrement.....	5
1.2. Niveau 2 - Relation entre les mots-nombres et la quantité : Cardinalité.....	5
1.3. Niveau 3 - Relation entre les nombres : Arithmétique.....	6
1.3.1. Stratégies de résolution d'additions.....	7
1.3.2. Stratégies de résolution de soustractions.....	9
2. Modèle de Roesch et Moeller (2015) : Rôle de l'utilisation des doigts dans le développement mathématique précoce.....	11
2.1. Niveau 1 - Compétences numériques de base.....	11
2.1.1. Comptage.....	11
2.1.2. Dénombrement.....	12
2.2. Niveau 2 - Relation entre les mots-nombres et la quantité : Cardinalité.....	13
2.3. Niveau 3 - Relation entre les nombres : Arithmétique.....	14
2.4. Liens avec les habiletés digitales précises.....	15
II. Développement des compétences numériques dans le cadre d'une déficience visuelle.....	16
1. Développement des compétences numériques chez les enfants aveugles.....	16
2. Développement des compétences numériques chez les enfants déficients visuels.....	19
PARTIE PRATIQUE.....	21
I. Problématique et hypothèses.....	21
II. Méthodologie.....	23
1. Présentation de la population.....	23
1.1. Cas cliniques.....	23
1.1.1. Critères d'inclusion et d'exclusion.....	23
1.1.2. Recrutement de la population.....	24
1.1.3. Description des cas cliniques.....	24
1.2. Groupe contrôle.....	24
1.2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion.....	24

1.2.2. Recrutement de la population.....	25
1.2.3. Description du groupe contrôle.....	25
2. Ethique et responsabilités.....	25
3. Création du protocole et passations.....	25
4. Procédure.....	26
4.1. Pré-test / Post-test.....	26
4.1.1. WISC-V : QI Verbal.....	26
4.1.2. Compétences mathématiques.....	26
Comptage et Dénombrement.....	26
Comptage.....	27
Utilisation spontanée des doigts : Comptage “double” PAJI.....	27
Utilisation contrainte des doigts : Comptage sur les doigts.....	27
TTA - Fluence arithmétique.....	27
4.1.3. Gnosies digitales.....	27
4.2. Entraînement.....	28
4.2.1. Séances 1 et 2 : Habiletés digitales précises.....	28
4.2.2. Séances 3 et 4 : Comptage digital.....	29
4.2.3. Séances 5, 6, 7, 8 : Arithmétique.....	30
III. Résultats.....	32
1. Sélection de la population en Pré-test.....	32
1.1. Résultats normés.....	32
1.1.1. WISC-V : QI Verbal (Similitudes et Information) en Pré-test.....	32
1.1.2. TTA - Fluence Arithmétique en Pré-test.....	33
1.1.3. Comptage et Dénombrement en Pré-test.....	33
1.2. Appariement des populations en Pré-test.....	34
2. Evolution de la population entre le Pré-test et le Post-test.....	34
2.1. Outils d’analyse statistique.....	34
2.2. Description des résultats par variable.....	35
2.2.1. PAJI – Comptage Double et Utilisation des doigts.....	35
2.2.2. Dénombrement : Comptage sur les doigts.....	36
2.2.3. TTA – Fluence Arithmétique et Pourcentage d’utilisation des doigts.....	36
2.2.4. Gnosies digitales.....	38
2.2.5. WISC-V : QI Verbal (Similitudes et Information).....	38
2.3. Présentation des résultats.....	39
2.3.1. Statistiques descriptives.....	39

2.3.2. Evolution du groupe contrôle entre le Pré-test et le Post-test.....	40
2.3.3. Appariement des populations en gains.....	41
3. Effets qualitatifs observés lors des séances d’entraînement.....	41
IV. Discussion.....	42
1. Synthèse de la recherche.....	42
2. Interprétation des résultats et confrontation aux hypothèses.....	43
2.1. Hypothèse 1.....	43
2.2. Hypothèse 2.....	44
2.3. Hypothèse 3 :.....	46
3. Force et limites de l’étude.....	47
3.1. Forces.....	47
3.2. Limites.....	48
4. Perspectives de recherche.....	49
CONCLUSION.....	50
BIBLIOGRAPHIE.....	51
INDEX DES ANNEXES.....	60

## INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Modèle du développement mathématique précoce selon Krajewski et Schneider (2009) et Roesch et Moeller (2015).....	3
Figure 2 : Séquence occidentale de comptage sur les doigts de 1 à 10.....	11
Figure 3 : Pourcentage d'utilisation des doigts en calcul pour chaque population, en pré-test et post-test.....	40

## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de la population recrutée.....	23
Tableau 2 : Rapport à la norme des notes standards des populations en QI verbal (WISC) au pré-test.....	33
Tableau 3 : Rapport à la norme des scores des cas cliniques en arithmétique (tta) au pré-test.....	33
Tableau 4 : Appariement des cas cliniques au groupe contrôle en pré-test avec calcul de l'effet de taille.....	34
Tableau 5 : Gain de chaque variable chez l'ensemble de la population.....	39
Tableau 6 : Evolution du groupe contrôle indiquée par un test de Wilcoxon.....	40
Tableau 7 : Appariement des cas cliniques au groupe contrôle en post-test avec calcul de l'effet de taille.....	41

## INDEX DES ABRÉVIATIONS

CNV : Chaîne Numérique verbale

DV : Déficient Visuel

GSM : Grande Section de Maternelle

LNM : Ligne Numérique Mentale

MDT : Mémoire De Travail

QI : Quotient Intellectuel

SNARC : Spatial Numerical Association of Response Code

TSAm : Trouble neurodéveloppemental Spécifique des Apprentissages en mathématiques

TTA : TempoTest Automatiseren

## INTRODUCTION

Au cours de cette étude, nous nous intéresserons à développer les compétences arithmétiques d'enfants déficients visuels présentant des difficultés en mathématiques et d'enfants voyants de même niveau mathématique. Pour ce faire les stratégies de calcul basées sur l'utilisation des doigts seront entraînées.

Les études sur le développement typique des habiletés numériques (comptage / dénombrement, cardinalité, arithmétique) mettent en évidence une utilisation concomitante et fréquente des doigts (Butterworth, 1999, cité par Crollen et Collignon, 2016 ; Roesch et Moeller, 2015).

D'autres études s'intéressant au développement de ces habiletés chez les enfants aveugles montrent des compétences identiques à celles des voyants (Crollen et al., 2011, 2014, 2021; Crollen et Collignon, 2020; Dormal et al., 2016) mais l'utilisation de stratégies différentes : les enfants aveugles utilisent en moyenne moins leurs doigts que les voyants, et lorsqu'ils les utilisent, ils présentent des configurations atypiques, différentes de celles observées chez les voyants (Crollen et al., 2011, 2014). Si la majorité des enfants aveugles ne présente pas de retard de développement mathématique, nous pensons que l'apprentissage de cette stratégie pourrait être une piste à explorer pour ceux présentant des difficultés. Par ailleurs, les enfants déficients visuels (DV) peuvent également présenter un retard en mathématique et n'utilisent pas non plus les stratégies de calcul digital. Il nous semble donc intéressant d'explorer chez eux aussi l'apprentissage de ces stratégies.

Ainsi nous ferons un rappel des connaissances scientifiques portant sur le développement typique des habiletés numériques chez l'enfant tout-venant que nous mettrons en lien avec le rôle de l'utilisation des doigts lors des différentes étapes de développement.

Fort de ces connaissances du développement ordinaire, nous exposerons les connaissances actuelles du développement mathématique chez les enfants aveugles et déficients visuels.

Nous aboutirons alors à l'exposé de notre problématique.

# **PARTIE THÉORIQUE**

## **I. Développement typique des compétences numériques**

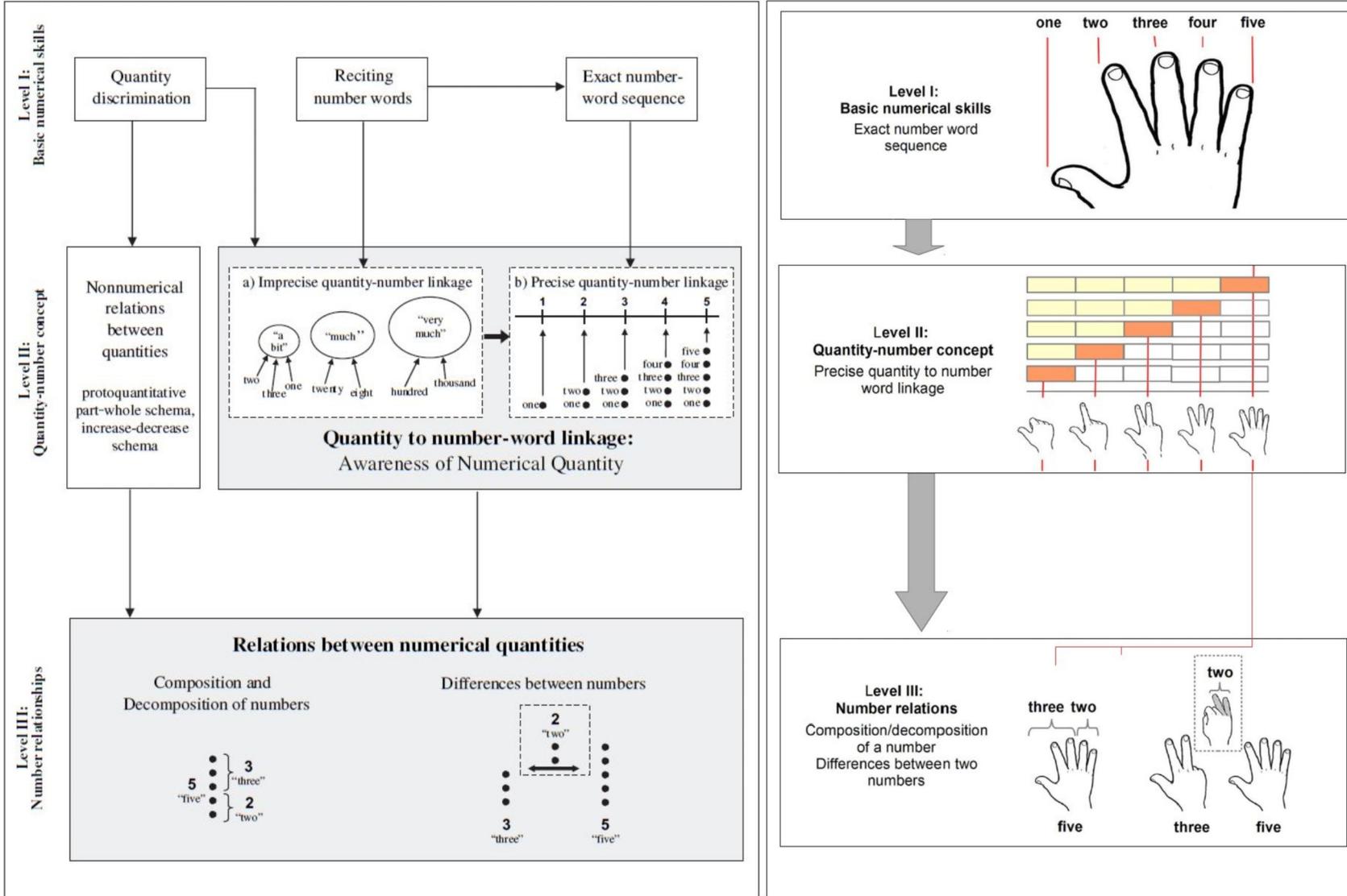
Avant de nous intéresser au développement particulier des habiletés numériques chez les enfants aveugles et déficients visuels, nous exposerons les connaissances actuelles du développement typique de l'enfant.

Pour cela, nous présenterons dans un premier temps, le modèle développemental des compétences numériques précoces de Krajewski et Schneider (2009) qui se divise en trois niveaux : 1) les habiletés numériques de base (discrimination des quantités, comptage et dénombrement) ; 2) le concept de cardinalité ; 3) les relations entre les nombres. Dans un second temps, ce modèle sera précisé par celui de Roesch et Moeller (2015) qui y incorpore le rôle des doigts à chaque niveau développemental. Les données pertinentes de la littérature scientifique compléteront ces deux modèles.

Ces modèles (Figure 1) doivent être lus comme une progression hiérarchique (Krajewski et Schneider, 2009). En effet, les premiers niveaux sont précurseurs des suivants. Le passage de l'un à l'autre dépend donc de l'acquisition des compétences précédentes. Néanmoins, un décalage peut exister entre l'acquisition des concepts pour les petits et les grands nombres ainsi qu'entre les nombres verbaux et les chiffres arabes.

**Figure 1**

*Modèle du développement mathématique précoce selon Krajewski et Schneider (2009) et Roesch et Moeller (2015)*



*Note.* Cette figure présente les étapes de développement des habiletés mathématiques de l'enfant en trois niveaux selon les modèles de Krajewski et Schneider (2009) à gauche et Roesch et Moeller (2015) à droite. Ce dernier est adapté pour mettre en correspondance les niveaux des deux modèles.

Reproduit à partir de « 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 », par K. Krajewski et W. Schneider, 2009, *Learning and Instruction*, 19(6), p. 515. (<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002>). © 2008 par Elsevier Ltd.

Adapté de « Considering digits in a current model of numerical development », par S. Roesch et K. Moeller, 2015, *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, p.2. (<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01062>). © 2015 par Roesch et Moeller CC BY.

## 1. Modèle de Krajewski et Schneider (2009) : Étapes du développement mathématique précoce

### 1.1. Niveau 1 - Compétences numériques de base

#### 1.1.1. Comptage

A partir de 2 ans, avec le développement du langage, l'enfant acquiert ses premiers mots-nombres (Krajewski et Schneider, 2009), désignant les nombres à l'oral (Brissiaud, 2005). Initialement non-reliés à des quantités, l'ensemble de ces mots-nombres s'organise en une suite ordonnée appelée chaîne numérique verbale (CNV) permettant à l'enfant de compter.

Fuson et ses collaborateurs (1982) décrivent cinq étapes de développement de cette CNV.

Le **Chapelet** est une chaîne unidirectionnelle croissante de mots-nombres indifférenciés récitée comme un seul bloc verbal (« un deux trois quatre cinq six... ») à trois ans. L'enfant de quatre ans, effectue ses premiers dénombrements en associant la **chaîne insécable**, séquence unidirectionnelle croissante de mots-nombres individualisés (« un, deux, trois, quatre, cinq, six... »), à des objets. Avec la **chaîne sécable**, l'enfant de six ans choisit arbitrairement le début (« compter à partir de ») et la fin (« compter de... à ... »). Les mots-nombres deviennent des unités numériques abstraites dans la **chaîne dénombrable**, utilisés dans des tâches de comptage, appariement, addition et soustraction sans objet. Enfin, l'enfant de neuf ans emploie la **chaîne bidirectionnelle**, de façon flexible, à l'endroit et à l'envers.

### ***1.1.2. Dénombrement***

La mise en correspondance d'une chaîne numérique verbale composée de mots-nombres discrets (chaîne insécable, Fuson et al., 1982) avec des quantités discrètes (Gersten et al., 2005; Okamoto et Case, 1996, cités dans Krajewski et Schneider, 2009) aboutit au dénombrement des éléments d'une collection.

Cette procédure de dénombrement répond, selon Gelman et Gallistel (1978), à cinq principes :

- **Stricte correspondance terme à terme** : chaque élément est associé à un mot-nombre ;
- **Ordre stable** : la suite des mots-nombres est fixe et ordonnée ;
- **Cardinalité** : le dernier mot-nombre énoncé indique le nombre total d'éléments de la collection ;
- **Abstraction** : la nature des éléments de la collection n'est pas prise en compte ;
- **Non-pertinence de l'ordre** : le dénombrement est identique quel que soit l'ordre dans lequel les éléments sont pointés.

### ***1.2. Niveau 2 - Relation entre les mots-nombres et la quantité : Cardinalité***

Selon le modèle de Krajewski et Schneider (2009), l'établissement par l'enfant d'un lien entre les mots-nombres et les quantités d'objets marque le passage au deuxième niveau : l'acquisition de la cardinalité, qui s'opère en deux phases.

Dans un premier temps, l'enfant attribue aux mots-nombres des quantités approximatives. Certains enfants de 3 ans, seront capables de dire qu'un mot-nombre représente « un peu » (3 ou 1 par ex), « beaucoup » (8 ou 20 par ex) ou « énormément » (100 ou 1 000 par ex) (Wynn, 1990, cité dans Krajewski et Schneider, 2009). Par l'attention portée à la durée de la récitation de la CNV d'enfants plus âgés, l'enfant peut déterminer que 20 (« beaucoup ») est moins que 100 (« énormément ») qui est atteint plus tard (Krajewski et Schneider, 2009).

Dans un second temps, la quantité associée au mot-nombre se précise. Les dénombrements réguliers de collections font correspondre des mots-nombres discrets avec des quantités discrètes (Krajewski et Schneider, 2009). L'enfant remarque que plus le temps pour compter jusqu'à un nombre est long, plus la quantité d'objets dénombrés est grande. La séquence de mots-nombres devient une séquence ordonnée de quantités précises croissantes. L'enfant peut alors ranger des mots-nombres adjacents ou non, désormais associés à une valeur quantitative,

selon leur valeur cardinale, les comparer en termes de « plus » ou « moins » et comprendre que compter « à partir de » comprend un sous-ensemble d'éléments.

Brissiaud (2005) distingue ici le comptage-numérotage et le dénombrement.

Avant 4 ans et demi, l'enfant compte en attribuant un numéro à un objet. Aucun des mots-nombres ne représente une quantité à lui seul, chacun des mots-nombres prononcés représente uniquement l'objet pointé. La suite des mots-nombres (« un, deux, trois, quatre »), et non le mot-nombre, représente la quantité. Pour répondre à la question « combien y en a-t-il ? » il répétera la suite de mots-nombres, sans en extraire le dernier mot-nombre.

Le dénombrement est effectif, lorsque l'enfant considère le dernier mot-nombre, comme à la fois un numéro distinguant un objet (le dernier), mais aussi, comme la représentation de la quantité de tous les objets. Selon Brissiaud (2005), le déplacement des objets lors des pratiques de dénombrement, la perception globale de petites quantités (subitizing) et des constellations (dés, dominos) favoriseraient une conception du nombre comme représentant la quantité d'un ensemble.

### ***1.3. Niveau 3 - Relation entre les nombres : Arithmétique***

Grâce à l'acquisition de la cardinalité, les mots-nombres représentent désormais des quantités. L'enfant comprend alors qu'il peut utiliser ces mots-nombres pour exprimer les relations entre celles-ci (Krajewski et Schneider, 2009). Il est capable non seulement de **décomposer** les quantités en « tous les jetons correspondent à quelques jetons et quelques jetons » mais aussi de représenter cette relation à l'aide de mots-nombres précis « 5 jetons, c'est 3 jetons et 2 jetons ». La relation inverse, la **composition**, ramène la collection à l'état initial : « quelques jetons et quelques jetons forment tous les jetons », « 3 jetons et 2 jetons forment 5 jetons ». L'enfant conclut également que la **différence** entre deux nombres correspond à un troisième nombre (ex : 5 et 8 diffèrent de 3) (Case et al., 1992, cité dans Krajewski et Schneider, 2009).

La compréhension de ces premiers concepts arithmétiques permettra à l'enfant d'accéder à la résolution d'opérations au travers de diverses stratégies que nous détaillerons ci-dessous.

### **1.3.1. Stratégies de résolution d'additions**

Les stratégies de résolution des additions peuvent être réparties en cinq classes :

Le **Comptage d'objets** (Fuson, 1982, cité dans Barrouillet, 2006) (« concrete counting all ») (Baroody et Ginsburg, 1986) consiste à dénombrer une collection d'objets représentant chaque opérande (éléments du calculs) à l'aide du pointage manuel et en commençant par un. Par exemple, pour répondre à la question « Combien font  $3 + 4$  ? », l'enfant prend 3 objets puis 4 objets et compte le tout en commençant par 1.

Le **Comptage sur les doigts** peut être décomposé en trois sous-stratégies :

- Le **Comptage du tout** (« counting-all ») ou la **Somme** (« sum strategy ») (Barrouillet, 2006) consiste, tout comme le comptage d'objets, à représenter séparément chaque opérande avec les doigts et à recompter l'ensemble à partir de 1. Cette stratégie s'applique uniquement aux sommes inférieures à 10. Selon Baroody (1987), l'enfant peut effectuer :
  - Un comptage séquentiel : il lève un à un les doigts représentant un opérande, de même pour l'autre opérande, puis dénombre l'ensemble ou reconnaît la configuration digitale de l'ensemble.
  - Un comptage mixte : il lève un à un les doigts représentant un opérande, puis simultanément les doigts formant la configuration digitale de l'autre opérande, puis dénombre ou reconnaît la configuration digitale de l'ensemble.
  - Un comptage simultané : il lève simultanément sur une main les doigts formant la configuration digitale d'un opérande et sur l'autre main les doigts formant la configuration digitale de l'autre opérande, puis dénombre ou reconnaît la configuration digitale de l'ensemble.
- Le **Comptage à partir du premier opérande** (« counting on (from the first addend) » ou « counting first ») (Ashcraft et Fierman, 1982; Groen et Parkman, 1972, cités dans Barrouillet, 2006 ; Baroody, 1987) consiste à compter la somme à partir du cardinal du premier opérande gardé en mémoire, en y ajoutant un à un les doigts représentant le deuxième opérande. Le deuxième opérande est ici représenté en même temps que la somme est effectuée, contrairement aux précédentes stratégies. Cette stratégie est intéressante pour les sommes supérieures à 10.

- Le **Comptage à partir du plus grand opérande** (« counting min ») Groen et Parkman, 1972, cités dans Barrouillet, 2006 ; Baroody, 1987) (« counting on from the larger addend ») (Baroody, 1987) consiste à compter la somme à partir du plus grand opérande gardé en mémoire, en y ajoutant un à un les doigts représentant le plus petit opérande.

Le **Comptage verbal** peut se décomposer selon les trois mêmes stratégies sans utiliser les doigts mais en comptant à haute voix ou mentalement. Ainsi l'enfant peut effectuer le :

- **Comptage du tout** (« counting all ») ou **la Somme** (« sum strategy ») (Baroody et Ginsburg, 1986; Barrouillet, 2006) : en comptant l'ensemble dans sa tête à partir de 1.
- **Comptage à partir du premier opérande** (« counting on » ou « counting first ») (Ashcraft et Fierman, 1982; Groen et Parkman, 1972, cités dans Barrouillet, 2006 ; Baroody et Ginsburg, 1986) : en comptant à partir du cardinal du premier opérande et en ajoutant, par pas de un, le deuxième opérande.
- **Comptage à partir du plus grand opérande** (« counting min ») (Groen et Parkman, 1972, cités dans Barrouillet, 2006) ou « counting on from the larger term » (Baroody et Ginsburg, 1986) : en comptant à partir du cardinal du plus grand opérande puis en incrémentant, par pas de un, le plus petit opérande.

La pratique répétée de ces procédures de comptage consolide progressivement l'association entre les opérandes et le résultat en mémoire à long terme (Ashcraft, 1992 ; Barrouillet, 2006). Cette procédure permet à terme la **Récupération en mémoire** du résultat. Cette stratégie est accessible aux enfants très jeunes pour des opérations simples comme les doubles et les petits opérandes (Geary et Burlingham-Dubree, 1989 ; Siegler et Shrager, 1984, cités dans Lemaire et al., 2002), et devient plus fréquente vers 8 ans (Ashcraft et Fierman, 1982; Svenson et Sjoberg, 1983, cités dans Fayol, 1990 ; Siegler, 1987, cité dans Barrouillet, 2006).

La mémorisation des faits arithmétiques, comme les doubles et les compléments à 10, permet la **Décomposition**. L'enfant décompose un des opérandes en deux pour accéder à un sous-résultat déjà connu qu'il ajoute à l'autre opérande. Par exemple, « pour résoudre  $8 + 4$ , l'enfant fait :  $4 = 2 + 2$ ,  $8 + 2 = 10$  ;  $10 + 2 = 12$  » (Lemaire et al., 2002, p. 199).

Ainsi l'enfant a recours en premier lieu à des représentations externes (objets, doigts) avant

d'internaliser les stratégies. Le comptage du tout et à partir du premier opérande sera préféré en maternelle puis le comptage à partir du plus grand opérande sera utilisé plus fréquemment en CP-CE1 (Ashcraft, 1982 ; Ashcraft et Fierman, 1982 ; Groen et Parkman, 1972, cités dans Barrouillet, 2006 ; Baroody et Ginsburg, 1986) avant la récupération en mémoire du résultat.

A tout âge, l'enfant ou l'adulte confronté à un problème arithmétique pourra choisir d'y répondre à l'aide de ce répertoire de stratégies, en fonction de critères individuels (âge, orientation scolaire, degré de perfectionnisme), du type de problème et de son expérience passée (Siegler et Shrager, 1984 ; Siegler et Shipley, 1995, cités dans Barrouillet, 2006).

### ***1.3.2. Stratégies de résolution de soustractions***

Les stratégies de résolution des soustractions peuvent être réparties en quatre classes :

Le **comptage d'objets** peut être décomposé en trois sous-stratégies (Carpenter et Moser, 1984, cité dans Fayol, 1990) :

- **Séparer de** (« separate from ») consiste à représenter l'ensemble le plus grand (premier opérande) par des objets, à enlever le plus petit ensemble (deuxième opérande) puis à dénombrer le reste.
- **Séparer jusqu'à** (« separating to ») consiste à représenter l'ensemble le plus grand (premier opérande) et à enlever le nombre d'objets nécessaire jusqu'à ne laisser plus que le nombre d'objets désigné par le plus petit nombre (deuxième opérande). Le nombre d'objets enlevés correspond au résultat.
- L'**addition** (« adding on ») consiste à effectuer l'opération inverse c'est-à-dire partir du plus petit ensemble (deuxième opérande) et ajouter le nombre d'objets nécessaire pour reconstituer le plus grand ensemble (premier opérande). Le nombre d'objets ajoutés, illustre la différence donc le résultat.
- Les éléments des deux collections d'objets sont **mis en correspondance** (« matching »). Le dénombrement des objets non appariés met en évidence la différence.

Le **comptage sur les doigts** est adapté des stratégies précédentes (Lemaire et al., 2002) :

- **Séparer de** (« counting down ») consiste à lever le nombre de doigts représentant la

collection initiale (plus grand nombre / premier opérande) et à baisser, par pas de un, autant de doigts qu'indiqués par le deuxième opérande (plus petit nombre). Les doigts restés levés correspondent au résultat.

- **Addition** (« counting up ») consiste à effectuer l'opération inverse. L'enfant représente le plus petit nombre (deuxième opérande) sur ses doigts et ajoute autant de doigts que nécessaire pour reconstituer la collection initiale (premier opérande). Le nombre de doigts ajoutés correspond au résultat.

Selon Björklund et al. (2019), ces stratégies sont plus efficaces lorsque l'enfant structure l'opération en utilisant la configuration digitale des opérandes (lever / baisser le nombre correct de doigts directement) plutôt que le comptage unité par unité (lever / baisser un à un les doigts en comptant).

Le **comptage verbal** (Carpenter et Moser, 1984, cité dans Fayol, 1990) reprend les stratégies précédentes par un comptage à voix haute ou dans la tête :

- **Séparer de** (« counting down from ») consiste à compter à rebours à partir du plus grand terme (premier opérande), le nombre de pas désignés par le plus petit terme (deuxième opérande). Le dernier nombre énoncé indique le résultat. Cette procédure est difficile car elle fait appel au comptage à rebours et au contrôle du nombre de pas.
- **Séparer jusqu'à** (« counting down to ») consiste à compter à rebours à partir du plus grand terme (premier opérande), jusqu'à atteindre le plus petit terme (deuxième opérande). Le nombre de pas correspond au résultat.
- **Addition** (« counting up from given ») consiste à compter à l'endroit à partir du plus petit nombre (deuxième opérande) jusqu'au plus grand (premier opérande). Le nombre de pas effectués correspond au résultat. Le comptage endroit ayant un plus faible coût cognitif, cette stratégie est utilisée plus fréquemment (Siegler, 1989, cité dans Barrouillet, 2006).

Certains auteurs soutiennent l'existence d'une **récupération en mémoire** (Barrouillet et Fayol, 1998; Geary et al., 1993; Seyler et al., 2003, cités dans Barrouillet, 2006 ; Carpenter et Moser, 1984, cité dans Fayol, 1990) des soustractions des petits nombres.

*Ainsi, le modèle de Krajewski et Schneider (2009) met en évidence la transition d'une manipulation concrète des nombres vers l'abstraction. L'arithmétique émerge donc après l'acquisition de la chaîne numérique verbale, du dénombrement (niveau 1) et de la cardinalité (niveau 2), apparaissant ainsi comme le niveau le plus mature du développement des habilités précoces (niveau 3). En concordance avec ce modèle, d'autres études (Gray et Reeve, 2014; Long et al., 2016; Tobia et al., 2016) mettent en évidence le rôle prédictif des compétences en comptage et en dénombrement sur les compétences arithmétiques.*

*Toute initiative d'amélioration des compétences arithmétiques devra donc nécessairement prendre en compte le développement des capacités antérieures.*

## **2. Modèle de Roesch et Moeller (2015) : Rôle de l'utilisation des doigts dans le développement mathématique précoce**

Selon Roesch et Moeller (2015), chaque étape du développement des compétences mathématiques exposée dans le modèle de Krajewski et Schneider (2009) peut être soutenue par l'utilisation des doigts.

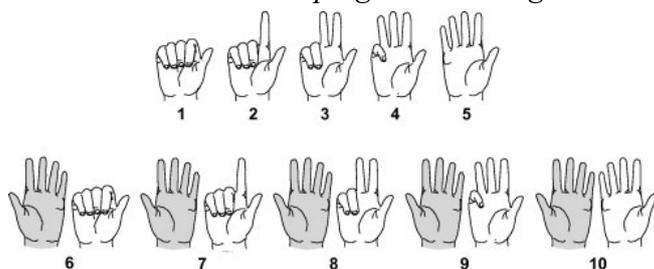
### **2.1. Niveau 1 - Compétences numériques de base**

#### **2.1.1. Comptage**

Roesch et Moeller (2015) observent que de nombreux enfants commencent à compter spontanément sur leurs doigts en utilisant les configurations communément employées dans leur culture. En Occident, les doigts sont successivement dépliés à chaque fois qu'un nouveau mot-nombre est énoncé (Figure 2) : le pouce de la main dominante est déplié pour le 1, auquel s'ajoute l'index pour le 2, puis le majeur pour le 3, l'annulaire pour le 4, l'auriculaire pour le 5 puis le pouce de la main non-dominante pour le 6, etc (Bender et Beller, 2012).

**Figure 2**

*Séquence occidentale de comptage sur les doigts de 1 à 10*



*Note.* Ce schéma présente la séquence de comptage habituellement observée en Occident, en supposant ici que la main droite (blanche) est la main dominante. Reproduit à partir de « Nature and culture of finger counting: Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool », par A. Bender et S. Beller, 2012, *Cognition*, 124(2), p. 156-182

(<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.05.005>). © 2012 Elsevier B.V.

Selon le modèle de Roesch et Moeller (2015), le comptage digital favorise l'acquisition de la CNV et de ses mots-nombres. La mise en correspondance de la séquence verbale de mots-nombres avec une séquence motrice digitale, suivant elle aussi un ordre stable, favorise son apprentissage (Brissiaud, 1992; Crollen et al., 2011; Fayol et Seron, 2005, cités dans Roesch et Moeller, 2015; Wiese, 2003). Ce support visuel permet de ne pas perdre le fil du comptage verbal et favorise son acquisition en allégeant la mémoire à court terme verbale (Alibali et DiRusso, 1999). L'association doigts-nombres accentue la perception de chaque mot-nombre comme une entité phonologique distincte et individuelle au sein de la CNV (Beller et Bender, 2011, cité dans Roesch et Moeller, 2015) et sert de marqueur facilitant leur mémorisation (Brissiaud, 1992; De La Cruz et al., 2014; Fayol et Seron, 2005, cités dans Roesch et Moeller, 2015).

Les doigts sont par ailleurs toujours disponibles, facilement manipulables et représentent une entrée multi-sensorielle (visuelle et proprioceptive) (Domahs et al., 2008). Selon Brissiaud (2005, p. 116), « les sensations kinesthésiques [fournies par les doigts] [...] permettent d'en contrôler la quantité indépendamment de toute vision ».

La proprioception renvoie à la « sensibilité de l'organisme à la position de chacun de ses membres et à son propre mouvement » (« Proprioception », s. d.). La kinesthésie renvoie à la « perception des déplacements des différentes parties du corps » (« Kinesthésie », s. d.).

### ***2.1.2. Dénombrement***

La coordination de l'énonciation de la CNV avec le pointage digital des objets de la collection soutient également la tâche de dénombrement. Ce pointage associe chaque mot-nombre à un objet par la correspondance terme à terme et indique ainsi la progression du dénombrement (Alibali et DiRusso, 1999; Gelman et Gallistel, 1978). Les pointages successifs constituent une trace visuelle des objets déjà dénombrés, soulageant la mémoire de travail (Crollen et al.,

2011 ; Fuson et al., 1982). Cette stratégie permet donc au jeune enfant (autour de quatre ans, d'après Saxe et Kaplan, 1981) de gagner en précision lors du dénombrement d'une collection (Arp et Fagard, 2001; Saxe et Kaplan, 1981).

## **2.2. Niveau 2 - Relation entre les mots-nombres et la quantité : Cardinalité**

La mise en relation de la quantité et du nombre nécessite le passage d'une représentation non-symbolique du nombre (outil concret, par exemple les objets de la collection) à une représentation symbolique (outil abstrait, par exemple le code verbal ou les chiffres arabes).

Selon certains auteurs, les doigts constitueraient une **représentation intermédiaire**, facilitant le passage entre ces deux représentations (Andres et al., 2008; Fayol et Seron, 2005; Krinzinger et al., 2011; Lafay et al., 2013; Thevenot, 2014).

Selon Brissiaud (2005), une collection-témoin de doigts, au même titre qu'une collection-témoin d'objets, constitue une représentation **non-symbolique** des quantités. Ici encore, Brissiaud (2005) oppose le comptage-numérotage qui consisterait à associer un numéro à un doigt, au comptage-dénombrement qui associe un mot-nombre à la quantité de doigts levés. Lors du comptage sur les doigts, selon la configuration européenne typique (Bender et Beller, 2012, cité dans Roesch et Moeller, 2015), chaque doigt est levé et compté un par un. Cette procédure associe un mot-nombre à une quantité vécue aussi bien de façon visuelle, tactile que proprioceptive (Roesch et Moeller, 2015). L'ensemble des doigts levés est un outil concret, comme les objets, permettant de représenter les quantités (Wiese, 2003). Celles-ci augmentant, par pas de un, à chaque doigt levé, le comptage digital est donc par essence un comptage cardinalisé (Brissiaud, 1992, cité dans Roesch et Moeller, 2015). Le comptage sur les doigts permet donc de visualiser les valeurs cardinales de chaque mot-nombre associé, ainsi que leur sommation progressive.

Selon Di Luca et Pesenti (2008), les configurations digitales acquièrent aussi une valeur **symbolique**. A chaque comptage, l'enfant construit des configurations digitales typiques appelées empreintes digitales canoniques. Ces configurations correspondent à la forme conventionnelle employée dans la culture de référence, qui, comme pour les constellations (Brissiaud, 2005), seront traitées directement tels des symboles (Di Luca et Pesenti, 2008). L'enfant n'aura plus besoin de dénombrer chaque doigt mais pourra traiter la forme effectuée par les doigts telle quelle (par ex : le pouce, l'index et le majeur font 3).

Selon Gunderson et al. (2015) et Nicoladis et al. (2010), les jeunes enfants utiliseraient préférentiellement des représentations non-symboliques comme les doigts pour dénombrer et communiquer la quantité présente dans une collection. Ceux plus âgés, qui connaissent le mot-nombre, favoriseraient cette représentation symbolique, plus précise que le geste. Les doigts seraient donc un outil présymbolique (Guedin, 2013) reliant les représentations concrètes et abstraites, avant l'assimilation complète des mots-nombres.

### **2.3. Niveau 3 - Relation entre les nombres : Arithmétique**

Selon Roesch et Moeller (2015), la compréhension des relations entre les quantités, décrites dans le modèle de Krajewski et Schneider (2009), peut être renforcée par des représentations digitales. En effet, les enfants utiliseraient leurs doigts pour garder une trace (Fuson 1988, cité dans Roesch et Moeller, 2015), visualiser et combiner les quantités (Siegler et Shrager 1984, cité dans Roesch et Moeller, 2015).

Ainsi, comme vu précédemment, l'enfant peut s'aider de ses doigts afin d'imaginer la relation de **composition** qui lie les quantités, via diverses stratégies de calcul digital. Par exemple, pour résoudre l'opération  $3 + 2$ , l'enfant peut lever le pouce, l'index, le majeur puis ajouter l'annulaire et l'auriculaire pour conclure que tous les doigts d'une main sont levés et que cela correspond à 5 (compter tout de manière séquentielle) (Baroody, 1987).

De même, la relation de **décomposition**, peut être imagée par les configurations digitales. L'enfant peut afficher la quantité initiale avec ses doigts et rapprocher ses doigts en groupes (Roesch et Moeller, 2015). Par exemple, pour décomposer 5, l'enfant peut rapprocher 3 doigts d'un côté et 2 de l'autre. Le système numérique en base 10, (dé)composant les nombres est également représenté par les 10 doigts (Butterworth, 1999, cité par Jay et Betenson, 2017).

Enfin, la **différence entre les nombres** peut être imagée par la différence entre deux configurations digitales (Roesch et Moeller, 2015). Par exemple, 3 et 5 représentés sur les doigts diffèrent de 2 doigts.

Plusieurs auteurs (Geary, 1994 ; Roesch et Moeller, 2015) s'accordent donc sur l'importance de l'utilisation des doigts dans l'acquisition de concepts arithmétiques, notamment via les stratégies de calcul digital soutenant la réalisation d'additions ou soustractions (Baroody, 1987 ; Jordan et al., 2008). Fréquemment utilisés en début d'acquisition de l'arithmétique,

tout comme les objets, avec la stratégie « compter tout », les doigts continuent d’être utilisés pour étayer les stratégies de comptage verbal « compter à partir du plus petit » et « compter à partir du plus grand » (Barrouillet, 2006). Selon Barrouillet (2006), la transition du comptage digital au comptage verbal est progressive et dépend de la capacité de l’enfant à contrôler mentalement le déroulement du calcul et à conserver une trace de ce qui a déjà été et de ce qui reste à compter. En effet, les stratégies digitales permettraient de représenter de manière iconique l’opération (Brissiaud, 2005 ; Fayol et Seron, 2005) mais aussi de contrôler la progression du calcul (Barrouillet, 2006; Berteletti et Booth, 2016). Cette représentation visuelle soulagerait ainsi la charge cognitive de la mémoire de travail (Imbo et al., 2011), notamment chez les enfants en difficultés mathématiques (Geary et al., 2004).

Les stratégies basées sur les doigts représentant la transformation imposée par le signe de l’addition et la soustraction pourraient donc favoriser l’acquisition de ces opérations (Berteletti et Booth, 2015). La division et la multiplication, au contraire, reposeraient davantage sur des stratégies de récupération en mémoire (Berteletti et Booth, 2015).

*L’ensemble de ces observations met en évidence le rôle majeur de l’utilisation des doigts dans l’acquisition de concepts numériques de base comme le comptage, la cardinalité et la résolution d’opérations arithmétiques (Roesch et Moeller, 2015). Les doigts doivent être perçus comme un outil accompagnant l’enfant dans sa découverte de la numération, permettant de faire du sens entre le concret (les doigts) et l’abstrait (les mots-nombres).*

#### **2.4. Liens avec les habiletés digitales précises**

La réussite des stratégies digitales mentionnées ci-dessus pourrait dépendre non seulement de l’intuition de l’enfant d’utiliser ses doigts comme outils numériques mais aussi de sa capacité à effectuer ces configurations digitales (Barrocas et al., 2020). Dans cette optique, les habiletés digitales telles que les gnosies digitales, c’est-à-dire la capacité à se représenter mentalement chaque doigt (Noël, 2005, cité dans Barrocas et al., 2020), et la motricité fine, c’est-à-dire la capacité à différencier leurs mouvements (Grissmer et al., 2010, cité dans Barrocas et al., 2020) pourraient soutenir la réalisation de ces stratégies et donc le développement des compétences numériques.

Selon une revue de littérature récente, les gnosies digitales (Fayol et al., 1998; Noël, 2005; Penner-Wilger et al., 2007, 2009; Poltz et al., 2015; Wasner et al., 2016, cités dans Barrocas et al., 2020) et la motricité fine (Asakawa et Sugimura, 2014; Dinehart et Manfra, 2013; Luo et al., 2007; Penner-Wilger et al., 2007; Pitchford et al., 2016; Son et Meisels, 2006, cités dans Barrocas et al., 2020) prédiraient les compétences numériques telles que le **comptage**, le **calcul**, les **connaissances numériques** et la **magnitude du nombre**. Bien que le pouvoir prédictif des gnosies digitales soit faible (Poltz et al., 2015; Wasner et al., 2016, cités dans Barrocas et al., 2020) compte tenu de l'influence d'autres prédicteurs, il explique tout de même une part spécifique (Dinehart et Manfra, 2013; Poltz et al., 2015, cités dans Barrocas et al., 2020) et significative (Barrocas et al., 2020) des compétences numériques.

Cette relation pourrait s'ancrer dans un réseau cortical commun responsable du traitement des nombres et du mouvement des doigts (Berteletti et Booth, 2015; Krinzinger et al., 2011; Simon et al., 2002, 2004; Tschentscher et al., 2012, cités dans Barrocas et al., 2020).

*Le développement des habiletés digitales précises et des habiletés numériques étant conjoint, l'entraînement des premières pourrait avoir des effets bénéfiques sur les secondes.*

## **II. Développement des compétences numériques dans le cadre d'une déficience visuelle**

Nous allons nous intéresser à présent au développement des compétences numériques chez les enfants aveugles et déficients visuels.

### **1. Développement des compétences numériques chez les enfants aveugles**

Selon certains auteurs, le traitement numérique reposerait sur des mécanismes visuo-spatiaux (Burr et Ross, 2008 ; Ross et Burr, 2010 ; Simon, 1999 ; Stoianov et Zorzi, 2012, cités dans Crollen et Collignon, 2020). Cette hypothèse repose sur différentes observations.

D'une part, de nombreuses compétences visuelles telles la mémoire de travail visuelle (Bull et al., 2011 ; Le Fevre et al., 2010, cités dans Crollen et Collignon, 2020), l'attention visuelle (Anobile et al., 2013, cités dans Crollen et Collignon, 2020), la rotation mentale visuo-spatiale (Reuhkala, 2001, cité dans Crollen et Collignon, 2020), la perception visuelle de base (Lourenco et al., 2012 ; Tibber et al., 2013 ; Zhou et al., 2015, cités dans Crollen et Collignon,

2020) et la perception visuelle du mouvement (Sigmundsson et al., 2010, cités dans Crollen et Collignon, 2020), seraient associées à la réussite en mathématiques.

D'autre part, l'espace visuel serait directement impliqué dans le développement des compétences numériques de base. Le subitizing, évoqué plus haut, tire parti de la vision pour estimer de petites quantités (Burr et Ross, 2008 ; Ross Burr, 2010 ; Simon, 1999 ; Stoianov et Zorzi, 2012, cités dans Crollen et Collignon, 2020). Le comptage met en œuvre l'attention visuo-spatiale afin de distinguer les éléments comptés de ceux restant à compter (Gelman et Gallistel, 1978 ; Simon, 2011, cités dans Crollen et Collignon, 2020). L'arithmétique résulterait d'un déplacement de l'attention visuo-spatiale sur une ligne numérique mentale (LNM) : vers la droite pour l'addition, vers la gauche pour la soustraction (Knops et al., 2009; Masson et Pesenti, 2014; Mathieu et al., 2016; McCrink et al., 2007; Pinhas et Fischer, 2008, cités dans Crollen et Collignon, 2020). La LNM serait une représentation mentale, horizontale et croissante de gauche à droite, de la suite numérique (de 0 à l'infini) (Dehaene, 2018).

Cette représentation visuo-spatiale des nombres est confirmée par les tâches de traitement numérique suivantes. Premièrement, les réponses à une tâche de comparaison (inférieur ou supérieur) ou de jugement de parité (pair ou impair) (Dehaene et al., 1990 ; Dehaene et al., 1993 ; cités dans Dehaene, 2018), sont plus rapides lorsqu'elles sont indiquées du côté gauche pour les petits nombres et du côté droit pour les grands nombres, et ce, même lorsque les mains sont croisées (Crollen et al., 2013). Cet effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Code) indique un référentiel spatial des nombres. Deuxièmement, l'indication d'un nombre à mi-chemin entre deux autres dans une tâche de bissection de nombres est généralement sous-estimée par une déviation des réponses vers la gauche (Longo et Lourenco, 2007, cités dans Crollen et Collignon, 2020) indiquant là encore une représentation spatiale des nombres selon une LNM.

Enfin, la pensée numérique reposerait en partie sur les lobes pariétaux, responsables des fonctions visuo-spatiales (Dehaene et al., 1999 ; Butterworth, 1999, cités par Simon, 1999).

Selon ces observations, la vision et notamment la perception visuo-spatiale participerait à la représentation et au traitement numérique. Selon cette hypothèse, les personnes ayant une vision déficitaire devraient peiner à développer leurs compétences mathématiques.

Or, la plupart des études mettent en évidence, chez les enfants et adultes aveugles précoces (dans les premières années de vie), des compétences numériques similaires aux individus voyants en subitizing sur modalité tactile (Ferrand et al., 2010, cités dans Crollen et Collignon, 2020) et en comptage (Crollen et al., 2011, 2014), voire meilleures en arithmétique (Crollen et al., 2021; Dormal et al., 2016). Les mathématiciens aveugles Bernard Morin et Nicholas Saunderson en sont l'exemple. La vision n'est donc pas indispensable au développement des compétences mathématiques.

Si les mêmes compétences numériques peuvent se développer malgré l'absence de vision, les mécanismes soutenant ce développement pourraient être différents.

Du point de vue anatomo-physiologique, les personnes aveugles sollicitent pour le traitement des nombres les régions pariétales et intrapariétales similairement aux individus voyants, mais également, pour la résolution des soustractions, la zone occipitale responsable habituellement du traitement visuel (Amalric et al., 2018; Crollen et al., 2019; Kanjlia et al., 2016).

Du point de vue fonctionnel, les stratégies employées pour représenter et traiter les nombres diffèrent également. La tâche de comparaison de nombres les mains croisées indique un effet SNARC, relié au corps, chez les personnes aveugles précoces, et non à l'espace extérieur au corps, comme chez les individus voyants. Chez les personnes aveugles précoces, les petits nombres sont traités plus rapidement par la main gauche et les grands nombres plus rapidement par la main droite, quelle que soit la configuration des mains dans l'espace (Crollen et al., 2013). La magnitude des nombres reste donc liée à leur référentiel corporel interne et non à un référentiel spatial externe. Malgré cette représentation corporelle des nombres, les enfants et adultes aveugles précoces n'utilisent que très rarement leurs doigts pour compter. Lorsqu'ils le font, ils les utilisent de façon non-conventionnelle (Crollen et al., 2011, 2014). Leur comptage digital suit souvent un ordre et des configurations atypiques et non-stables, c'est-à-dire variables d'un essai à l'autre. Un comptage symétrique alternant main droite et main gauche pourra être observé : pouce gauche, pouce droit, index gauche, index droit etc. Certains utiliseront une stimulation tactile par pianotage ou pression digitale. Aux stratégies digitales, les personnes aveugles précoces semblent préférer des stratégies mentales, reposant notamment sur leur mémoire de travail (MDT) et leurs capacités attentionnelles (Castronovo et Delvenne, 2013). En effet, les compétences en MDT sont meilleures chez les personnes aveugles précoces que chez les individus voyants (Bottini et al., 2016; Raz et al., 2007 cités dans Crollen et al., 2021). Or, la MDT serait associée aux

compétences arithmétiques chez les individus voyants (Attout et al., 2014, cité dans Crollen et al., 2021) et aveugles (Crollen et al., 2021). De plus, les exercices qui surchargent la mémoire de travail comme le comptage en double tâche, mettent en difficulté les enfants aveugles précoces (Crollen et al., 2011). Une sollicitation plus importante des compétences mnésiques chez les personnes aveugles précoces pourrait donc soutenir le développement de leurs compétences numériques. De la même façon, les personnes aveugles précoces et tardives présenteraient de meilleures capacités d'attention sélective, soutenue et divisée (Collignon et al., 2006; Pigeon et Marin-Lamellet, 2015, cités dans Crollen et al., 2021) qui pourraient soutenir les apprentissages, notamment numériques.

La majorité des enfants aveugles développent donc aisément leurs compétences mathématiques grâce à un recours probable à leurs capacités mnésiques et attentionnelles. La cécité ne semble donc pas être un facteur responsable de difficultés en mathématiques.

Cependant, certains troubles peuvent coexister chez une même personne. C'est le cas du Trouble neurodéveloppemental Spécifique des Apprentissages en mathématiques (TSAm ou dyscalculie) qui, selon les critères du DSM 5 (American Psychiatric Association et al., 2016), ne peut être expliqué par un déficit sensoriel (par exemple la cécité) mais peut être associé à celui-ci sans lien de cause à effet. Ainsi, un enfant pourrait présenter un TSAm associé à sa cécité, l'empêchant de développer ses compétences numériques.

D'autre part, des capacités mnésiques et attentionnelles déficitaires, pour quelque raison que ce soit, risquent, sans émergence d'autres stratégies, de retarder l'acquisition mathématique. En effet, selon les modèles développementaux, chaque compétence mathématique repose sur les bases solides des celles acquises précédemment (Krajewski et Schneider, 2009).

## **2. Développement des compétences numériques chez les enfants déficients visuels**

La déficience visuelle étant le handicap le moins fréquent parmi ceux présents chez l'enfant et se manifestant de façon hétérogène (Lewi-Dumont, 2015), peu d'études existent sur le développement mathématique des enfants malvoyants.

Cependant, les rares études publiées sur le sujet font état de difficultés dans deux domaines. D'une part, la déficience visuelle affecte l'appréhension de l'espace (Hatwell, 2003, cité dans Lewi-Dumont, 2015) pouvant impacter l'apprentissage de la géométrie mais aussi, comme nous l'avons évoqué plus haut, les représentations spatiales du nombre. D'autre part, le champ

visuel réduit contraint l'accès à l'écrit et à l'image engendrant une lenteur dans la prise d'information et sa restitution. Cette lenteur est observée à la lecture de textes écrits, le « lecteur n'a pas de vision synoptique [qui donne une vue générale (« Synoptique », s. d.)], ne peut se faire une représentation mentale du texte, procéder par feuilletage, faire une lecture sélective » (Lewi-Dumont, 1997, cité dans Lewi-Dumont, 2015). Des erreurs de lecture des chiffres peuvent être notées, le contexte ne permettant pas de compenser le déchiffrement comme cela pourrait être le cas dans un texte (Puustinen et al., 2018). Cette lenteur est également observée en braille et pour le déchiffrement d'adaptations tactiles d'images, la prise d'information tactile étant séquentielle (Puustinen et al., 2018). Le braille étant une écriture linéaire, il ne peut rendre compte des notations mathématiques spatiales telles que les fractions ou les tableaux (Magna, 2011 ; Puustinen et al., 2018).

Le handicap ressenti par les difficultés d'appréhension de l'espace et le défaut d'accessibilité des supports sera variable selon l'importance de la déficience visuelle (Le Sage Beaudon et Torossian, 2013 ; Magna, 2011) mais entraînera généralement une lenteur et une fatigabilité pouvant retarder les apprentissages.

Dans d'autres cas, l'atteinte visuelle n'est pas responsable des difficultés. Au sein de la population générale des enfants déficients visuels, certains se distinguent dans leur développement car ils présentent un Trouble Spécifique des Apprentissages (Le Sage Beaudon et Torossian, 2013). La responsabilité de ces difficultés souvent allouée à la déficience sensorielle, retarde le diagnostic (Le Sage Beaudon et Torossian, 2013).

Par ailleurs, nos contacts avec les orthophonistes ne semblent indiquer aucune stratégie, comme le comptage digital ou le recours aux capacités mnésiques et attentionnelles, déployée pour construire leurs compétences numériques.

*Ainsi la majorité des enfants aveugles précoces développe de bonnes compétences mathématiques en s'appuyant sur leurs capacités mnésiques et attentionnelles. Cependant, un déficit de ces fonctions pourrait retarder l'acquisition des mathématiques, tout comme la présence d'un trouble TSAm. Malgré le peu d'études portant sur le développement numérique des enfants DV, il ressort un risque plus fréquent de retard en mathématiques ou d'une concomitance avec un TSAm.*

# PARTIE PRATIQUE

## I. Problématique et hypothèses

Selon notre revue de littérature, la pensée numérique résulte du développement successif et interdépendant de trois compétences : le comptage, la cardinalité et l'arithmétique. Les stratégies de comptage et de calcul sur les doigts soutiennent l'émergence de chacune de ces habiletés tout au long du développement ordinaire de l'enfant.

Chez l'enfant aveugle précoce, ces mêmes compétences sont développées grâce au soutien probable des fonctions mnésiques et attentionnelles. Cependant, des difficultés liées à une défaillance de ces capacités ou à la présence d'un TSAm pourraient solliciter l'exploration d'autres stratégies. Les enfants DV peuvent présenter, quant à eux, un retard d'acquisition en mathématique, consécutif aux difficultés d'appréhension spatiale et au manque d'accessibilité visuelle, ou bien un TSAm. Ces difficultés pourraient bénéficier également de l'apprentissage de nouvelles stratégies.

Ainsi, nous nous interrogeons dans le cadre de ce mémoire sur les stratégies à privilégier chez des enfants présentant des difficultés mathématiques, notamment en calcul, associées à une déficience visuelle.

La manipulation des nombres par la pensée sur-sollicitant la mémoire de travail et la modalité visuelle nous semblent à éviter. A contrario, la manipulation concrète des nombres associée à un retour kinesthésique et proprioceptif, nous semblerait pertinente.

Les stratégies de comptage et de calcul sur les doigts, symbolisant les transformations numériques nous semblent donc idéales. En effet, les doigts fournissent des informations aussi bien proprioceptives et kinesthésiques que visuelles (Brissiaud, 2005 ; Domahs et al., 2008). Or, les personnes non-voyantes et malvoyantes sont habituées à utiliser leur corps comme médiation au monde : elles lisent le braille grâce à leurs doigts, reconnaissent les objets et les autres par le toucher, même les chiffres sont déjà en partie médiés par leur corps (voir effet SNARC). De plus, ces stratégies montrent des effets positifs chez les enfants voyants aussi bien lorsqu'elles sont employées spontanément que lorsqu'elles sont entraînées au cours de protocoles de recherches (Gracia-Bafalluy et Noël, 2008; Jay et Betenson, 2017 ; Ollivier et al., 2020 ; Frey et al., non publié, cité par Schild et al., 2020). Les individus aveugles recrutent les mêmes zones cérébrales que les individus voyants pour réaliser les tâches

numériques (Amalric et al., 2018; Crollen et al., 2019; Kanjlia et al., 2016) nous pensons que l'apprentissage de ces stratégies pourraient s'ancrer dans les mêmes réseaux neuronaux. Pour ces raisons, nous pensons que l'apprentissage explicite d'une stratégie basée sur les doigts, faisant vivre le nombre par le corps, pourrait être bénéfique aux enfants aveugles et déficients visuels en difficultés mathématiques.

Cependant, comme évoqué précédemment, la majorité des enfants aveugles présente de bonnes, voire très bonnes, compétences en mathématiques. La population d'enfants aveugles précoces, en difficultés mathématiques, sans troubles associés est donc très restreinte. De plus, le contexte sanitaire actuel réduit les possibilités de collaboration avec les structures d'accueil. Nous avons donc choisi de nous concentrer sur la population d'enfants déficients visuels présentant des difficultés mathématiques.

Nous explorerons ainsi la **problématique** suivante : L'entraînement du comptage et du calcul sur les doigts chez des enfants déficients visuels en difficultés mathématiques et des enfants voyants appariés améliore-t-il leurs compétences arithmétiques ?

Nos **objectifs** sont les suivants :

- La réalisation d'un protocole d'entraînement du comptage et du calcul sur les doigts.
- La mise en œuvre de ce protocole auprès d'enfants déficients visuels en difficultés mathématiques et d'enfants voyants appariés au niveau des compétences mathématiques.
- L'évaluation et la comparaison des effets de cet entraînement dans les deux populations.

Nous émettons les **hypothèses** suivantes :

- Nous observerons la même évolution dans les deux populations.
- Tous les enfants ayant suivi l'entraînement montreront une amélioration significative de leurs performances en addition et soustraction, pouvant être mise en évidence par des tests spécifiques. Les compétences non-numériques ne devraient pas s'améliorer.
- Les doigts constitueront un support efficace pour élaborer la pensée numérique : Les enfants manifesteront par conséquent davantage de stratégies de comptage et de calcul sur les doigts ou une internalisation des stratégies (sans manifestation concrète de calcul digital) avec tout de même une nette amélioration des performances.

## II. Méthodologie

L'ensemble de l'étude a été réalisée en collaboration avec une étudiante de l'Université Catholique de Louvain (Belgique), Menik Vynckier.

### ***1. Présentation de la population***

L'étude a été effectuée auprès de deux enfants déficients visuels (DV) et d'un groupe d'enfants voyants appariés en mathématiques.

**Tableau 1**

*Caractéristiques de la population recrutée*

Sujet	Âge	Scolarité	Genre	Latéralité	Nationalité	Étiologie	Acuité visuelle		
							OG	OD	BO
DV 1	7 :6	CE1	G	D	B	Nystagmus (A 2 mois)	4/10	3/10	5/10
DV 2	8 :6	CE1 (doublé)	G	D	B	Albinisme oculo-cutané congénital, photophobie	1/20	1/20	1/10
Contrôles	6 :2	4 CP 6 GSM	3 G 7 F	9 D 1G	4 B 6 Fr	0			

*Note.* Ce tableau présente les caractéristiques de la population. *Note générale.* Âge (année :mois).

GSM : Grande Section de Maternelle. G : Garçon, F : Fille. D : Droitier, G : Gaucher. B : Belge, Fr :

Français. OG : œil gauche, OD : œil droit, BO : binoculaire.

### ***1.1. Cas cliniques***

#### ***1.1.1. Critères d'inclusion et d'exclusion***

Nous avons recherché des enfants présentant une déficience visuelle et des difficultés arithmétiques, sans trouble associé (déficience intellectuelle, trouble du spectre autistique etc), scolarisés en primaire.

### **1.1.2. Recrutement de la population**

Des associations et services d'accompagnement des enfants déficients visuels belges ont été contactés par Menik.

### **1.1.3. Description des cas cliniques**

Nous avons ainsi proposé l'entraînement à deux enfants déficients visuels belges, présentés dans le Tableau 1.

DV1 est un garçon né en Belgique, de langue maternelle française. Il est âgé de 7 ans et 6 mois lors du pré-test et scolarisé en CE1 en école ordinaire. Il est droitier. Aucun antécédent familial n'est rapporté. Il est le seul de sa fratrie à présenter une déficience visuelle liée à un nystagmus acquis au cours de son deuxième mois de vie caractérisé par des « mouvements saccadés et involontaires des globes oculaires » (« Nystagmus », s. d.). Son acuité visuelle droite est de 3/10, la gauche est de 4/10. Son acuité binoculaire est de 5/10.

DV2 est un garçon né en Belgique, de langue maternelle française également. Il est âgé de 8 ans et 6 mois lors du pré-test et scolarisé en CE1 suite à un redoublement l'an passé. Il est droitier. La famille ne présente pas d'antécédents familiaux. Néanmoins, lui et une de ses grandes sœurs présentent un albinisme oculo-cutané congénital « caractérisé par une réduction généralisée de la pigmentation des cheveux, de la peau et des yeux, et par des signes oculaires variables tels qu'[...] une réduction de l'acuité visuelle et une photophobie [sensibilité à la lumière] » (INSERM US14, 2021). Son acuité visuelle est de 1/20 à chaque œil. Son acuité binoculaire est de 1/10.

## **1.2. Groupe contrôle**

### **1.2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion**

Afin de constituer un groupe contrôle de même âge mathématique que les cas cliniques, nous avons rapporté à la norme les résultats des deux enfants déficients visuels en arithmétique au pré-test évalué avec le *TempoTest Automatiseren* (De Vos, 2010) et sélectionné des enfants tout-venant du même niveau (voir III Résultats). Nous avons donc recherché des enfants voyants sans difficultés mathématiques ni troubles particuliers (déficience intellectuelle, trouble du spectre autistique etc) en Grande Section de Maternelle et CP.

### **1.2.2. Recrutement de la population**

La population d'enfants voyants a été recrutée auprès de notre entourage et de deux écoles maternelles du centre-ville de Nantes.

### **1.2.3. Description du groupe contrôle**

La population est présentée dans le Tableau 1. Le groupe contrôle est constitué de dix enfants (sept filles et trois garçons) qui ont en moyenne 6 ans et 2 mois lors du pré-test. Six enfants sont scolarisés en Grande Section de Maternelle en France et quatre en CP en Belgique. Pas plus de deux enfants appartiennent à la même classe. Ils sont tous de langue maternelle française. Deux sont bilingues, l'une anglais et l'autre espagnol. Neuf sont droitiers, un est gaucher.

## **2. Ethique et responsabilités**

Cette étude respecte les principes d'Helsinki (Annexe 1). L'étude a été expliquée aux enseignants, aux familles et aux enfants par une lettre (Annexe 2) et un formulaire d'information (Annexes 3 et 4). Le consentement libre et éclairé des responsables légaux et des enfants a été recueilli (Annexe 5). L'enfant a été prévenu chaque fois qu'un exercice pouvait nécessiter un contact physique et sa permission a été demandée. L'anonymisation des données est appliquée. Une convention de stage a été établie entre l'inspecteur de l'éducation nationale, les directrices des écoles maternelles, le CFUO de Nantes et moi-même.

## **3. Création du protocole et passations**

Menik et moi avons élaboré ensemble les protocoles de pré-test / post-test et d'entraînement. Toutes les épreuves, leurs consignes et l'ordre de passation des items ont été rédigés dans un protocole écrit que nous avons toutes les deux suivi afin de limiter les biais d'examineur. Le matériel a aussi été créé en collaboration. Nous en avons chacune créé une partie en double exemplaire que nous nous sommes envoyé ensuite.

Menik a testé les deux enfants déficients visuels et les quatre enfants de CP du groupe contrôle à domicile. J'ai testé les six enfants de GSM du groupe contrôle au sein des écoles.

Les mesures sanitaires ont été respectées : les mains ont été lavées en début et en fin de chaque séance, le port du masque a été respecté.

## **4. Procédure**

### **4.1. Pré-test / Post-test**

Un même protocole d'évaluation des compétences avant et après entraînement est proposé afin de mettre en évidence une possible évolution des performances (Annexe 6).

Certaines tâches en pré-test permettent également de sélectionner notre population :

- Les tâches arithmétiques servent à sélectionner les cas cliniques d'enfants déficients visuels en difficultés mathématiques et de leur associer un groupe contrôle d'enfants voyants de même niveau mathématique.
- Les tâches de Quotient Intellectuel (QI) ont pour objectif d'écarter l'hypothèse d'une déficience intellectuelle chez tous les participants.

Les mêmes tâches étalonnées chez des enfants tout-venant sont utilisées avec les enfants DV car, sans trouble particulier, ces enfants suivent un développement ordinaire. Elles sont cependant rendues accessibles par une modalité de passation orale pour tous les participants.

La passation du protocole de pré-test / post-test se déroule en séance individuelle de 45 min.

Les tâches mathématiques sont alternées avec les autres tâches (QI verbal et Gnosies Digitales), afin de conserver l'attention des sujets.

#### **4.1.1. WISC-V : QI Verbal**

Afin d'effectuer une estimation fiable du QI, notamment pour les enfants déficients visuels (Le Sage Beaudon et Torossian, 2013), deux épreuves non-visuelles de QI verbal (Wechsler et al., 2016) sont proposées. Le nombre d'items varie selon l'âge des participants. La conversion du score brut en note standard permet la comparaison des sujets d'âges différents.

L'épreuve de *similitudes* fait appel à la catégorisation en demandant en quoi deux mots se ressemblent. L'épreuve d'*information* interroge les connaissances générales de l'enfant.

#### **4.1.2. Compétences mathématiques**

##### **Comptage et Dénombrement**

Les épreuves de comptage et de dénombrement vérifient la maîtrise des habiletés numériques de base. En effet, notre protocole visant l'arithmétique, niveau le plus mature du développement des habiletés précoces (Krajewski et Schneider, 2009), les habiletés antérieures doivent être acquises. L'utilisation des doigts lors de ces épreuves est

également observée.

- Comptage.

Le comptage le plus loin possible avec arrêt à 31 et le comptage à rebours à partir de 15, issus du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001), sont évalués.

- Utilisation spontanée des doigts : Comptage “double” PAJI

Cette tâche de double dénombrement issue d'une étude de Crollen et al. (2011), consiste à dénombrer séparément des « PA » et des « JI » présentés au sein d'une même séquence auditive. Cette épreuve surchargeant la MDT, évalue d'une part, la maîtrise des principes du dénombrement (Gelman et Gallistel, 1978), et, d'autre part, la stratégie mise en place, notamment le recours spontané au comptage digital, et son efficacité.

- Utilisation contrainte des doigts : Comptage sur les doigts

La présence d'une stratégie stable de comptage sur les doigts pouvant être utilisée lors des entraînements est vérifiée. L'enfant doit « compter jusqu'à [chaque nombre inférieur ou égal à dix] » en utilisant ses doigts. Afin de ne pas influencer le choix stratégique lors des autres épreuves, celle-ci clôture le test.

- TTA - Fluence arithmétique

Le *TempoTest Automatiseren* (TTA) (De Vos, 2010) évalue les compétences arithmétiques. Ce test étalonné consiste à effectuer le maximum d'additions en 2 min, de même pour la soustraction et la multiplication. L'utilisation de ce test répond à cinq objectifs :

- Sélectionner les cas cliniques en mettant en évidence leurs difficultés en calcul
- Estimer leur âge mathématique et apparier un groupe contrôle
- Observer les stratégies de calcul, notamment digitales, mises en œuvre
- Évaluer l'évolution entre le pré-test et le post-test chez tous les participants
- Évaluer la généralisation de l'entraînement (en addition et soustraction) aux multiplications

#### **4.1.3. Gnosies digitales**

La présence de ces habiletés précurseurs des compétences numériques (Barrocas et al., 2020) chez les différents participants avant entraînement et leur évolution post-entraînement est étudiée.

Le test de Zazzo et al. (1958) adapté en modalité tactile évalue ces compétences. L'enfant cache une main sous une boîte. L'examineur lui touche un ou plusieurs doigts. L'enfant désigne sur une main factice en bois et non sur sa propre main, les doigts touchés. Il ne peut alors s'aider du retour kinesthésique. L'épreuve est effectuée à droite et à gauche en touché unique, successif (un doigt puis l'autre) et simultané (deux doigts en même temps).

## **4.2. Entraînement**

L'entraînement est effectué en séance individuelle d'une demi-heure une fois par semaine. Toutes les tâches sont proposées en modalité orale ou tactile afin de limiter l'impact de la déficience visuelle. Les annexes 7 et 8 présentent un protocole allégé et le matériel utilisé.

### **4.2.1. Séances 1 et 2 : Habiletés digitales précises**

Les premières séances visent à développer la capacité de l'enfant à se représenter chaque doigt, à les discriminer et à les mouvoir, avant de les utiliser dans des calculs. En effet, les habiletés digitales précises accompagnent le développement des habiletés numériques et la bonne réalisation des stratégies de calcul digital (Barrocas et al., 2020).

Une adaptation en modalité tactile du protocole d'entraînement des gnosies digitales de Gracia-Bafalluy et Noël (2008), complétée par un exercice de motricité fine, est proposée.

Au cours de chaque exercice de gnosies digitales, une texture (plutôt qu'une couleur dans le protocole initial) est associée à un doigt, symétriquement pour les deux mains. Des textures suffisamment différentes ont été sélectionnées : le pouce est associé au velours, l'index au papier ponce, le majeur à la fausse fourrure, l'annulaire au satin et l'auriculaire à une chaîne.

Les cinq mêmes exercices sont proposés lors des séances 1 et 2 en modifiant leur enchaînement et le matériel utilisé. Chaque exercice de gnosies digitales est proposé d'abord avec la main dominante puis la main non-dominante. Dès que possible, l'ordre du comptage est respecté sans jamais compter explicitement avec les mots-nombres et sans dénommer les doigts (pouce, index etc), le ressenti corporel étant l'unique cible de ces séances.

- Route de soie : Cinq chemins, munis de barrières, correspondant chacun à une texture et un tracé différent, sont proposés successivement à l'enfant. Le doigt de l'enfant correspondant à la texture proposée est placé sur le départ par l'examineur. L'enfant suit le chemin

jusqu'à l'arrivée et décrit son ressenti afin d'ancrer l'expérience. L'exercice est effectué une fois par doigt de sorte que chaque texture soit associée au doigt correspondant pour les deux mains.

- Piano dans le bon ordre : Dix languettes, soit deux languettes par texture, sont placées sur une planche de façon à ce que lorsque l'enfant pose ses mains sur la table, chaque doigt rencontre en-dessous la texture correspondante. L'enfant caresse avec le bout de son doigt chaque languette suivant l'ordre du comptage puis les deux mains en même temps pour favoriser le ressenti symétrique.
- Drill : Cette « méthode d'enseignement programmé fondée sur la répétition d'automatismes » (« Drill », s. d.) est utilisée pour continuer d'ancrer l'association doigt-texture. Chaque languette recouverte d'une texture est présentée une à une sur une planche, fixée à l'aide d'un velcro. L'enfant la caresse et lève le doigt correspondant. L'exercice est proposé pour tous les doigts d'une main puis de l'autre.
- Touche-touche texture : A l'inverse, nous touchons cette fois-ci un doigt de l'enfant qui nomme ou désigne la texture correspondante parmi l'ensemble mélangé. L'exercice est proposé pour tous les doigts d'une main puis de l'autre.
- Motricité fine : gym des doigts. L'exercice de motricité fine consiste à reproduire une figure effectuée par les mains en bois. La première séance, l'enfant doit lever chaque doigt dans l'ordre du comptage, les deux mains en même temps. Par ex : pouces en l'air, index en l'air etc. Les mêmes figures sont proposées dans un ordre différent lors de la deuxième séance. Cet exercice est toujours proposé au milieu de la séance (en troisième) afin d'interrompre la suite d'exercices de gnosies digitales.

#### **4.2.2. Séances 3 et 4 : Comptage digital**

Au cours des séances 3 et 4, la stratégie de comptage digital de l'enfant est consolidée ou, le cas échéant, la stratégie conventionnelle (Bender et Beller, 2012, cité dans Roesch et Moeller, 2015) est enseignée avec si nécessaire un retour kinesthésique par pianotage.

Les exercices sont inspirés des protocoles de Crollen et al. (2011), Jay et Betenson (2017) et Frey et al. (non publié, cité par Schild et al., 2020) et sont répartis entre les deux séances.

- Association chiffres-doigts : Cet exercice vise la compréhension du mot-nombre comme représentant une quantité réelle. Le dénombrement d'un ensemble de doigts, favorisant

cette association est préférée au comptage-numérotage (Brissiaud, 2005). Le dénombrement est délimité par la présence d'intercalaires entre les doigts (réels ou représentés par nos mains) indiquant le début et la fin. L'enfant compte le nombre de doigts présents dans cet intervalle. L'exercice suit l'ordre du comptage de un à dix.

- C'est combien : L'exercice est réitéré en demandant à l'enfant d'identifier directement le nombre de doigts présents, sans les dénombrer. Les configurations digitales des nombres de un à dix sont ainsi consolidées de façon aléatoire.
- Comptage endroit / envers : L'enfant apprend ensuite à compter jusqu'à dix avec ses doigts. Le comptage endroit et envers entre différentes bornes, nécessaire à l'arithmétique, est entraîné lors de la deuxième séance.
- Montrer 1-10 : Un chiffre est énoncé, l'enfant montre sa configuration digitale, consolidant ainsi son accès.
- Histoire avec un mot à compter : L'enfant peut ensuite utiliser ce comptage au cours d'activités mathématiques : en parallèle de l'écoute attentive d'une histoire, il dénombre le nombre de fois qu'il entend le mot « femme ». Des questions de compréhension lui sont ensuite posées. Les doigts incarnent alors une aide pour décharger son attention et sa mémoire de travail.
- Énumération : De manière similaire, l'enfant doit énoncer un certain nombre d'items au sein d'une catégorie (par exemple : 4 métiers). Le dénombrement sur ces doigts lui permet de suivre son avancée.

#### **4.2.3. Séances 5, 6, 7, 8 : Arithmétique**

Une fois les stratégies de comptage digital acquises, les stratégies de calcul sur les doigts sont entraînées dans le but d'améliorer les compétences arithmétiques des enfants. Nous choisissons d'entraîner uniquement l'addition et la soustraction, qui bénéficient des stratégies de calcul digital, contrairement à la division et la multiplication qui reposent sur la récupération en mémoire (Berteletti et Booth, 2015).

Pour chaque opération, les procédures de calcul étudiées dans la littérature sont enseignées par levé des doigts, pianotage ou l'utilisation de la planche avec intercalaires. La difficulté des séances est progressive. L'enfant réalise quelques exemples avec modélisation de l'examineur, puis seul.

- Rappel association doigts-nombres : En début de chaque séance un bref rappel des configurations digitales inférieures à dix est effectuée avec la tâche *montre-moi*. Les nombres allant de 1 à 10 sont proposés en ordre aléatoire.
- Addition :
  - Petites opérations et doubles < 10 : La première séance concerne des petites opérations et doubles dont les résultats sont inférieurs à dix. Le principe du calcul avec les doigts est présenté lors de cette séance. Nous choisissons de commencer par la stratégie la plus simple, le *comptage du tout*. L'enfant lève le nombre de doigts correspondant au premier opérande, puis lève le nombre de doigts correspondant au deuxième opérande et recompte l'ensemble. Si besoin, nous lui expliquons ainsi « 3 + 3 : tu as 3 doigts et tu en ajoutes 3 ... Tu en as combien en tout ? ».
  - Complément à 10 : Les doigts permettant de visualiser la base 10 (Butterworth, 1999, cité par Jay et Betenson, 2017), les compléments à dix sont entraînés lors de la deuxième séance. La stratégie proposée reste *le comptage du tout* mais *à partir du plus grand opérande*. L'enfant lève le nombre de doigts du plus grand opérande, puis du plus petit et recompte l'ensemble. Nous l'amenons progressivement à utiliser les stratégies les plus avancées.
  - Opérations < 10 : Lors de cette troisième séance nous consolidons l'utilisation des stratégies de calcul digital inférieur à dix. Le *comptage du tout à partir du plus grand opérande* est toujours encouragé.
  - Opérations < 20 : Lors de cette dernière séance, des opérations plus grandes (mais inférieures à vingt) sont proposées. L'enfant ne pouvant plus tout représenter sur ses doigts, *le comptage à partir du plus grand opérande* est proposé. Il garde en mémoire le plus grand terme et représente le plus petit en l'ajoutant, par pas de un, sur ses doigts.

- Soustraction :

Afin de favoriser la compréhension du sens de la soustraction par l'enfant, nous avons choisi la stratégie *séparer de* qui nous a semblé illustrer au mieux cette transformation. En effet, cette stratégie rend visible le retrait à partir d'une collection initiale par le repli des doigts. Nous avons également encouragé le déploiement ou le repli des configurations digitales plutôt que des unités, comme recommandé dans la littérature (Björklund et al., 2019).

- Petites opérations < 10 : Lors de la première séance, cette stratégie est expliquée à l'enfant avec des petites opérations. Il représente le plus grand opérande sur ses doigts et replie les doigts du deuxième opérande puis recompte les doigts restants ou reconnaît leur configuration digitale. Si besoin, nous lui expliquons ainsi « 4 - 2 : tu as 4 doigts et tu en enlèves 2 ... Combien t'en reste-t-il ? »
- Compléments à 10 : La même stratégie est utilisée lors de la seconde séance. Le travail des compléments à dix en addition et soustraction vise la compréhension des transformations inverses d'ajout et de retrait.
- Opérations < 10 : Ces stratégies de calcul digital sont consolidées, lors de la troisième séance, avec des soustractions inférieures à dix.
- Opérations < 20 : Les opérations inférieures à vingt sont proposées, lors de la dernière séance. L'enfant ne pouvant plus représenter tous les nombres sur ses doigts, nous lui proposons d'adapter la stratégie *séparer de* en alliant le *comptage digital et verbal*. L'enfant garde en tête le plus grand opérande, représente sur ses mains le second et compte à rebours en repliant un à un ses doigts. Lorsqu'il n'a plus de doigts, il s'arrête. Cette stratégie est proposée dans le but de conserver le sens de l'opération et contrôler le nombre de pas lors du comptage à rebours.

### **III. Résultats**

Les résultats sont indiqués au seuil de 1 ou 5 %.

#### ***1. Sélection de la population en Pré-test***

Les scores normés et observations aux épreuves de QI Verbal, Arithmétique et Comptage / Dénombrement au pré-test ont permis la sélection du groupe contrôle et des cas cliniques.

##### ***1.1. Résultats normés***

###### ***1.1.1. WISC-V : QI Verbal (Similitudes et Information) en Pré-test***

Selon les normes du WISC (Wechsler et al., 2016) présentées dans le tableau 2, tous les participants sont dans la moyenne faible ( $ET = -1 ; 0$ ) en *similitudes*. En *information*, le score du groupe contrôle est dans la moyenne faible ( $ET = -1 ; 0$ ), celui du DV1 est dans la moyenne très faible ( $ET = -2 ; -1.5$ ) et celui du DV2 est déficitaire ( $ET \leq 2$ ).

**Tableau 2**

*Rapport à la norme des notes standards des populations en QI verbal (WISC) au pré-test*

Groupe	WISC-V : Similitudes		WISC-V : Information	
	Note Standard	Ecart-type	Note Standard	Ecart-type
Contrôles	7.5	-1 ; 0 ET	7.3	-1 ; 0 ET
DV1	7	-1 ; 0 ET	5	-2 ; -1.5 ET
DV2	7	-1 ; 0 ET	4	≤ 2 ET

*Note.* Ce tableau indique en note standard rapportée à la norme en écarts-types, les résultats du groupe contrôle et des cas cliniques au QI verbal (similitudes et informations) en pré-test.

### ***1.1.2. TTA - Fluence Arithmétique en Pré-test***

Les résultats en *arithmétique (TTA)* au pré-test des deux enfants DV (Tableau 3) indiquent qu'ils sont à plus de deux écarts-types de leur classe d'âge. Rapportés à une classe d'âge inférieure, DV1 a un niveau correspondant à la moyenne faible du CP (-1 ET en *addition* et - 0.89 ET en *soustraction*), DV2 a un niveau inférieur au CP en *addition* (-1.77 ET) et dans la moyenne faible des CP en *soustraction* (- 0.89 ET). Les normes de la multiplication ne commençant qu'à partir du CE2 ne sont pas analysées.

**Tableau 3**

*Rapport à la norme des scores des cas cliniques en arithmétique (tta) au pré-test*

Enfant	Classe	TTA-Addition			TTA-Soustraction		
		Score Brut	Norme du CE1	Norme du CP	Score Brut	Norme du CE1	Norme du CP
DV1	CE1	7	-2.41 ET	- 1 ET	6	-1.93 ET	-0.89 ET
DV2	CE1	3	-3.01 ET	- 1.77 ET	6	-1.93 ET	-0.89 ET

*Note.* Ce tableau indique les scores des cas cliniques au pré-test en arithmétique (TTA) rapportés à la norme de CE1 et de CP en écarts-types.

### ***1.1.3. Comptage et Dénombrement en Pré-test***

Tous les enfants testés maîtrisent le *comptage endroit* jusqu'à 31 (au minimum). La majorité des enfants maîtrisent le *comptage envers* à partir de 10, quelques enfants de GSM le maîtrisent à partir de 5 et avec guidance au-delà. Ils maîtrisent également les principes du

dénombrement, même si sa réalisation est compliquée dans la tâche de *double comptage PAJI*.

### **1.2. Appariement des populations en Pré-test**

La similarité des compétences des cas cliniques et du groupe contrôle avant entraînement est vérifiée par l'appariement de leurs scores en pré-test avec un test d'effet de taille appliqué avec le logiciel Singlims\_ES.exe. (Crawford et al., 2010a, 2010b).

Les résultats présentés dans le Tableau 4 indiquent que la majorité des performances des deux cas cliniques en pré-test ne sont pas significativement différentes de celles du groupe contrôle et sont donc similaires. Seul le score en *information* du DV2 est significativement différent ( $t = -2.348, p < .05$ ) de celui du groupe contrôle.

**Tableau 4**

*Appariement des cas cliniques au groupe contrôle en pré-test avec calcul de l'effet de taille*

Variables	DV1		DV2	
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
PAJI : Comptage Double	-0.609	.56	-0.914	.38
PAJI : Utilisation des Doigts	-1.135	.29	-1.135	.29
TTA : Addition	0.153	.88	-1.373	.20
TTA : Soustraction	1.039	.33	1.039	.33
TTA : Multiplication	-0.298	.77	-0.298	.77
Gnosies Digitales	0.428	.68	0.335	.75
WISC-V : Similitudes	-1.727	.12	-1.727	.12
WISC-V : Informations	-1.649	.13	-2.348	.04*

*Note.* Ce tableau présente les résultats du test d'effet de taille appliqué à la moyenne des scores en pré-test du groupe contrôle et à ceux des cas cliniques, réalisé avec le logiciel Singlims\_ES.exe.

\*. La différence est significative au seuil de .05.

## **2. Evolution de la population entre le Pré-test et le Post-test**

### **2.1. Outils d'analyse statistique**

Les scores de tous les participants à chaque épreuve en pré-test et post-test ont été reportés dans un tableur (Annexe 9). La moyenne et l'écart-type des scores du groupe contrôle à

chaque épreuve (en pré-test, en post-test et en gain) ont été calculés. La différence des performances entre le pré-test et le post-test est exprimée par le calcul du gain (score au post-test - score au pré-test). Une valeur positive en gain indique une augmentation des performances. Une valeur nulle indique une stagnation des résultats. Une valeur négative indique une régression.

Des variables comme l'utilisation des doigts lors des épreuves du *TTA* et de la tâche *PAJI* sont également analysées. Pour la tâche *PAJI*, il s'agit du nombre de fois où les doigts ont été utilisés. Pour le *TTA*, il s'agit du pourcentage moyen calculé par le nombre de fois où les doigts ont été utilisés sur le total des additions et des soustractions (Calcul en Annexe 9).

Ces données permettent l'analyse descriptive et inférentielle.

Quatre étapes appliquées à chaque variable vérifient leur évolution entre le pré-test et le post-test chez l'ensemble des participants :

- Statistiques descriptives : Les statistiques descriptives présentent un aperçu de l'évolution de chaque variable chez les deux populations. Pour chaque variable, le tableau 5 indique le gain obtenu et les graphiques réalisés sur Excel (Microsoft, 2019) (Figure 2 et Annexe 10) indiquent la moyenne des scores du groupe contrôle munie des écarts-types et les scores des cas cliniques, en pré-test et en post-test.
- Evolution du groupe contrôle entre le pré-test et le post-test : La significativité de cette évolution est vérifiée chez le groupe contrôle par la comparaison de leurs performances au pré-test et au post-test avec un test non-paramétrique de Wilcoxon (Tableau 6), applicable aux petits échantillons, réalisé avec le logiciel SPSS (IBM, 2020).
- Appariement des populations en gains : La similarité de l'évolution des cas cliniques et du groupe contrôle est établie par l'appariement de leurs gains avec un test d'effet de taille (Tableau 7) appliqué avec le logiciel Singlims\_ES.exe. (Crawford et al., 2010a, 2010b).
- Les observations qualitatives précisent ces résultats.

## **2.2. Description des résultats par variable**

### **2.2.1. PAJI – Comptage Double et Utilisation des doigts**

Statistiques descriptives : L'ensemble de la population compte davantage de séquences *PAJI* après entraînement (Groupe Contrôle Gain = 5.3 ; DV1, Gain = 9 ; DV2, Gain = 7).

Le recours à l'*utilisation des doigts* est également plus fréquent pour tous les participants après entraînement (Groupe Contrôle, Gain = 4.5 ; DV1, Gain = 10 ; DV2, Gain = 10).

Evolution du groupe contrôle entre le pré-test et le post-test : Dans le groupe contrôle, les performances en *double comptage* de la série PAJI sont significativement différentes en pré-test et en post-test ( $Z = -2.69, p < .01$ ) ainsi que le nombre de fois où les *doigts* ont été utilisés lors de cette tâche ( $Z = -2.38, p < .05$ ).

Appariement des populations en gain : Les gains des deux cas cliniques en *comptage double* (DV1,  $t = 1.047, p = .32$  ; DV2,  $t = 0.481, p = .64$ ) et en *utilisation des doigts* (DV1,  $t = 1.135, p = .29$  ; DV2,  $t = 1.135, p = .29$ ) ne sont pas significativement différents de ceux du groupe contrôle.

Observations qualitatives : Lors du pré-test, les enfants pensent peu à utiliser leurs doigts pour marquer le dénombrement et tentent de compter dans leur tête. Ils n'y arrivent pas et se plaignent que l'enregistrement audio s'enchaîne trop vite. Après quelques items, ou plus rapidement lors du post-test, ils comptent sur leurs doigts en attribuant une main à une syllabe (main droite PA, main gauche JI ou l'inverse). Certains sont désarçonnés si le total dépasse 5 (une main) pour une syllabe, alors que l'autre main compte l'autre syllabe et ils perdent le fil. Les autres conservent le ou les élément(s) surajouté(s) en mémoire.

### **2.2.2. Dénombrement : Comptage sur les doigts**

Observations qualitatives : La plupart des enfants, y compris les deux cas cliniques, avaient leur propre stratégie de comptage sur les doigts en pré-test et l'ont conservée durant les entraînements et au post-test. Deux enfants du groupe contrôle qui comptaient aléatoirement en pré-test ont manifesté une stratégie stable au post-test.

### **2.2.3. TTA – Fluence Arithmétique et Pourcentage d'utilisation des doigts**

Statistiques descriptives : Une nette amélioration est observée après entraînement en *addition* (Groupe Contrôle, Gain = 5.4 ; DV1, Gain = 5 ; DV2, Gain = 7) et *soustraction* pour tous les sujets, hormis pour le DV2 en *soustraction* (Groupe Contrôle, Gain = 4.2 ; DV1, Gain = 4 ;

DV2, Gain = -1). Une faible amélioration est observée en *multiplication* (Groupe Contrôle, Gain = 0.9 ; DV1, Gain = 1.66 ; DV2, Gain = 1).

Le *pourcentage moyen d'utilisation des doigts en addition et soustraction* diminue entre le pré-test et le post-test de 48.7 % à 36.81 %, chez le groupe contrôle. Cependant, l'écart-type diminue aussi de 45.36 à 14.82. Si l'on compare en sous-groupes :

- Les enfants de GSM ont peu utilisé leurs doigts en pré-test ( $M = 14.5$  % des opérations) et les ont davantage utilisés en post-test ( $M = 43.97$  %).
- Tous les enfants de CP ( $ET = 0$ ) ont utilisé leurs doigts pour toutes les opérations ( $M = 100$  %) du pré-test et les ont en moyenne moins utilisés ( $M = 26.06$  % ;  $ET = 5.05$ ) en post-test.
- DV1 a utilisé ses doigts pour toutes les opérations (100 %) du pré-test et pour la moitié (49,17 %) du post-test.
- DV2 n'a pas utilisé ses doigts en pré-test (0 %) et les a utilisés pour toutes les opérations (100 %) du post-test.

Evolution du groupe contrôle entre le pré-test et le post-test : Les scores sont significativement différents en pré-test et en post-test en *addition* ( $Z = -2.83, p < .01$ ) et en *soustraction* ( $Z = -2.68, p < .01$ ) chez le groupe contrôle. Au contraire, aucune différence significative n'est observée en *multiplication* ( $Z = -1.63, p = .102$ ).

Appariement des populations en gain : Aucune différence significative n'est observée entre le gain en *addition* ( $t = -0.231, p = .82$ ) et en *soustraction* ( $t = -0.132, p = .90$ ) du DV1 et celui du groupe contrôle, de même pour le gain en *addition* ( $t = 0.925, p = .38$ ) du DV2. Une différence significative est observée entre le gain en *soustraction* du DV2 ( $t = -2.340, p < 0.05$ ) et le groupe contrôle.

#### Observations qualitatives

- Les GSM utilisaient déjà en pré-test quelques stratégies de calcul digital mais semblent avoir généralisé au post-test leur utilisation, notamment aux soustractions, et récupérer également en mémoire les petits faits arithmétiques et les doubles.

- Les CP ont moins utilisé leurs doigts en post-test mais semblent davantage récupérer en mémoire les faits arithmétiques ou utiliser des stratégies mentales.
- DV1 utilisait spontanément les stratégies de calcul digital en pré-test et a continué en post-test en récupérant également en mémoire certains faits arithmétiques.
- En pré-test, DV2 n'utilisait aucune stratégie de calcul (mental ou digital) mais estimait les réponses ainsi : « ah ça, ça doit faire... ». En post-test, les stratégies de calcul digital sont systématiquement utilisées sans autre stratégie.

#### **2.2.4. Gnosies digitales**

Statistiques descriptives : Les *gnosies digitales* évoluent peu entre le pré-test et le post-test chez l'ensemble de la population (Groupe Contrôle, Gain = 1.8 ; DV1, Gain = -4 ; DV2, Gain = 4).

Evolution du groupe contrôle entre le pré-test et le post-test : Aucune différence significative n'est observée pour les mesures des *gnosies digitales* en pré-test et en post-test ( $Z = -1.02, p = .306$ ) chez le groupe contrôle.

Appariement des populations en gain : Les gains des deux cas cliniques en *gnosies digitales* (DV1,  $t = -1.162, p = .28$  ; DV2,  $t = 0.441, p = .67$ ) ne sont pas significativement différents de ceux du groupe contrôle.

Observations qualitatives : En pré-test et en post-test, les enfants manifestent une certaine fatigue et un manque de concentration face à cette épreuve longue, présentée à la moitié de l'entretien.

#### **2.2.5. WISC-V : QI Verbal (Similitudes et Information)**

Statistiques descriptives : Le *QI verbal* reste également similaire chez l'ensemble de la population en *similitudes* (Groupe Contrôle Gain = 0.33 ; DV1, Gain = -1 ; DV2, Gain = 0) et en *information* (Groupe Contrôle Gain = 0.2 ; DV1, Gain = -1 ; DV2, Gain = 0) avant et après entraînement.

Evolution du groupe contrôle entre le pré-test et le post-test : Aucune différence significative n'est observée chez le groupe contrôle pour les mesures du *QI verbal* en pré-test et en post-test que ce soit en *similitudes* ( $Z = -1,73, p = .083$ ) ou en *information* ( $Z = -0.82, p = .414$ ).

Appariement des populations en gain : Aucune différence significative n'est observée entre le gain en *information* ( $t = -1.448, p = .18$ ) du DV1 et celui du groupe contrôle, ni pour le gain en *information* ( $t = -0.241, p = .81$ ) et en *similitudes* ( $t = -0.626, p = .55$ ) du DV2. Une différence significative est observée pour le gain en *similitudes* du DV1 ( $t = -2.523, p < 0.05$ ).

Observations qualitatives : L'épreuve de *similitudes*, première épreuve du test, semble sensible à l'état émotionnel de l'enfant. Certains semblent intimidés au pré-test, comme un enfant du groupe contrôle, écarté du calcul de la moyenne, n'ayant répondu qu'une fois au pré-test. D'autres, comme le DV1, semblent stressés et inhibés face au post-test constituant la dernière séance.

## **2.3. Présentation des résultats**

### **2.3.1. Statistiques descriptives**

**Tableau 5**

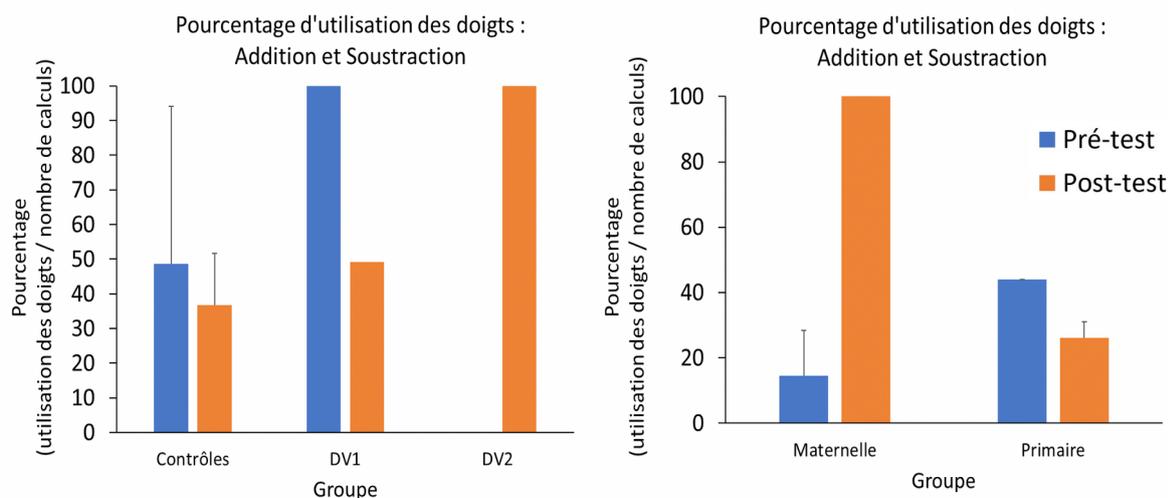
*Gain de chaque variable chez l'ensemble de la population*

Variables	Gain (post-test – pré-test)		
	Contrôle	DV1	DV2
PAJI : Comptage Double	$M = 5.3 ; ET = 3.37$	9	7
PAJI : Utilisation des Doigts	$M = 4.5 ; ET = 4.62$	10	10
TTA : Addition	$M = 5.4 ; ET = 1.65$	5	7
TTA : Soustraction	$M = 4.2 ; ET = 2.1$	4	-1
TTA : Multiplication	$M = 0.9 ; ET = 1.66$	2	1
TTA : Utilisation des doigts	$M = -11.89 ; ET = 54.84$	-50.83	100
Gnosies Digitales	$M = 1.8 ; ET = 4.76$	-4	4
WISC-V : Similitudes	$M = 0.33 ; ET = 0.5$	-1	0
WISC-V : Information	$M = 0.2 ; ET = 0.79$	-1	0

*Note.* Ce tableau présente les gains calculés par les scores au pré-test soustraits des scores au post-test pour chaque variable au sein du groupe contrôle et des deux cas cliniques.

**Figure 3**

*Pourcentage d'utilisation des doigts en calcul pour chaque population, en pré-test et post-test*



*Note.* Ces graphiques présentent le pourcentage d'utilisation des doigts en calcul en pré-test (bleu) et en post-test (orange) au sein du groupe contrôle (précisé en maternelle et primaire) et des cas cliniques (DV1 et DV2). Un trait vertical indique les écarts-types supérieurs à la moyenne.

### ***2.3.2. Evolution du groupe contrôle entre le Pré-test et le Post-test***

**Tableau 6**

*Evolution du groupe contrôle indiquée par un test de Wilcoxon*

<b>Variabiles (Post-test – Pré-test)</b>	<b>Score Z</b>	<b>P-valeur</b>
PAJI Comptage Double Post – PAJI Comptage Double Pre	-2.69	.007**
PAJI Utilisation Doigts Post – PAJI Utilisation Doigts Pre	-2.38	.017*
TTA Addition Post – TTA Addition Pre	-2.83	.005**
TTA Soustraction Post – TTA Soustraction Pre	-2.68	.007**
TTA Multiplication Post – TTA Multiplication Pre	-1.63	.102
Gnosies Digitales Post – Gnosies Digitales Pre	-1.02	.306
WISC V Similitudes Post – WISC V Similitudes Pre	-1.73	.083
WISC V Information Post – WISC V Information Pre	-.82	.414

*Note.* Ce tableau présente les résultats du test de Wilcoxon appliqué à la moyenne des scores en pré-test et post-test du groupe contrôle, réalisé avec le logiciel SPSS.

\*\* . La différence est significative au seuil de 0.01. \* . La différence est significative au seuil de 0.05.

### 2.3.3. Appariement des populations en gains

**Tableau 7**

*Appariement des cas cliniques au groupe contrôle en post-test avec calcul de l'effet de taille*

Variables	DV1		DV2	
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
PAJI : Comptage Double	1.047	.32	0.481	.64
PAJI : Utilisation des Doigts	1.135	.29	1.135	.29
TTA : Addition	-0.231	.82	0.925	.38
TTA : Soustraction	-0.132	.90	-2.340	.04*
TTA : Multiplication	0.632	.54	0.057	.96
Gnosies Digitales	-1.162	.28	0.441	.67
WISC-V : Similitudes	-2.523	.04*	-0.626	.55
WISC-V : Information	-1.448	.18	-0.241	.81

*Note.* Ce tableau présente les résultats du test d'effet de taille appliqué à la moyenne des scores en post-test du groupe contrôle et à ceux des cas cliniques, réalisé avec le logiciel Singlims\_ES.exe.

\*. La différence est significative au seuil de 0.05

### **3. Effets qualitatifs observés lors des séances d'entraînement**

- Habiletés digitales précises

Les enfants ont retenu rapidement l'association doigt-texture, certains par le toucher, d'autres visuellement. Une meilleure sensorialité est notée, notamment pour l'enfant DV2 qui manifestait des comportements de « dégoût » envers certaines textures, qu'il accepte mieux ensuite. Une meilleure mobilité des doigts est aussi notée, même si l'annulaire reste dépendant des autres doigts pour beaucoup d'enfants.

Un apprentissage implicite de l'ordre du comptage digital est également observé chez une petite fille qui en pré-test utilisait ses doigts dans un ordre aléatoire.

- Comptage

Tous les enfants comprennent le comptage comme le dénombrement de la quantité de doigts. Aucun n'attribue un nombre à un seul doigt (comptage-numérotage). La majorité montre les configurations digitales directement. Certains enfants de GSM comptent avant d'y parvenir.

La plupart des enfants comptant déjà sur leurs doigts avant entraînement, ces séances ont été rapides. Pour deux enfants du groupe contrôle, ces séances ont permis d'entraîner un comptage digital stable, consolidé par les séances d'arithmétique.

- Arithmétique

Tous les enfants ont compris le sens des opérations et les procédures employées. Aucune confusion entre l'ajout et le retrait n'a été observée. La soustraction a été rapidement comprise par les enfants de GSM pour qui elle était inconnue avant entraînement.

Les enfants de GSM et le DV2 ont été attentifs aux procédures de calcul digital et s'en sont facilement saisi. L'enfant DV2, parfois perdu par un retour visuel imprécis, améliorait la réalisation de ces stratégies en se concentrant sur son ressenti proprioceptif les yeux fermés.

Les enfants de CP et le DV1 avaient des réticences à utiliser les stratégies de calcul sur les doigts lors des premières séances portant sur les opérations simples. Ils privilégiaient les stratégies mentales ou de récupération en mémoire. Les stratégies de calcul digital ont davantage été investies pour les opérations plus compliquées comme celles supérieures à 10.

La séance de soustraction supérieure à 10, avec la stratégie de comptage digital et verbal, a été trop compliquée pour la majorité des enfants.

## **IV. Discussion**

### ***1. Synthèse de la recherche***

Notre étude visait l'amélioration des compétences arithmétiques d'enfants déficients visuels en difficultés mathématiques. Pour ce faire, un protocole de huit séances d'entraînement composées d'exercices d'habiletés digitales précises, de comptage et de calcul sur les doigts a été élaboré en accord avec la littérature scientifique. Cet entraînement a été effectué auprès d'enfants déficients visuels en difficultés mathématiques et d'enfants voyants de même âge mathématique. L'analyse des résultats permet désormais de répondre à nos hypothèses et d'évaluer l'efficacité de cet entraînement.

## **2. Interprétation des résultats et confrontation aux hypothèses**

### **2.1. Hypothèse 1**

« Nous observerons la même évolution dans les deux populations. »

Des populations aux compétences initiales similaires, se distinguant uniquement par leur acuité visuelle ont été recrutées afin que la comparaison de leur évolution soit pertinente.

Les tâches de QI, Arithmétique et Comptage/Dénombrement en pré-test ont vérifié cela, avant confirmation par l'analyse statistique. Le *QI verbal* de l'ensemble des enfants est estimé dans la moyenne faible à l'aide de la tâche de *similarities* malgré des différences notées en *information*. En effet, les résultats pour cette tâche varient de la moyenne faible pour le groupe contrôle, à la moyenne très faible pour le DV1 aux résultats déficitaires pour le DV2. Cependant, l'estimation du QI adaptée à la déficience visuelle ne comporte que deux subtests dans notre protocole, eux-mêmes composés de peu d'items. Face à la fiabilité relative de ce test, tous les participants ont été estimés aptes à suivre l'entraînement avec un niveau intellectuel pré-entraînement comparable. Le *TTA* indique un niveau mathématique correspondant au CP pour le DV1 et entre la GSM et le CP pour le DV2. La constitution du groupe contrôle d'enfants voyants inclut donc des enfants voyants de GSM et de CP. Le *comptage et le dénombrement* sont acquis pour tous les enfants. Les compétences évaluées pré-entraînement semblent donc concorder entre le groupe contrôle et les cas cliniques.

L'analyse statistique des effets de taille confirme l'absence de différence significative entre les performances du groupe contrôle et des cas cliniques en pré-test, hormis en *information* pour le DV2. Comme évoqué précédemment, cette différence n'est pas prise en compte, le test de *similarities* équilibrant ce résultat.

L'homogénéité du groupe contrôle est indiquée par la présence générale d'écarts-types faibles. Nous établissons un niveau pré-entraînement similaire pour tous les enfants.

La vérification d'une évolution similaire entre le groupe contrôle et les cas cliniques est effectuée par les tests d'effet de taille en gain. Ceux-ci ne mettent en évidence aucune différence significative entre l'évolution des performances du groupe contrôle et des cas cliniques, hormis en *similarities* chez le DV1 et en *subtraction* pour le DV2. Ces différences peuvent s'expliquer qualitativement.

D'une part, les scores obtenus au QI étant peu sujets aux variations en quelques mois

(Wechsler et al., 2016), celles-ci peuvent s'expliquer par les conditions du test (Jumel, 2017, p.40-41). Les réponses aux *similitudes*, premier test proposé, peuvent être influencées par l'état émotionnel de l'enfant aussi bien lors de la première rencontre, intimidante, que de la dernière, synonyme de séparation. Cet écart significatif des performances peut donc s'expliquer par un gain apparent positif du groupe contrôle et négatif du DV1.

D'autre part, selon les statistiques descriptives, les performances du groupe contrôle augmentent en *soustraction* au post-test alors que celles du DV2 chutent d'un point. Cependant, l'observation qualitative révèle un changement de stratégie : lors du pré-test les bonnes réponses sont devinées tandis qu'au post-test elles résultent de l'application de stratégies de calcul digital. L'analyse qualitative des entraînements révèle également une compréhension des procédures de soustraction et l'amélioration de leur résolution. Les résultats pris comme tels ne montrent donc aucune évolution en soustraction entre le pré-test et au post-test pour le DV2 malgré une amélioration des compétences, ce qui explique la différence significative de gain avec le groupe contrôle.

Ces données prises en compte, nous établissons que tous les participants ont évolué similairement suite à l'entraînement. Nous confirmons donc cette première hypothèse.

## **2.2. Hypothèse 2**

« Tous les enfants ayant suivi l'entraînement montreront une amélioration significative de leurs performances en addition et soustraction, pouvant être mise en évidence par des tests spécifiques. Les compétences non-numériques ne devraient pas s'améliorer. »

L'analyse des statistiques descriptives met en avant une amélioration après entraînement en *addition* et *soustraction* de tous les participants hormis du DV2 en soustraction. Or, comme relevé précédemment, l'apparente stagnation voire régression de ses performances en soustraction ne reflète pas l'amélioration réelle de ses compétences.

L'amélioration des participants en calcul est confirmée par l'analyse statistique inférentielle. En effet, une différence significative entre les performances en addition et soustraction du groupe contrôle en pré-test et en post-test est observée. Or, selon l'hypothèse 1, les cas cliniques suivent la même progression que le groupe contrôle. Nous pouvons donc conclure que l'entraînement axé sur le comptage et le calcul sur les doigts a amélioré les compétences en addition et soustraction de tous les participants. Ceci est en accord avec la littérature indiquant le rôle important des doigts dans le développement de l'arithmétique (Baroody,

1987 ; Geary, 1994 ; Jordan et al., 2008 ; Roesch et Moeller, 2015) et l'efficacité de protocoles d'entraînement similaires au nôtre (Jay et Betenson, 2017 ; Ollivier et al., 2020 ; Frey et al., non publié, cité par Schild et al., 2020).

Concernant la multiplication, les statistiques descriptives indiquent une faible amélioration. Cependant, cette évolution est non-significative. L'entraînement arithmétique ne s'est donc pas généralisé aux compétences de multiplication non-entraînées. Ceci est en accord avec les données de la littérature indiquant la résolution des multiplications comme relevant des capacités mnésiques et non des stratégies de calcul digital (Berteletti et Booth, 2015).

Le *QI verbal* (informations et similitudes) et les *gnosies digitales* varient très peu après entraînement selon les statistiques descriptives. Aucune différence significative n'est observée entre les performances à ces tâches en pré-test et en post-test chez le groupe contrôle. Or, selon l'hypothèse 1, les deux populations suivent la même évolution. Le QI verbal et les gnosies digitales du groupe contrôle et des cas cliniques n'ont donc pas évolué après l'entraînement.

L'entraînement se déroulant sur un temps très court et ne ciblant pas les connaissances générales, la stagnation du QI est en accord avec notre hypothèse et la littérature (Grégoire, 2019, p.30 ; Wechsler et al., 2016).

Le nombre de séances dévolues aux gnosies étant faible, la stagnation de cette compétence est en accord avec nos prévisions. Cependant, cela est en désaccord avec une partie de la littérature. Barrocas et al. (2020), établit, en effet, une évolution conjointe des gnosies digitales et des habiletés numériques. L'amélioration des compétences arithmétiques aurait donc pu relever d'une amélioration des gnosies. Néanmoins, selon certains auteurs, l'influence des gnosies sur le développement numérique serait faible compte tenu d'autres compétences (Poltz et al., 2015; Wasner et al., 2016, cités dans Barrocas et al., 2020). Nous pouvons supposer la présence de bonnes compétences gnosiques préalables chez nos participants, qui, conjuguées à un entraînement ciblé de l'arithmétique, ont permis le déploiement des habiletés numériques. Les séances de sensibilisation aux habiletés digitales, malgré l'absence d'effets quantitatifs, semblent avoir amélioré qualitativement la sensorialité et la mobilité digitale de certains enfants. Elles ont donc constitué, comme souhaité, une entrée à la mobilisation des doigts lors d'activités numériques. Les résultats obtenus à l'épreuve des gnosies digitales, aussi bien en pré-test qu'en post-test, peuvent tout de même être nuancés qualitativement. Cette épreuve très longue, présentée en milieu d'entretien,

induit une certaine fatigabilité et une perte d'attention des enfants.

Tous les enfants ayant amélioré leurs compétences en addition et soustraction mais, ni en QI verbal ni en gnosies digitales, l'hypothèse 2 est confirmée.

### **2.3. Hypothèse 3 :**

« Les doigts constitueront un support efficace pour élaborer la pensée numérique : Les enfants manifesteront par conséquent davantage de stratégies de comptage et de calcul sur les doigts ou une internalisation des stratégies (sans manifestation concrète de calcul digital) avec tout de même une nette amélioration des performances. »

L'analyse qualitative et descriptive indique une augmentation de l'*utilisation des doigts* et une amélioration des performances en *comptage double (PAJI)* de l'ensemble des participants en post-test. Cette différence entre le pré-test et le post-test est significative chez le groupe contrôle, aussi bien concernant l'amélioration des performances que l'utilisation des doigts. Or, selon l'hypothèse 1, tous les enfants suivent la même évolution. Après entraînement, l'ensemble des participants envisage donc les doigts comme un support à la réalisation de tâches numériques complexes. Ce support visuel, allégeant la mémoire à court terme verbale (Alibali et DiRusso, 1999), donne accès à de meilleurs résultats.

L'observation qualitative et l'analyse graphique indiquent que les enfants de GSM ont manifesté en moyenne davantage de *stratégies de calcul digital* en *addition* et *soustraction* au post-test, tout comme l'enfant DV2 étant initialement le plus en difficulté. Les enfants de CP et l'enfant DV1 ont, quant à eux, manifesté moins de stratégies de calcul digital et semblent avoir sollicité davantage la récupération en mémoire des faits arithmétiques.

Cette dichotomie est également observée au cours des séances d'entraînement. Les enfants de GSM et le DV2 ont immédiatement investi les stratégies de calcul digital alors que les enfants de CP et le DV1 étaient plus réticents à les utiliser pour résoudre les opérations jugées faciles.

Malgré ce choix stratégique différent, d'après l'hypothèse 2, tous les enfants se sont améliorés significativement en addition et soustraction. Tous les enfants se sont donc saisi des stratégies de calcul digital afin de développer leurs compétences opératoires. Les enfants les moins avancés en mathématiques ont usé de la manipulation concrète de ces stratégies pour comprendre et résoudre les opérations, notamment la soustraction, inconnue pré-entraînement pour les GSM. Pour les enfants les plus avancés en mathématiques, elles ont constitué une

représentation transitoire permettant la compréhension et la conceptualisation abstraite des principes de résolution des opérations. Cette évolution est conforme à l'internalisation des stratégies prévues dans la littérature (Ashcraft, 1982 ; Ashcraft et Fierman, 1982 ; Groen et Parkman, 1972, cités dans Barrouillet, 2006 ; Baroody et Ginsburg, 1986) et confirme le rôle pré-symbolique des doigts qui constituent un lien entre les représentations symboliques et non-symboliques du nombre (Andres et al., 2008; Fayol et Seron, 2005; Guedin, 2013; Krinzinger et al., 2011; Lafay et al., 2013; Thevenot, 2014).

L'observation de l'acquisition des stratégies de calcul digital, non seulement par les enfants voyants mais aussi mal-voyants, confirme également leurs propriétés proprioceptive et kinesthésique (Brissiaud, 2005 ; Domahs et al., 2008). En entraînement, alors que l'appropriation de ces stratégies par entrée visuelle est difficile pour le DV2, elle est facilitée par la concentration sur son ressenti proprioceptif avec la fermeture des yeux.

Les doigts ont donc constitué un support efficace pour tous les enfants, quel que soit leur niveau mathématique initial ou leur acuité visuelle. L'hypothèse 3 est donc validée.

### ***3. Force et limites de l'étude***

#### ***3.1. Forces***

Cette étude est, à notre connaissance, la seule étude s'intéressant au développement des compétences arithmétiques des enfants malvoyants par l'apprentissage du comptage et du calcul sur les doigts. L'analyse des résultats et la discussion de nos hypothèses indiquent que l'apprentissage de ces stratégies a été efficace.

Le suivi d'un même protocole d'évaluation et d'entraînement limite les biais d'examineurs.

L'homogénéité des populations étudiées a été vérifiée pré-entraînement. La sélection d'un groupe contrôle de même âge mathématique que les cas cliniques et l'appariement statistique des compétences pré-entraînement indique qu'une seule propriété principale diffère entre les deux groupes, l'acuité visuelle. Les biais liés à la population sont ainsi limités.

La taille de l'échantillon a pu être augmentée grâce à la collaboration avec Menik (l'étudiante belge).

Les outils d'évaluation utilisés sont spécifiques aux compétences étudiées par ce mémoire et

identiques en pré-test et post-test permettant une évaluation pertinente de ces compétences.

L'organisation des séances d'entraînement est justifiée par des bases théoriques solides. Chaque séance a rempli ses objectifs spécifiques (au niveau des gnoses, du comptage et de l'arithmétique) et généraux (améliorer les compétences en addition et soustraction).

### **3.2. Limites**

Les mêmes examinateurs ont entraîné et évalué les enfants en pré-test et post-test pouvant induire un biais d'examineur. Cependant, la modalité individuelle coûteuse en temps, ne permettait pas l'application des séances ni l'évaluation par les professeurs des écoles ou toute autre personne que les étudiantes impliquées dans ce mémoire universitaire. L'analyse à distance par un film des stratégies utilisées n'a pas pu être réalisée comme envisagé initialement, la validation de l'étude belge par un comité d'éthique ne comportant pas cette précision. Cependant, le suivi d'un protocole précis permet de dépasser ces limites.

Un biais de lieu peut également exister, les passations étant réalisées à l'école ou au domicile des enfants. Cependant, les mêmes résultats ont été retrouvés chez tous les participants.

La vérification de la stabilité des résultats dans le temps ou de leur généralisation hors étude n'a pas pu être évaluée au sein de nos contraintes temporelles. Cependant, le bulletin scolaire, du DV2 post-entraînement, communiqué par sa mère très fière, indique de très bons résultats en mathématiques (Annexe 11).

Malgré une attention portée à l'appariement de la population, des propriétés secondaires telles que la latéralité et le genre n'ont pas été contrôlées. Cependant, elles ne semblent pas avoir d'impact sur les résultats. L'enseignement mathématique scolaire et l'évolution naturelle des enfants pourraient également avoir impacté nos résultats. La constitution d'un groupe témoin d'enfants ne suivant pas l'entraînement aurait pu permettre cette vérification. Cependant, les enfants sont scolarisés dans des écoles et niveaux scolaires différents et s'améliorent pourtant similairement. Les résultats sont donc probablement spécifiques à notre entraînement. Malgré l'amélioration significative des performances pour notre population, la faiblesse de nos échantillons, voyants et mal-voyants, ne permet pas la généralisation des résultats. De plus, les deux enfants DV sachant au préalable compter sur leurs doigts, l'influence de ce protocole sur l'apprentissage du comptage sur les doigts chez les enfants DV, ne peut être estimée, bien qu'il ait été efficace chez deux enfants voyants. Toutefois, il a permis l'apprentissage des

stratégies de calcul sur les doigts chez les deux enfants DV.

L'analyse des résultats indique des limites aux outils d'évaluation. L'épreuve de gnosies digitales, trop longue, induisant une baisse attentionnelle et celle de QI comportant trop peu de sub-tests, manquent de fiabilité. L'utilisation de tests non-normés chez l'enfant déficient visuel peut également être mise en cause. Cependant, hormis pour la sélection de la population, nos résultats considèrent l'évolution des scores des participants au pré-test et au post-test sans référence aux normes.

Les retours et observations qualitatives des séances d'entraînement indiquent également des axes d'amélioration. Le comptage à rebours n'a été entraîné qu'à partir de 10. Or, un apprentissage du comptage à rebours à partir de 20 aurait facilité la résolution des grandes soustractions. La progression de l'entraînement arithmétique semble également à ajuster : certains enfants trouvent les premières séances trop faciles avant l'apparition d'une seule séance de calculs supérieurs à 10, insuffisante à l'acquisition des stratégies de résolution. Ce manque de progression peut s'expliquer par la réduction de dix à huit séances en raison des contraintes temporelles vécues suite aux difficultés de sélection de la population. La stratégie de calcul digital proposée pour les soustractions supérieures à 10, en l'absence de littérature correspondante, semble également trop compliquée. Cependant, selon l'hypothèse 2, tous les participants ont tout de même amélioré leurs performances en addition et soustraction.

#### ***4. Perspectives de recherche***

La discussion des hypothèses et limites de l'étude ouvre des perspectives de recherche.

Un des questionnements relevés pour nos participants est la généralisation et la stabilité des résultats dans le temps. Réévaluer les enfants dans quelques mois serait donc intéressant pour estimer le maintien des effets de l'entraînement.

L'apprentissage des stratégies de calcul digital ayant permis l'amélioration des compétences arithmétiques des deux enfants DV par ancrage proprioceptif, la reproduction de cette recherche auprès d'une population plus importante d'enfants DV en difficultés mathématiques, permettrait la généralisation des résultats. L'étude auprès d'enfants DV ou aveugles, en difficultés mathématiques et ne sachant pas au préalable compter sur leurs doigts, permettrait d'investiguer davantage l'importance de la proprioception dans l'apprentissage de ces stratégies. La comparaison avec un groupe témoin ne suivant pas l'entraînement, pourrait

augmenter la puissance statistique de ces études.

La théorisation d'une stratégie avec support digital pour les soustractions supérieures à 10, conservant le sens de l'opération ainsi que l'estimation de ses effets au cours d'un entraînement plus long, serait également intéressante.

## **CONCLUSION**

Nous nous sommes intéressées au sein de cette étude au développement des compétences numériques chez l'enfant déficient visuel. La revue de littérature et nos contacts avec les orthophonistes ont indiqué chez eux des difficultés numériques fréquentes, tout comme la concomitance avec un TSA. Nous souhaitons donc proposer à ces enfants une stratégie leur permettant de pallier leurs difficultés. Les stratégies de comptage et de calcul sur les doigts constituant une représentation pré-symbolique proprioceptive et un soutien au développement numérique de l'enfant voyant ont été retenues dans ce but.

Afin de vérifier l'efficacité de ces stratégies auprès de ce public, un protocole de huit séances d'entraînement, composées d'exercices d'habiletés digitales précises, de comptage et de calcul sur les doigts, a été proposé à deux enfants déficients en difficultés mathématiques et à un groupe d'enfants voyants de même âge mathématique. L'efficacité de cet entraînement a été évaluée par l'estimation de l'évolution des compétences, notamment arithmétiques, entre le début et la fin de l'entraînement. Nos résultats indiquent que tous les enfants, voyants et malvoyants, ayant suivi l'entraînement ont amélioré significativement leurs performances en addition et soustraction. Les doigts ont donc constitué un support efficace d'élaboration de la pensée numérique : autant par la manipulation concrète pour les enfants les plus en difficultés que, vers la conceptualisation pour les enfants les plus avancés. Un apprentissage proprioceptif des stratégies de comptage et de calcul sur les doigts pourrait donc améliorer les compétences des enfants DV en difficultés mathématiques. La reproduction de l'étude à plus large échelle permettrait de généraliser les résultats.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Alibali, M. W., et DiRusso, A. A. (1999). The function of gesture in learning to count : More than keeping track. *Cognitive Development*, 14(1), 37-56.  
[https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(99\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(99)80017-3)
- Amalric, M., D Nghien, I., et Dehaene, S. (2018). On the role of visual experience in mathematical development : Evidence from blind mathematicians. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 314-323. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.09.007>
- American Psychiatric Association, Crocq, M.-A., Guelfi, J. D., Boyer, P., Pull, C., et Pull-Erpelding, M.-C. (2016). *DSM-5 ® : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5<sup>e</sup> éd.). Elsevier Masson.
- Andres, M., Di Luca, S., et Pesenti, M. (2008). Finger counting : The missing tool? *Behavioral and Brain Sciences*, 31(6), 642-643.  
<https://doi.org/10.1017/S0140525X08005578>
- Arp, S., et Fagard, J. (2001). Handicap visuo-manuel et comptage chez l'enfant IMC ancien prématuré. *ANAE. Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant*, 65, 239-248.
- Ashcraft, M. H. (1992). Cognitive arithmetic : A review of data and theory. *Cognition*, 44(1-2), 75-106. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90051-I](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90051-I)
- 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>
- Baroody, A. J., et Ginsburg, H. P. (1986). The relationship between initial meaningful and mechanical knowledge of arithmetic. Dans J. Hiebert (dir.), *Conceptual and procedural knowledge : The case of mathematics* (p. 75-125). Lawrence Erlbaum

Associates, Inc.

- Barrocas, R., Roesch, S., Gawrilow, C., et Moeller, K. (2020). Putting a finger on numerical development—reviewing the contributions of kindergarten finger gnosis and fine motor skills to numerical abilities. *Frontiers in Psychology, 11*, 1012. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01012>
- Barrouillet, P. (2006). L'émergence des outils arithmétiques. Dans P. Barrouillet et V. Camos (dir.), *La cognition mathématique chez l'enfant* (p. 87-116). Solal.
- Bender, A., et 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., et Booth, J. R. (2015). Perceiving fingers in single-digit arithmetic problems. *Frontiers in Psychology, 6*, 226. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00226>
- Berteletti, I., et Booth, J. R. (2016). Finger representation and finger-based strategies in the acquisition of number meaning and arithmetic. Dans D. B. Berch, D. C. Geary, et K. M. Koepke (dir.), *Development of mathematical cognition* (p. 109-139). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801871-2.00005-8>
- Björklund, C., Kullberg, A., et Kempe, U. R. (2019). Structuring versus counting : Critical ways of using fingers in subtraction. *ZDM Mathematics Education, 51*(1), 13-24. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-0962-0>
- Brissiaud, R. (2005). *Comment les enfants apprennent à calculer : Le rôle du langage, des représentations figurées et du calcul dans la conceptualisation des nombres*. Retz.
- Castronovo, J., et Delvenne, J.-F. (2013). Superior numerical abilities following early visual deprivation. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 49*(5), 1435-1440. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.12.018>
- Crawford, J. R., Garthwaite, P. H., et Porter, S. (2010a). *Singlims\_ES.exe*. [logiciel].

[https://homepages.abdn.ac.uk/j.crawford/pages/dept/Single\\_Case\\_Effect\\_Sizes.htm](https://homepages.abdn.ac.uk/j.crawford/pages/dept/Single_Case_Effect_Sizes.htm)

Crawford, J. R., Garthwaite, P. H., et Porter, S. (2010b). Point and interval estimates of effect sizes for the case-controls design in neuropsychology : Rationale, methods, implementations, and proposed reporting standards. *Cognitive Neuropsychology*, 27(3), 245-260. <https://doi.org/10.1080/02643294.2010.513967>

Crollen, V., et Collignon, O. (2016). Cognition numérique : Que peuvent nous apprendre les personnes non-voyantes ? *Medecine Sciences: M/S*, 32(12), 1097-1102. <https://doi.org/10.1051/medsci/20163212013>

Crollen, V., et Collignon, O. (2020). How visual is the « number sense »? Insights from the blind. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 118, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.07.022>

Crollen, V., Dormal, G., Seron, X., Lepore, F., et Collignon, O. (2013). Embodied numbers : The role of vision in the development of number–space interactions. *Cortex*, 49(1), 276-283. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.11.006>

Crollen, V., Lazzouni, L., Rezk, M., Bellemare, A., Lepore, F., Noël, M.-P., Seron, X., et Collignon, O. (2019). Recruitment of the occipital cortex by arithmetic processing follows computational bias in the congenitally blind. *NeuroImage*, 186, 549-556. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.11.034>

Crollen, V., Mahe, R., Collignon, O., et Seron, X. (2011). The role of vision in the development of finger-number interactions : Finger-counting and finger-montring in blind children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(4), 525-539. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.03.011>

Crollen, V., Noël, M.-P., Seron, X., Mahau, P., Lepore, F., et Collignon, O. (2014). Visual experience influences the interactions between fingers and numbers. *Cognition*, 133(1), 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.06.002>

- Crollen, V., Warusfel, H., Noël, M.-P., et Collignon, O. (2021). Early visual deprivation does not prevent the emergence of basic numerical abilities in blind children. *Cognition*, 210, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104586>
- De Vos, T. (2010). *TempoTest Automatiseren*. Boom uitgevers Amsterdam.
- Dehaene, S. (2018). *La bosse des maths*. Odile Jacob.
- Di Luca, S., et Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Experimental Brain Research*, 185(1), 27-39. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1132-8>
- Domahs, F., Krinzinger, H., et Willmes, K. (2008). Mind the gap between both hands : Evidence for internal finger-based number representations in children's mental calculation. *Cortex*, 44(4), 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.001>
- Dormal, V., Crollen, V., Baumans, C., Lepore, F., et Collignon, O. (2016). Early but not late blindness leads to enhanced arithmetic and working memory abilities. *Cortex*, 83, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.07.016>
- Drill. (s. d.). Dans *Dictionnaire Le Robert en ligne*. Consulté 11 avril 2021, à l'adresse <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/drill>
- Fayol, M. (1990). *L'enfant et le nombre : Du comptage à la résolution de problèmes*. Delachaux et Niestlé.
- Fayol, M., et Seron, X. (2005). About numerical representations : Insights from neuropsychological, experimental, and developmental studies. Dans J. I. D. Campbell (dir.), *Handbook of mathematical cognition* (p. 3-22). Psychology Press.
- Fuson, K. C., Richards, J., et Briars, D. J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. Dans C. J. Brainerd (dir.), *Children's logical and mathematical cognition : progress in cognitive development research* (p. 33-92). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2_2)

- Geary, D. C. (1994). *Children's mathematical development : Research and practical applications*. American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10163-000>
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., et Catherine DeSoto, M. (2004). Strategy choices in simple and complex addition : Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(2), 121-151.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.03.002>
- Gelman, R., et Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard University Press.
- Gracia-Bafalluy, M., et Noël, M.-P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex*, 44(4), 368-375.  
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.020>
- Gray, S. A., et Reeve, R. A. (2014). Preschoolers' dot enumeration abilities are markers of their arithmetic competence. *PLoS ONE*, 9(4), e94428.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094428>
- Grégoire, J. (2019). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant : Fondements et pratique du WISC-V*. Mardaga supérieur.
- Guedin, N. (2013). Une approche pédagogique multimodale en mathématiques auprès d'élèves avec infirmité motrice cérébrale. *Motricité Cérébrale : Réadaptation, Neurologie du Développement*, 34(1), 6-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.motcer.2012.12.001>
- Gunderson, E. A., Spaepen, E., Gibson, D., Goldin-Meadow, S., et 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>
- IBM. (2020). *SPSS (Version 27)* [logiciel]. <https://www.ibm.com/fr-fr/analytics/spss-statistics->

[software](#)

Imbo, I., Vandierendonck, A., et Fias, W. (2011). Passive hand movements disrupt adults' counting strategies. *Frontiers in Psychology*, 2, 201.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00201>

INSERM US14. (2021). *Albinisme oculo-cutané*. Orphanet.

[https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/Disease\\_Search.php?](https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/Disease_Search.php?)

[lng=FR&data\\_id=311&Disease\\_Disease\\_Search\\_diseaseGroup=albinisme-oculo-cutane&Disease\\_Disease\\_Search\\_diseaseType=Pat&Maladie\(s\)/groupes%20de%20maladies=Albinisme-oculo-cutane&title=Albinisme%20oculo-cutane%20E9&search=Disease\\_Search\\_Simple](https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/Disease_Search.php?lng=FR&data_id=311&Disease_Disease_Search_diseaseGroup=albinisme-oculo-cutane&Disease_Disease_Search_diseaseType=Pat&Maladie(s)/groupes%20de%20maladies=Albinisme-oculo-cutane&title=Albinisme%20oculo-cutane%20E9&search=Disease_Search_Simple)

Jay, T., et Betenson, J. (2017). Mathematics at your fingertips : Testing a finger training intervention to improve quantitative skills. *Frontiers in Education*, 2, 22.

<https://doi.org/10.3389/feduc.2017.00022>

Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., et 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>

Jumel, B. (2017). *L'aide-mémoire du WISC-V*. Dunod.

Kanjlia, S., Lane, C., Feigenson, L., et Bedny, M. (2016). Absence of visual experience modifies the neural basis of numerical thinking. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(40), 11172-11177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1524982113>

Kinesthésie. (s. d.). Dans *Dictionnaire Le Robert en ligne*. Consulté 1 mai 2021, à l'adresse <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/kinesthesie>

Krajewski, K., et 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>
- Krinzinger, H., Koten, J. W., Horoufchin, H., Kohn, N., Arndt, D., Sahr, K., Konrad, K., et Willmes, K. (2011). The role of finger representations and saccades for number processing : An fMRI study in children. *Frontiers in Psychology*, 2, 373. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00373>
- Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C., et Fayol, M. (2013). The role of fingers in number processing in young children. *Frontiers in Psychology*, 4, 488. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00488>
- Le Sage Beaudon, C., et Torossian, M. (2013). Troubles des apprentissages chez les enfants déficients visuels. *Revue Francophone d'Orthoptie*, 6(4), 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.rfo.2013.10.006>
- Lemaire, P., Duverne, S., et El Yagoubi, R. (2002). Le développement des stratégies en situation de résolution de problèmes arithmétiques. Dans J. Bideaud et H. Lehalle (dir.), *Le développement des activités numériques chez l'enfant* (p. 195-211). Hermès Science publications.
- Lewi-Dumont, N. (2015). Des besoins particuliers des élèves aux besoins de formation des professionnels : L'exemple de la déficience visuelle. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, 70-71(2), 149. <https://doi.org/10.3917/nras.070.0149>
- Long, I., Malone, S. A., Tolan, A., Burgoyne, K., Heron-Delaney, M., Witteveen, K., et Hulme, C. (2016). The cognitive foundations of early arithmetic skills : It is counting and number judgment, but not finger gnosis, that count. *Journal of Experimental Child Psychology*, 152, 327-334. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.005>
- Magna, F. (2011). L'enseignement des mathématiques aux élèves déficients visuels. *REPERES - IREM*, 84, 5-18.
- Microsoft. (2019). *Excel* (Microsoft 365) [logiciel].

<https://www.microsoft.com/fr-fr/microsoft-365/excel>

Nicoladis, E., Pika, S., et 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>

Nystagmus. (s. d.). Dans *Dictionnaire Le Robert en ligne*. Consulté 1 mai 2021, à l'adresse

<https://dictionnaire.lerobert.com/definition/nystagmus>

Ollivier, F., Noël, Y., Legrand, A., et Bonneton-Botté, N. (2020). A teacher-implemented intervention program to promote finger use in numerical tasks. *European Journal of Psychology of Education*, 35(3), 589-606. <https://doi.org/10.1007/s10212-019-00441-9>

Proprioception. (s. d.). Dans *Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine en ligne*.

Consulté 1 mai 2021, à l'adresse <http://dictionnaire.academie-medecine.fr/index.php?q=proprioception>

Puustinen, M., Arneton, M., et Lewi-Dumont, N. (2018). La demande d'aide chez des élèves du second degré avec déficience visuelle : Quelles spécificités ? *Recherches en éducation*, 32, 180-191. <https://doi.org/10.4000/ree.2392>

Roesch, S., et Moeller, K. (2015). Considering digits in a current model of numerical development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1062.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01062>

Saxe, G. B., et Kaplan, R. (1981). Gesture in early counting : A developmental analysis.

*Perceptual and Motor Skills*, 53(3), 851-854.

<https://doi.org/10.2466/pms.1981.53.3.851>

Schild, U., Bauch, A., et 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, 529.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00529>

Simon, T. J. (1999). The foundations of numerical thinking in a brain without numbers.

*Trends in Cognitive Sciences*, 3(10), 363-365. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01383-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01383-2)

Synoptique. (s. d.). Dans *Dictionnaire Le Robert en ligne*. Consulté 1 mai 2021, à l'adresse

<https://dictionnaire.lerobert.com/definition/synoptique>

Thevenot, C. (2014). La relation entre doigts et nombres : Que peuvent nous apprendre les enfants présentant une hémiplégié ? *ANAE. Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant*, 128, 47-52.

Tobia, V., Bonifacci, P., et Marzocchi, G. M. (2016). Concurrent and longitudinal predictors of calculation skills in preschoolers. *European Journal of Psychology of Education*, 31(2), 155-174. <https://doi.org/10.1007/s10212-015-0260-y>

Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., et Noël, M.-P. (2001). *TEDI-MATH - Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. ECPA.

Wechsler, D., Dannay-Penhouët, C., et Éditions du Centre de psychologie appliquée (Paris). (2016). *Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants : WISC-V (5<sup>e</sup> éd.)*. Pearson : ECPA.

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](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00192-x)

Zazzo, R., Galifret-Granjon, N., Hurtig, M.-C., et Mathon, T. (1958). *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant*. Delachaux et Niestlé.

## **INDEX DES ANNEXES**

ANNEXE 1 : ENGAGEMENT ÉTHIQUE.....	61
ANNEXE 2 : LETTRE D'INFORMATION AUX RESPONSABLES LEGAUX.....	62
ANNEXE 3 : NOTICE D'INFORMATION AUX RESPONSABLES LÉGAUX.....	63
ANNEXE 4 : NOTICE D'INFORMATION AUX ENFANTS.....	66
ANNEXE 5 : LETTRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ.....	67
ANNEXE 6 : PROTOCOLE PRE-TEST / POST-TEST DE PRESENTATION.....	68
ANNEXE 7 : PROTOCOLE D'ENTRAÎNEMENT DE PRÉSENTATION.....	71
ANNEXE 8 : PHOTOS DU MATÉRIEL DE TEST ET D'ENTRAÎNEMENT.....	75
ANNEXE 9 : TABLEAUX : RÉSULTATS EN PRÉ-TEST, POST-TEST ET GAIN.....	76
DE L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS.....	76
ANNEXE 10 : GRAPHIQUES DES PERFORMANCES EN PRÉ-TEST ET EN POST-TEST DU GROUPE CONTRÔLE ET DES CAS CLINIQUES.....	80
ANNEXE 11 : BULLETIN SCOLAIRE DU DV2 POST-ENTRAÎNEMENT.....	81



UNIVERSITÉ DE NANTES  
FACULTÉ DE MÉDECINE  
ET DES TECHNIQUES MÉDICALES

Centre de Formation Universitaire en Orthophonie  
Directeur : Pr Florent ESPITALIER  
Co-Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON  
Directrice des Stages : Mme Annaïck LEBAYLE-BOURHIS

## U.E. 7.5.c Mémoire Semestre 10

### ANNEXE 1 ENGAGEMENT ÉTHIQUE

Je soussignée GUILLON Aude, dans le cadre de la rédaction de mon mémoire de fin d'études orthophoniques à l'Université de Nantes, m'engage à respecter les principes de la déclaration d'Helsinki concernant la recherche impliquant la personne humaine.

L'étude proposée vise à étudier les effets d'un entraînement du comptage et du calcul sur les doigts sur les compétences arithmétiques d'enfants déficients visuels et tout-venant.

Conformément à la déclaration d'Helsinki, je m'engage à :

- informer tout participant sur les buts recherchés par cette étude et les méthodes mises en œuvre pour les atteindre,
- obtenir le consentement libre et éclairé de chaque participant à cette étude
- préserver l'intégrité physique et psychologique de tout participant à cette étude,
- informer tout participant à une étude sur les risques éventuels encourus par la participation à cette étude,
- respecter le droit à la vie privée des participants en garantissant l'anonymisation des données recueillies les concernant, à moins que l'information ne soit essentielle à des fins scientifiques et que le participant (ou ses parents ou son tuteur) ne donne son consentement éclairé par écrit pour la publication,
- préserver la confidentialité des données recueillies en réservant leur utilisation au cadre de cette étude.

Fait à : Nantes

le : 22/05/2021

Signature

**ANNEXE 2**  
**LETTRE D'INFORMATION AUX RESPONSABLES LEGAUX**

Aude Guillon  
Etudiante en Master 2 d'Orthophonie  
[aude.guillon@etu.univ-nantes.fr](mailto:aude.guillon@etu.univ-nantes.fr)  
06. . . . .



UNIVERSITÉ DE NANTES  
FACULTÉ DE MÉDECINE  
ET DES TECHNIQUES MÉDICALES

**PROPOSITION DE PARTICIPATION - MÉMOIRE EN ORTHOPHONIE**

Bonjour Madame, Monsieur,

Je m'appelle Aude Guillon, je suis étudiante en dernière année au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Nantes. Dans le cadre de mon mémoire de fin d'étude, encadré par Mme Crollen enseignante-chercheuse belge et Mme Lebayle-Bourhis orthophoniste nantaise, je souhaite étudier les effets d'un entraînement du comptage sur les doigts sur les compétences en calcul.

L'utilisation des doigts lors des activités mathématiques ayant montré de nombreux bénéfices, nous avons élaboré un protocole d'entraînement axé sur cette stratégie. Afin de mesurer l'efficacité de ce protocole, nous souhaitons le proposer à plusieurs enfants de grande section de maternelle. Ainsi, nous observerons à la fin de l'étude l'amélioration ou non de leurs compétences.

Avec l'accord de Mme ....., directrice de votre école, je sollicite donc votre aide pour mener à bien mon projet.

Le protocole se déroulerait comme suit, pour chaque enfant :

- Une séance de rencontre et d'exploration des compétences de l'enfant (1 heure)
- 8 séances d'entraînement (30 min chacune)
- Une séance finale réévaluant les compétences de l'enfant (1 heure)

Les séances se dérouleraient une à deux fois par semaine, de façon individuelle, au sein de l'école.

Les mesures sanitaires seront respectées : port du masque, lavage des mains avant et après la séance pour l'enfant et moi-même.

Accepteriez-vous que votre enfant participe à cette étude ?

Pour donner votre accord vous pouvez me retourner le formulaire de consentement accompagnant cette lettre.

Cette étude est en collaboration avec l'Université Catholique de Louvain (Belgique). Votre enfant participera uniquement à l'étude figurant en rouge sur le document d'information.

Pour toute information complémentaire vous pouvez me contacter par mail ou par téléphone. Je répondrais à vos questions avec plaisir.

Merci pour votre aide.

Cordialement,

Aude Guillon  
Etudiante en Master 2 d'Orthophonie

## *INFORMATION AUX PARENTS OU RESPONSABLE LEGAL DES ENFANTS*

Numbers in the blind (Nombres et cécité)

Votre enfant est invité(e) à participer de façon volontaire à une expérimentation. Avant d'accepter sa participation, il est important de lire ce formulaire qui en décrit l'objectif et les modalités pratiques. Vous et votre enfant avez le droit de poser à tout moment des questions en rapport avec cette expérimentation.

### **Objectif et description de l'expérimentation**

Il s'agit d'une expérimentation qui devrait inclure environ 30 enfants (15 enfants aveugles ou déficients visuels et 15 **enfants voyants**), recrutés en Belgique et en France.

L'objectif de cette expérimentation consiste à comprendre le développement des compétences numériques (géométrie, comptage, calcul) des enfants déficients visuels et voyants. Si vous acceptez que votre enfant participe à cette expérimentation, il lui sera demandé de :

**Réaliser des tâches de calcul et de comptage avant et après avoir été entraîné à utiliser ses doigts pour compter/calculer**

La durée de participation ne dépassera pas 1 heures d'affilée.

### **Promoteur de l'expérimentation**

Les promoteurs de l'expérimentation sont l'Université Catholique de Louvain et l'Université de Nantes.

### **Participation volontaire**

La participation de votre enfant à cette expérimentation est entièrement volontaire et vous avez (vous et votre enfant) le droit de refuser d'y participer. Vous avez également le droit de retirer votre enfant de l'expérimentation à tout moment, sans en préciser la raison, même après avoir signé le formulaire de consentement. Vous n'aurez pas à fournir de raison au retrait de votre enfant ; toutefois, les données collectées jusqu'à l'arrêt de la participation à l'expérimentation font partie

intégrante de celle-ci. Si vous refusez que votre enfant participe à cette expérimentation, cela n'entraînera pour vous et votre enfant aucune pénalité ni perte d'avantages.

### **Bénéfices et risques**

Nous ne pouvons pas vous assurer que votre enfant tirera personnellement un quelconque bénéfice direct de sa participation. Cependant, les informations obtenues grâce à cette étude peuvent contribuer à une meilleure connaissance de la compréhension du concept du nombre.

### **Protection de la vie privée**

L'identité de votre enfant et sa participation à cette expérimentation demeureront strictement confidentielles. Ses données seront codées par un nombre à 3 chiffres (par exemple : 001). Seuls les responsables de l'étude connaîtront les associations entre le code chiffré et l'identité des participants. Votre enfant ne sera pas identifié(e) par son nom ni d'aucune autre manière reconnaissable dans aucun des dossiers, résultats ou publications en rapport avec l'étude. La protection des données personnelles est assurée par la loi belge du 30 juillet 2018 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel. Les données seront traitées conformément au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD du 25 mai 2018) et à la loi belge du 22 août 2002 relative aux droits du patient . L'UCLouvain sera responsable du traitement des données de votre enfant. La participation à l'étude signifie que vous acceptez que l'investigateur recueille des données concernant votre enfant et que le promoteur de l'étude les utilise dans un objectif de recherche et dans le cadre de publications scientifiques et médicales. Vous avez le droit de demander à l'investigateur quelles sont les données collectées et quelle est leur utilité dans le cadre de l'étude. Ces données concernent les résultats des examens requis par le protocole. Vous disposez d'un droit de regard sur ces données et le droit d'y apporter des rectifications au cas où elles seraient incorrectes. Les données seront conservées pendant 10 ans. Le gestionnaire des données de recherche désigné par le promoteur (Virginie Crollen) est responsable de la collecte des données recueillies par tous les investigateurs participant à la recherche, de leur traitement et de leur protection en conformité avec les impératifs de la loi belge relative à la protection de la vie privée.

Les données de recherche (codées) pourront être transmises aux autorités réglementaires belges ou autres, aux comités d'éthique concernés, à d'autres médecins et/ou à des organismes travaillant en collaboration avec le promoteur.

Le promoteur s'engage à utiliser les données collectées uniquement dans le cadre de l'étude à laquelle vous participez.

Selon le RGPD, vous disposez d'un droit de regard sur le traitement des données de votre enfant. Si vous avez des questions à ce sujet, vous pouvez contacter le responsable de la protection des données à cette adresse : [privacy@uclouvain.be](mailto:privacy@uclouvain.be).

Enfin, si vous avez une plainte quant au traitement des données de votre enfant, vous pouvez contacter l'autorité de contrôle belge chargée de veiller au respect des principes fondamentaux de la protection des données à caractère personnel :

L'autorité de contrôle belge s'appelle :

L'Autorité de protection des données (APD)

Rue de la presse 35,

1000 Bruxelles

Tel. +32 2 274 48 00

e-mail: [contact@apd-gba.be](mailto:contact@apd-gba.be)

Site web: <https://www.autoriteprotectiondonnees.be>

#### **Personnes à contacter si vous avez des questions à propos de l'expérimentation**

Si vous pensez que votre enfant a eu un dommage lié à l'expérimentation, que vous avez des questions, un avis à donner ou exprimer des craintes à propos de l'étude ou à propos des droits de votre enfant en tant que participant à une étude, vous pouvez contacter les responsables de l'étude :

Virginie Crollen : [virginie.crollen@uclouvain.be](mailto:virginie.crollen@uclouvain.be) ou +32. . . . .

Aude Guillon : [aude.guillon@etu.univ-nantes.fr](mailto:aude.guillon@etu.univ-nantes.fr) ou 06. . . . .

**ANNEXE 4**  
**NOTICE D'INFORMATION AUX ENFANTS**

***INFORMATION AUX ENFANTS***

Nombres et cécité

Nous te demandons de faire un test appelé étude. Tu n'es pas obligé de participer à l'étude si tu n'as pas envie. C'est à toi de choisir. Si tu décides de participer à l'étude et que tu changes d'avis ensuite, tu peux tout arrêter quand tu veux. Personne ne t'en voudra. Si tu as des questions, n'hésite pas à nous les poser, on sera là pour y répondre.

**Que devras-tu faire pendant l'étude ?**

L'objectif de cette étude consiste à comprendre comment les enfants aveugles et déficients visuels arrivent à calculer, compter, etc.. Si tu acceptes de participer à cette étude, tu devras :

**Réaliser différents exercices (calculer, compter, etc.) avant et après t'être entraîné à utiliser tes doigts pour compter et calculer.**

La durée des exercices ne dépassera pas 1 heure d'affilée.

**Est-ce que participer à l'étude t'apportera quelque chose ?**

Nous ne pouvons pas t'assurer que tu tireras un bénéfice direct de ta participation. Cette étude nous aidera à mieux comprendre comment les enfants déficients visuels et voyants apprennent à compter et calculer.

**Est-ce que quelqu'un d'autre saura que tu participes à l'étude ?**

Si tu décides de participer à l'étude, nous tiendrons les informations qui te concernent confidentielles. Nous utiliserons un numéro codé plutôt que ton nom pour noter tes réponses aux différents exercices que tu devras réaliser.

**Personnes à contacter si tu as des questions à propos de l'expérimentation**

Si tu penses avoir eu un dommage lié à l'expérimentation, que tu as des questions, un avis à donner ou exprimer des craintes à propos de l'étude ou à propos de tes droits en tant que participant à une étude, tu peux contacter les responsables de l'étude :

Virginie Crollen : [virginie.crollen@uclouvain.be](mailto:virginie.crollen@uclouvain.be) ou +32. . . . .

Aude Guillon : [aude.guillon@etu.univ-nantes.fr](mailto:aude.guillon@etu.univ-nantes.fr) ou 06. . . . .



**Centre de Formation Universitaire en Orthophonie**  
**Directeur : Pr Florent ESPITALIER**  
**Co-Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON**  
**Directrice des Stages : Mme Annaick LEBAYLE-BOURHIS**

**ANNEXE 5**  
**LETTRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ**

Coordonnées des responsables du projet :

Encadrant :	Etudiant :
Nom : Crollen	Nom : Guillon
Prénom : Virginie	Prénom : Aude
Mail : virginie.crollen@uclouvain.be	Mail : <a href="mailto:aude.guillon@etu.univ-nantes.fr">aude.guillon@etu.univ-nantes.fr</a>

Coordonnées du participant

Nom : ..... Prénom : .....  
.....  
Date de naissance : .....

Dans le cadre de la réalisation d'une étude, Mme Aude Guillon, étudiante en orthophonie m'a proposé de participer à une investigation organisée par le Centre de Formation Universitaire en Orthophonie (CFUO) de Nantes en lien avec la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'UCLouvain.

Elle m'a clairement présenté les objectifs de l'étude, m'indiquant que je suis libre d'accepter ou de refuser de participer à cette recherche. Afin d'éclairer ma décision, une information précisant clairement les implications d'un tel protocole m'a été communiquée, à savoir : le but de la recherche, sa méthodologie, sa durée, les bénéfices attendus, ses éventuelles contraintes, les risques prévisibles, y compris en cas d'arrêt de la recherche avant son terme. J'ai pu poser toutes les questions nécessaires, notamment sur l'ensemble des éléments déjà cités, afin d'avoir une compréhension réelle de l'information transmise. J'ai obtenu des réponses claires et adaptées, afin que je puisse me faire mon propre jugement.

Toutes les données et informations me concernant resteront strictement confidentielles. Seules les responsables du projet y auront accès.

J'ai pris connaissance de mon droit d'accès et de rectification des informations nominatives me concernant et qui sont traitées de manière automatisées, selon les termes de la loi.

J'ai connaissance du fait que je peux retirer mon consentement à tout moment du déroulement du protocole et donc cesser ma participation, sans encourir aucune responsabilité. Je pourrai à tout moment demander des informations complémentaires concernant cette étude.

Ayant disposé d'un temps de réflexion suffisant avant de prendre ma décision, et compte tenu de l'ensemble de ces éléments, j'accepte librement et volontairement de participer à cette étude dans les conditions établies par la loi.

Fait à : ....., le .....

Signature du participant

Signature du responsable légal

Signature de l'étudiant

**ANNEXE 6**  
**PROTOCOLE PRE-TEST / POST-TEST DE PRESENTATION<sup>1</sup>**

**Protocole de pré-test / post-test**

**SOMMAIRE :**

- Informations relatives au participant
- **QI (WISC-V)**
  - 1. Similitudes
- **Compétences mathématiques**
  - 1. Comptage
    - Compter le plus loin possible
    - Compter à rebours
- **Compétences mathématiques**
  - 3. Arithmétique : TTA
    - Addition
    - Soustraction
    - Multiplication
- **Gnosies digitales (R. Zazzo)**
- **QI (WISC-V) (suite)**
  - 2. Information
    - Compétences mathématiques (suite)
      - 2. Dénombrément
        - Utilisation spontanée des doigts : Comptage "double" PAJI
- **Compétences mathématiques (suite)**
  - 2. Dénombrément
    - Utilisation contrainte des doigts : Comptage sur les doigts

**QI (WISC-V)**

**1. Similitudes**

Consigne: "Maintenant, je vais te dire deux mots et te demander en quoi ils se ressemblent."

âges	item	réponse	note /
6-16	ex : Trois - Quatre		0 1 2
6-7	1.		0 1 2
	2.		0 1 2
	3.		0 1 2
	4.		0 1 2
8-11	5.		0 1 2
	6.		0 1 2
	7.		0 1 2

Similitudes note brute totale /14

Compétences mathématiques

**1. Comptage**

- a. **Compter le plus loin possible**
- b. **Compter à rebours**

Compter le plus loin possible (arrêté à 31)	
Compter à rebours à partir de 15	

**2. Arithmétiques**

Consigne : "Je vais te dire des calculs [additions / soustractions / multiplications] et tu devras donner la réponses. Tu dois en faire le plus possible en 2 minutes."

- a. **TTA : Additions**
- b. **TTA : Soustractions**
- c. **TTA : Multiplications**

1

2

<sup>1</sup>Cette version du protocole de pré-test/post-test est une version allégée présentant les différents exercices. La version complète (hors protocoles, tels le WISC et le TTA, sous copyright) est disponible sur demande.

**Gnosies digitales (R. Zazzo)**

L'observateur touche chaque doigt à l'aide de son index de façon nette et appuyée. Si l'enfant dit qu'il n'a pas bien senti, on recommence la stimulation.

Cotation: Item réussi : + . Echec : Indiquer n° du doigt (pouce: 1, auriculaire 5).

**Touchés uniques:**

“ Je mets à ta gauche une fausse main en bois. Tu peux la toucher, elle est comme ta main droite. Maintenant pose ta main droite à plat sur la table avec les doigts bien écartés. Je te demande de bien laisser ta main sur la table, sans bouger tes doigts. Je vais te toucher un doigt. Montre-moi avec ton autre main, sur la fausse main, le doigt que j'ai touché. Par exemple si je te touche ce doigt là (montrer l'index), montre-moi le doigt que j'ai touché.”

...

“ Maintenant on va faire la même chose avec la main gauche. Je mets à ta droite une fausse main en bois. Tu peux la toucher, elle est comme ta main gauche. Maintenant pose ta main gauche à plat sur la table avec les doigts bien écartés s'il te plat...”

4	1	3	5	2	3	1	5	2	4
D									
G									

**Touchés successifs :**

“ Revenons à la main droite. Je vais te toucher maintenant deux doigts l'un après l'autre. Tu vas me montrer lesquels c'est, dans le même ordre que moi.” Même chose main gauche.

1-4	2-3	5-2	3-4	5-3	1-2	5-4	1-3	4-2	1-5
D									
G									

**Touchés simultanés :**

“ Revenons encore à la main droite. Maintenant je vais te toucher deux doigts en même temps puis tu vas me montrer lesquels c'est d'accord ? “ Même chose main gauche.

	1-3	4-5	1-4	2-3	5-2	3-5	4-2	1-5	3-4	1-2
D										
G										

Score Droite : .../30  
 Score Gauche : .../30  
 Score Total : .../60

3

**Q1 (WISC-V) (suite)**

**2. Information**

Consigne : “Je vais te poser quelques questions et je voudrais que tu me donnes les réponses”

Items	Réponses	Notes
6-8	1. Montre-moi ton pied.	0 1
	2.	0 1
	3.	0 1
	4.	0 1
	5.	0 1
	6.	0 1
	7.	0 1

Note brute total : / 7

4

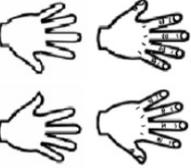
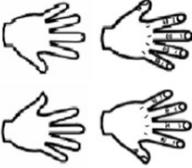
Compétences mathématiques (suite)

**2. Dénombrement**

**a. Utilisation spontanée des doigts : Comptage "double" PAJI**

« Tu vas entendre deux sortes de sons : des [ pa ] et des [ ji ]. Pour chaque série, tu dois écouter attentivement et tu dois compter les deux types de sons pour me donner à la fin combien de [ pa ] tu as entendu et combien de [ ji ] tu as entendu. Tu as compris ? On fait un essai ? »

Ex : PA JI JI PA PA JI 2 [ pa ] et 3 [ ji ]

	Total de syl.	Nb de PA	Rép. PA	Nb de JI	Rép. JI	Utilisation des doigts OUI/NON
1.	8	4		4		
...	...	...		...		...
10.	7	4		3		

Réponses correctes pour le nombre de PA : ...../ 10

Réponses correctes pour le nombre de JI : ...../ 10

Réponses correctes pour la séquence PAJI : ...../ 10

Utilisation des doigts : ..... fois sur 10

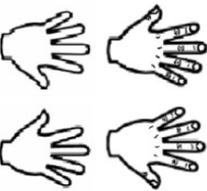
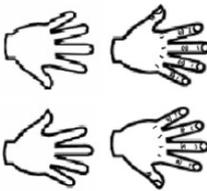
5

Compétences mathématiques (suite)

**2. Dénombrement**

**b. Utilisation contrainte des doigts : comptage sur les doigts**

«Je vais te demander d'utiliser tes doigts pour compter»

Item	Réponse
1 Peux-tu compter jusqu'à 7 avec tes doigts	
2 Peux-tu compter jusqu'à 5 avec tes doigts	
...	
10 Peux-tu compter jusqu'à 8	

6

## ANNEXE 7 PROTOCOLE D'ENTRAÎNEMENT DE PRÉSENTATION<sup>2</sup>

### Utilisation des doigts pour le développement des compétences arithmétiques

#### SOMMAIRE :

##### Séance 1 : Gnosies digitales

- Route de soie
- Piano dans le bon ordre
- Motricité fine : gym des doigts
- Drill
- Touche touche texture

##### Séance 5 : Arithmétique

- Rappel association doigts-nombres : montre-moi
- Addition
- Soustraction

##### Séance 6 : Arithmétique

- Rappel association doigts-nombres : montre-moi
- Addition
- Soustraction

##### Séance 7 : Arithmétique

- Rappel association doigts-nombres : montre-moi
- Addition
- Soustraction

##### Séance 3 : Comptage digital

- Association doigts-chiffres
- C'est combien
- Compter 1-10
- Montrer 1-10

##### Séance 4 : Comptage digital

- Rappel : c'est combien
- (Rappel association doigts-chiffres)
- Comptage endroit / envers
- Histoire avec un mot à compter
- Énumération

##### Séance 1 : Gnosies digitales

- Textures :
  - Pouce = Texture A = lisse = velours
  - Index = Texture B = doux = ponce
  - Majeur = Texture C = granuleux = poils
  - Annulaire = Texture D = dur = soie / satin
  - Auriculaire = Texture E = mou = chaîne

Consigne générale: "A chaque doigt on va associer une texture que l'on va utiliser ensuite dans des petits jeux, ok ? Je devrai parfois toucher ta main pour t'aider, est-ce que ça te dérange si je te touche?"

#### 1. La route de soie

**Matériel :** 5 Planches (A1, B1, C1, D1, E1) : chaque planche correspond à une texture, suivant son propre tracé (chemin avec barrières)

**Consigne :** "Tu as devant toi une planche avec un chemin tracé dessus. Je pose ton doigt sur le départ et tu vas devoir suivre le chemin pour atteindre l'arrivée, ok ?"

#### Déroulement:

Ordre	Planche	Doigt	Main	
1	A1	Pouce	Dominante	Non dominante
2	B1	Index	Dominante	Non dominante
3	C1	Majeur	Dominante	Non dominante
4	D1	Annulaire	Dominante	Non dominante
5	E1	Auriculaire	Dominante	Non dominante

**Questions :** Après que l'enfant a suivi le tracé avec les deux doigts et avant de passer à la prochaine texture on lui demande: "C'est agréable cette texture ? / Est-ce que tu aimes bien cette texture ?".

Lui donner des entrées verbales "Moi je trouve que c'est lisse comme du velours / C'est doux comme des poils"

#### Observations:

*Noter ici toute observation, en particulier s'il donne des noms à chaque texture.*

1

2

<sup>2</sup>Ceci est une version allégée du protocole d'entraînement présentant les différents exercices. La version complète est disponible sur demande.

## 2. Piano dans le bon ordre (Noël)

**Matériel :** 10 languettes (soit 2 languettes de chaque texture) placées (scrachées sur une planche) de façon à ce que lorsque l'enfant pose ses mains sur la table, chaque doigt rencontre en-dessous la texture correspondante, modélisé ainsi EDCBA ABCDE

**Consigne :** "Tu as devant toi plusieurs languettes avec sur chacune une texture particulière, il y en a une pour chaque doigt, tu peux poser tes doigts dessus."

- Maintenant tu vas appuyer ce doigt-là (lui toucher le pouce), tu peux caresser la languette un petit peu pour te familiariser avec la texture, puis celui-ci (toucher l'index) etc.
- Maintenant on passe à l'autre main, tu vas appuyer ce doigt là (toucher l'autre pouce etc.
- Et maintenant on fait les deux en même temps ok ? (Toucher les deux pouces) etc."

### Déroulement :

- Main dominante: pouce A / index B / majeur C / annulaire D / auriculaire E
- Main non dominante : pouce A / index B / majeur C / annulaire D / auriculaire E
- Les deux en même temps AA / BB / CC/ DD / EE

### Observations :

## 3. Motricité fine : gym des doigts

**Matériel :** Mains en bois articulées

**Consigne :** "Tu as devant toi une main qui produit une figure. Reproduis cette figure avec tes doigts. "

### Déroulement:

- Figure 1 : pouces en l'air
- Figure 2 : index en l'air
- Figure 3 : majeurs en l'air
- Figure 4 : annulaires en l'air
- Figure 5 : auriculaires en l'air

### Observations :

## 4. Drill

**Matériel :** 5 languettes (une pour chaque texture) à scratcher une à une sur une planche.

**Consigne :** "Je place devant toi une languette recouverte d'une texture. Touche la languette avec la main que tu préfères et lève le doigt correspondant sur la main que je vais t'indiquer. Avec quelle main tu préfères toucher la languette ? ... D'accord alors tu lèveras le doigt avec celle-ci (main libre). T'es prêt(e) ?

Maintenant tu vas devoir lever les doigts de l'autre main (toucher l'autre main). Tu peux continuer de toucher avec cette main ou tu peux utiliser l'autre, comme tu préfères."

3

**Déroulement :** / \ commencer par la main libre (qui ne touche pas la texture) donc soit la main dominante soit la main non dominante. Puis changer de main.

Texture	Doigt	Main	Doigt identifié
B	Index	Dominante	
A	Pouce	Dominante	
E	Auriculaire	Dominante	
C	Majeur	Dominante	
D	Annulaire	Dominante	
A	Pouce	Non dominante	
...	...	...	
C	Majeur	Non dominante	

### Observations :

## 5. Touche-touche texture

**Matériel :** une planche avec les 5 textures scratchées dans le désordre : EBCAD

**Consigne :** " Je place devant toi toutes les textures mélangées. Je vais te toucher un doigt et tu vas devoir retrouver la texture correspondante. Soit tu me dis son nom, soit tu touches les textures et tu me montres la bonne, d'accord?"

### Déroulement :

Main	Doigt touché	Texture	Texture identifiée
Dominante	Annulaire	D	
Dominante	Index	B	
Dominante	Majeur	C	
Dominante	Pouce	A	
Dominante	Auriculaire	E	
Non dominante	Majeur	C	
...	...	...	
Non dominante	Pouce	A	

### Observations :

4

### Séance 3 : Comptage digital

#### 1. Association doigts - chiffres

**Matériel :** Planche avec taquets (pour que les mains ne bougent pas) avec intercalaires amovibles.

**Consigne :** "Tu as une planche devant toi, pose tes mains dessus. Maintenant je vais placer un intercalaire entre tes doigts et tu devras compter les doigts placés de l'autre côté de cet intercalaire."

Par exemple : là tu as combien de doigts (on touche les doigts)? (placer l'intercalaire après le pouce) = 1

#### Déroulement :

Placer un intercalaire de début, qui est immobile avant le pouce et un intercalaire de fin après le doigt qui marque la cardinalité (ex: pour 3 un intercalaire avant le pouce et un entre le majeur et l'annulaire).

Exemple : entre le pouce et l'index et demander "là tu as combien de doigts ?" toucher le pouce si nécessaire. Décaler d'une place l'intercalaire à chaque fois. Si besoin mettre notre main sur la sienne pour lui signifier les doigts qu'il doit compter.

Quand on passe à 6 préciser si besoin "comme on n'a plus de place sur cette main on va rajouter la deuxième main. On continue de compter, on ne revient pas à 0." => à adapter si on a vu dans le pré-test qu'il utilise sa propre stratégie

Placement de l'intercalaire	Chiffre	Observations
Pouce - index, main dominante	1	
Index - majeur, main dominante	2	
Majeur - annulaire, main dominante	3	
Annulaire - auriculaire, main dominante	4	
Après auriculaire, main dominante	5	
Pouce-index, main non-dominante	6	
Index - majeur, main non-dominante	7	
Majeur - annulaire, main non-dominante	8	
Annulaire - auriculaire, main dominante	9	
Après auriculaire, main non-dominante	10	

#### Observations :

5

#### 2. C'est combien ?

**Matériel :** Planche avec taquets et intercalaires amovibles.

**Consigne :** "ça c'est combien ?"

**Déroulement :** Décaler l'intercalaire.

Placement de l'intercalaire	Chiffre	Observations
Pouce - index, main dominante	1	
Annulaire - auriculaire, main dominante	4	
Index - majeur, main dominante	2	
...		
Après auriculaire, main non-dominante	10	

#### Observations :

#### 3. Compter 1-10

**Matériel :** Mains

##### • Modélisation du comptage

**Consigne :** "Maintenant on va compter avec les doigts je fais la première fois avec toi. Tu peux soit lever tes doigts comme ça (lui montrer 1, 2) soit pianoter sur la table (lui montrer 1, 2). Qu'est ce que tu préfères ?"

**Déroulement :** Soit lever les doigts soit pianoter sur la table et faire une pression sur chaque doigt. Faire le mouvement pour l'enfant et dire le chiffre en même temps. Compter de 1 à 10. (pouce main dominante à auriculaire puis pouce non dominante à auriculaire non dominante).

-> A adapter selon sa stratégie

##### • Comptage ensemble

**Consigne :** "Maintenant tu comptes avec moi d'accord ?" **Consigne :** "Maintenant à toi, compte avec tes doigts"

##### • Comptage seul

**Consigne :** "Maintenant à toi, compte avec tes doigts"

#### 4. Montrer 1-10

**Matériel :** Mains

**Consigne :** "Je vais dire un chiffre et tu le montres avec tes doigts, ok ?"

#### Déroulement :

Chiffre	Chiffre fait	Doigts utilisés	Observations
1			
2			
3			
...			
10			

6

### Séance 5 : Arithmétique

#### 1. Rappel association doigts nombres : montre-moi ...

#### 2. Additions

**Consigne** : Tu sais maintenant compter avec tes doigts mais est-ce que tu sais qu'ils peuvent aussi te servir pour calculer. "Je vais te montrer"

**Stratégie** : Comptage du tout : lever les deux termes avec ses doigts et recompter chaque doigt.

**Matériel** : planche avec taquets + 2 intercalaires

Calculs	Réponses	Observation
1+1	2	
3+2	5	
4+1	5	
...		
4+4	8	

**Observations** :

**Consigne** : Maintenant à toi, tu le fais tout seul

**Stratégie** : Comptage du tout : lever les deux termes avec les doigts et recompter chaque doigt

**Matériel** : planche avec taquets + 2 intercalaires

Calculs	Réponses	Observation
1+1	2	
2+1	3	
4+1	5	
...		
6+2	8	

**Observations** :

7

#### 3. Soustractions

**Consigne** : Maintenant on va faire des soustractions en t'aidant aussi de tes doigts. "Je vais te montrer"

**Stratégie** : Séparer de : À partir du premier opérande représenté sur les doigts, retrait du deuxième opérande et comptage des doigts restant.

**Matériel** : planche avec taquets + 2 intercalaires

**Déroulement** : positionner l'intercalaire jusqu'à où il doit recompter au total

Calculs	Réponses	Observations
1-1	0	
2-1	1	
4-3	1	
...		
4-4	0	

**Observations** :

**Consigne** : Maintenant à toi, fais-le seul ....

**Stratégie** : Séparer de : À partir du premier opérande représenté sur les doigts, retrait du deuxième opérande et comptage des doigts restant.

**Matériel** : planche avec taquets + 2 intercalaires

**Déroulement** : positionner l'intercalaire jusqu'à où il doit recompter au total

Calculs	Réponses	Observation
5-1	4	
6-3	3	
5-3	2	
...		
8-1	7	

**Observations** :

8

**ANNEXE 8**  
**PHOTOS DU MATÉRIEL DE TEST ET D'ENTRAÎNEMENT**

*Évaluation des Gnosies Digitales<sup>3</sup>*



*« Association chiffre-doigt »<sup>4</sup>*



*« Route de Soie »<sup>5</sup>*



*« Piano dans le bon ordre »<sup>6</sup>*



*« Gym des doigts »<sup>7</sup>*



<sup>3</sup> Boîte découpée et main articulée utilisées pour l'évaluation des Gnosies Digitales en pré-test et post-test.

<sup>4</sup> Planche munie de taquets séparant les doigts et d'intercalaires indiquant l'intervalle de doigts à compter.

<sup>5</sup> Chemins de chaque texture, délimités par des barrières, utilisés pour la « Route de soie ». Les planches du haut sont utilisées lors de la première séance, celles du bas lors de la deuxième séance. Les planches suivent l'ordre du comptage, du pouce pour la première à gauche, à l'auriculaire pour la dernière à droite.

<sup>6</sup> Languettes de chaque texture disposées, en forme de main, sur une planche en bois à l'aide de velcros pour le « Piano dans le bon ordre ». Les languettes sont également utilisées dans les tâches « Drill » et « Touche-touche texture ».

<sup>7</sup> Mains articulées utilisées pour la « Gym des Doigts » et le test des Gnosies Digitales.

**ANNEXE 9**  
**TABLEAUX : RÉSULTATS EN PRÉ-TEST, POST-TEST ET GAIN**  
**DE L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS <sup>8</sup>**

*Tableau présentant les résultats en pré-test de l'ensemble des participants*

Sujets	Similitudes NS Pre	Information NS Pre	Gnosies Pre	PAJI Pre	PAJI Doigts Pre	TTA Addition Pre	TTA Soustraction Pre	TTA Multiplication Pre
C1	8	6	52	1	0	9	5	0
C2	8	6	55	0	10	8	4	0
C3	8	6	48	2	0	6	5	1
C4	8	6	39	3	10	10	7	0
C5	7	9	45	8	10	8	1	0
C6	8	9	42	7	9	7	6	0
C7	9	9	28	7	8	6	3	0
C8	8	7	39	0	0	7	4	0
C9	9	8	33	1	7	2	0	0
C10	9	7	23	1	1	3	3	0
DV1	7	5	45	1	0	7	6	0
DV2	7	4	44	0	0	3	6	0
Contrôle Moyenne	8,22	7,30	40,40	3,00	5,50	6,60	3,80	0,10
Contrôle Ecart-type	0,67	1,34	10,24	3,13	4,62	2,50	2,15	0,32

<sup>8</sup> Les enfants du groupe contrôle sont présentés en rouge de C1 à C4 pour les CP et en bleu de C5 à C10 pour les GSM. Leur moyenne et écart-type apparaît en violet. Les cas cliniques, DV1 et DV2, sont présentés en noir.

Tableau présentant les étapes de calculs effectuées pour obtenir le Pourcentage d'utilisation des doigts en addition et soustraction (en Pré-test)<sup>9</sup>

Sujets	TTA Addition Doigts Pre	TTA Addition Total Calcul Pre	TTA Addition Pourcentage Doigts Pre	TTA Soustraction Doigts Pre	TTA Soustraction Total Calcul Pre	TTA Soustraction Pourcentage Doigts Pre	Moyenne Pourcentage Doigts Addition Soustraction Pre
C1	9	9	100,00	5	5	100,00	100,00
C2	10	10	100,00	10	10	100,00	100,00
C3	7	7	100,00	7	7	100,00	100,00
C4	10	10	100,00	7	7	100,00	100,00
C5	0	12	0,00	0	12	0,00	0,00
C6	2	11	18,18	3	14	21,43	19,81
C7	5	7	71,43	0	5	0,00	35,71
C8	2	10	20,00	0	9	0,00	10,00
C9	0	4	0,00	0	7	0,00	0,00
C10	0	8	0,00	3	7	42,86	21,43
DV1	9	9	100,00	8	8	100,00	100,00
DV2	0	11	0,00	0	13	0,00	0,00
Contrôle							
Moyenne	4,50	8,80	50,96	3,50	8,30	46,43	48,69
Contrôle							
Ecart-type	4,22	2,35	46,98	3,63	2,95	48,00	45,36

<sup>9</sup>TTA Addition Doigts Pre correspond au nombre de fois que les doigts ont été utilisés en addition en pré-test. TTA Addition Total Calcul Pre correspond au nombre total d'additions effectuées en pré-test. TTA Addition Pourcentage Doigts Pre est calculé ainsi « TTA Addition Doigts Pre / TTA Addition Total Calcul Pre \* 100 ». Les mêmes calculs sont opérés en soustraction.

La dernière colonne, Moyenne Pourcentage Doigts Addition Soustraction Pre, calculée ainsi « (TTA Addition Pourcentage Doigts Pre + TTA Soustraction Pourcentage Doigts Pre) / 2 », correspond à la variable appelée dans le texte « Pourcentage d'utilisation des doigts en addition et soustraction ».

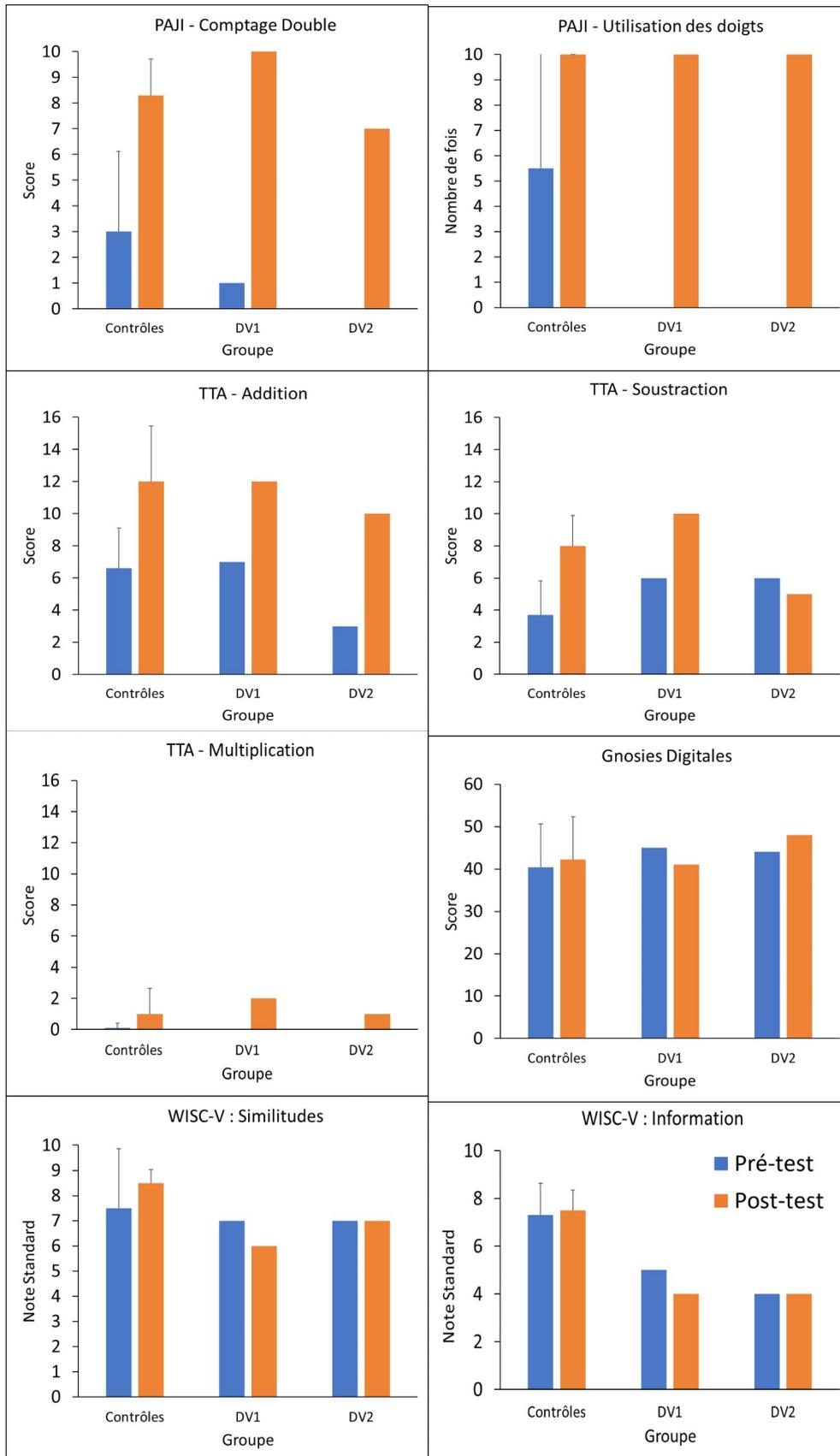
Tableau des résultats en post-test de l'ensemble des participants

Sujets	Similitudes NS		Information NS		Gnosies		PAI		PAI Doigts		TTA Addition		TTA Soustraction		TTA Multiplication		Moyenne Pourcentage Doigts Addition Soustraction Post
	Post	NS	Post	NS	Post	NS	Post	NS	Post	NS	Post	NS	Post	NS	Post		
C1	8		7		53		9		10		15		10		2		31,67
C2			7		51		9		10		12		8		2		20,54
C3	8		7		50		10		10		13		10		1		23,33
C4	8		6		37		8		10		19		11		5		28,71
C5	8		9		56		9		10		12		9		0		35,90
C6	9		8		39		9		10		12		6		0		27,08
C7	9		8		32		7		10		10		6		0		65,93
C8	9		7		45		8		10		12		7		0		32,14
C9	9		8		31		9		10		6		6		0		56,25
C10	9		8		28		5		10		9		7		0		46,53
DV1	6		4		41		10		10		12		10		2		49,17
DV2	7		4		48		7		10		10		5		1		100,00
Contrôle Moyenne	8,56		7,50		42,20		8,30		10,00		12,00		8,00		1,00		36,81
Contrôle Ecart-type	0,53		0,85		10,12		1,42		0,00		3,46		1,89		1,63		14,82

Tableau des résultats en gains de l'ensemble des participants

Sujets	Moyenne										Doigts Addition	Doigts Soustraction
	Similitudes NS Gain	Information NS Gain	Gnosies Gain	PAJ Gain	Doigts PAJ Gain	TTA Addition Gain	TTA Soustraction Gain	TTA Multiplication Gain	Pourcentage	Gain		
C1	0	1	1	8	10	6	5	2	-68,33			
C2		1	-4	9	0	4	4	2	-79,46			
C3	0	1	2	8	10	7	5	0	-76,67			
C4	0	0	-2	5	0	9	4	5	-71,29			
C5	1	0	11	1	0	4	8	0	35,90			
C6	1	-1	-3	2	1	5	0	0	7,28			
C7	0	-1	4	0	2	4	3	0	30,22			
C8	1	0	6	8	10	5	3	0	22,14			
C9	0	0	-2	8	3	4	6	0	56,25			
C10	0	1	5	4	9	6	4	0	25,10			
DV1	-1	-1	-4	9	10	5	4	2	-50,83			
DV2	0	0	4	7	10	7	-1	1	100,00			
Contrôle Moyenne	0,33	0,20	1,80	5,30	4,50	5,40	4,20	0,90	-11,89			
Contrôle Ecart-type	0,50	0,79	4,76	3,37	4,62	1,65	2,10	1,66	54,84			

**ANNEXE 10**  
**GRAPHIQUES DES PERFORMANCES EN PRÉ-TEST ET EN POST-TEST**  
**DU GROUPE CONTRÔLE ET DES CAS CLINIQUES**



**ANNEXE 11**  
**BULLETIN SCOLAIRE DU DV2 POST-ENTRAINEMENT**

**MATHÉMATIQUE**

<b>Savoir établir des liens logiques</b>	6 / 10
Lire, construire un graphique de données,; classer les blocs logiques	
<b>Savoir calculer sur des nombres</b>	10 / 10
$u + Du = D, Du + u = D$	
$Du + u, u + Du, Du + Du$ (sans passage)	15 / 15
La commutativité	13 / 15
Structure des nombres et tables de multiplication	9 / 10
<b>Savoir mesurer des grandeurs</b>	
Le kilo	
<i>absent</i>	
les mesures de longueurs partie 1	9 / 10
les mesures de longueurs partie 2	20 / 25
l'unité, la moitié, le quart	8,5 / 15
<b>Savoir structurer l'espace</b>	9,5 / 10
les figures simples	19 / 20

### **RESUME**

Les enfants déficients visuels (DV) peuvent présenter des difficultés ou un Trouble Spécifique des Apprentissages en mathématiques (dyscalculie). Les stratégies de comptage et de calcul sur les doigts favorisent une représentation concrète des nombres vécue par le corps et accompagnent le développement typique de l'enfant. Cette étude évalue l'efficacité de l'apprentissage de ces stratégies sur les compétences arithmétiques d'enfants DV en difficultés mathématiques. Un entraînement de huit séances composées d'exercices d'habiletés digitales précises, comptage et calcul sur les doigts a été proposé une fois par semaine à deux enfants DV et un groupe contrôle d'enfants voyants de même âge mathématique. Les résultats indiquent une amélioration significative des performances de tous les participants en addition et soustraction. Selon notre étude, l'entraînement du comptage et du calcul sur les doigts améliore donc les compétences en calcul des enfants déficients visuels et voyants. Cet apprentissage pourrait s'ancrer dans un vécu proprioceptif. La reproduction de cette étude à plus large échelle permettrait la généralisation des résultats.

---

### **MOTS-CLES**

Calcul – Cognition Mathématique – Compter – Déficience Visuelle – Doigts – Orthophonie

---

### **ABSTRACT**

Children with visual impairments may have difficulties or a Specific Learning Disability in mathematics (dyscalculia). Finger counting and finger calculation provides a concrete body representation of numbers which supports typical mathematical child development. This study evaluates the effectiveness of these strategies on the arithmetic skills of visually impaired children with mathematical difficulties. Two visually impaired children and a control group of sighted children of the same mathematical age were trained once a week in eight sessions of precise finger skills, finger counting and finger calculation. The results indicate a significant improvement of all participants in addition and subtraction skills. Thus, training in finger counting and finger calculation could improve the calculation skills of visually impaired and sighted children. This learning could be supported by the proprioceptive abilities. Replication of this study on a larger scale would allow generalization of the results.

---

### **KEY WORDS**

Calculation – Counting – Fingers – Mathematics – Speech Therapy – Visual Disorders