ACADÉMIE DE PARIS
UNIVERSITÉ PARIS VI PIERRE et MARIE CURIE

MÉMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITÉ D'ORTHOPHONISTE

EFFETS D'UN ENTRAÎNEMENT SUR LES COMPÉTENCES ARITHMÉTIQUES D'ENFANTS DE GRANDE SECTION DE MATERNELLE

Sous la direction du Pr. MICHEL FAYOL

Année universitaire 2014-2015

FRUITIÈRE Héloïse
Née le 16 août 1991

LEMARIÉ Kelly
Née le 20 octobre 1992

REMERCIEMENTS

Nous voulons adresser nos sincères remerciements :

À notre Directeur de Mémoire, le professeur Michel FAYOL, pour son soutien, ses idées et ses remarques tout au long de notre mémoire et sans qui rien n'aurait été possible.

À mesdames les inspectrices des circonscriptions Paris 18C et Saint-Mandé, Marie-Christine GREINER et Dominique BRULE, de nous avoir accordé leur autorisation pour la passation des tests et des entraînements dans les écoles maternelles.

Aux directrices et directeurs des écoles, mesdames D'HENDECOURT (école élémentaire, Saint-Mandé), DROUILLAT (école maternelle, Paris 18ème) et messieurs DROUILLAT (école élémentaire, Paris 18ème), SALE (école élémentaire, Paris 18ème), WEBER (école maternelle, Saint-Mandé) d'avoir accepté la passation des tests et entraînements dans leurs écoles.

Aux professeurs des écoles, mesdames CAHU, CANOVAS, CHEMINANT, CORSINI, DAVIOU, DE LA REBERDIÈRE, LEFÈVRE, NICOLAS, ROMANO, SABOURAUD, SCHMITT et monsieur LABONDE qui ont consacré une partie de leur temps et de leur énergie pour nous aider à réaliser notre mémoire.

Au personnel des Écoles Maternelle et élémentaire de Paris et de Saint-Mandé pour leur accueil et leur aide.

À tous les enfants que nous avons suivis et qui nous ont permis, par leur participation et leur collaboration, de réaliser notre étude.

À nos proches qui ont participé à la fabrication des jeux et nous ont soutenues tout au long de ce mémoire.

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je soussignée Héloïse Fruitière, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes 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.

Je soussignée Kelly Lemarié, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes 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.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION ***1***

CHAPITRE I : PARTIE THÉORIQUE ***3***

I. RELATIONS ENTRE CODES ET REPRÉSENTATIONS ANALOGIQUES DU NOMBRE : LE MODÈLE DU TRIPLE CODE (partie rédigée par K. Lemarié) 3
1. La représentation analogique 3
2. La représentation auditivo-verbale 4
3. La représentation visuelle arabe 4
4. Les liens entre les représentations 5

II. PERCEPTION ET NUMÉROSITÉ : DE LA CONFUSION À LA DIFFÉRENCIATION (partie rédigée par H. Fruitière) 5
1. Confusion entre perception et numérosité 5
1. 1. Les capacités numériques innées 5
1. 2. Remise en cause des capacités numériques précoces des bébés 6
1. 3. Modèles de différenciation nombre et quantité 8
1. 4. Le nombre, indépendant de toute propriété visuelle 8
2. Qu'est-ce que la conservation ? 9
2. 1. Description de l'épreuve 9
2. 2. Amélioration des résultats à l'épreuve de conservation 10
3. Comptage et dénombrement 10
3. 1. Définition 11
3. 2. L'émergence du dénombrement 12
3. 3. Dénombrement et compétences arithmétiques futures 13

III. RELATION ENTRE LES DOIGTS ET LE NOMBRE (partie rédigée par K. Lemarié) 14
1. Les liens anatomiques entre doigts et calcul 14
2. Le lien fonctionnel entre doigts et nombre 15
3. Le rôle des doigts dans le développement 16
3. 1. Une collection-témoin particulière 16
3. 2. Passage d'une représentation symbolique au non symbolique 17
3. 3. Les doigts comme substitut de la mémoire de travail 17
3. 4. Le poids des performances perceptivo-tactiles : des études explicatives 18
4. Les doigts sont-ils nécessaires ? 18
5. Un entraînement digital pourrait-il améliorer les capacités arithmétiques des enfants ? 19

CHAPITRE II : PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES ***21***

I. PROBLÉMATIQUE 21

II. HYPOTHÈSES 22

CHAPITRE III : POPULATION ET MATÉRIEL ***23***

I. POPULATION 23

II. MATÉRIEL 24
1. Les entraînements 24
1. 1. Entraînement numérique : le jeu de bataille (voir annexe A) 24
1. 2. Entraînement digital 27
2. Les tests 29

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ***35***

I. ANALYSE DES PERFORMANCES GLOBALES 36

II. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES GROUPES AU PRÉ-TEST : ÉTAT INITIAL 37

III. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS (BAT+DOI) PAR RAPPORT AUX ENFANTS CON 38

IV. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS BAT PAR RAPPORT AUX ENFANTS DOI 40

V. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS BAT PAR RAPPORT AUX ENFANTS CON 41

VI. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS DOI PAR RAPPORT AUX ENFANTS CON 42

CHAPITRE V : DISCUSSION 44

I. CONSÉQUENCES DE L'ENTRAÎNEMENT BAT SUR LES CAPACITÉS ARITHMÉTIQUES DES ENFANTS 44
1. L'épreuve de conservation, spécifiquement travaillée par le groupe BAT 44
2. L'épreuve d'identifications digitales, spécifiquement travaillée par le groupe DOI 45
3. Les autres épreuves 46
3. 1. Spécificité des épreuves de dénombrement et comparaisons 46
3. 2. Opérations et estimations linéaires : des épreuves non spécifiques 48

II. CAS PARTICULIERS 50
1. Étude de cas de Benjamin, groupe BAT 50
2. Comparaison de deux profils du groupe BAT : Julie et Emma 51
3. Comparaison de deux élèves du groupe DOI : Eliot et Noémie 52
4. Comparaison de deux profils : un du groupe BAT, Axel et un du groupe DOI, Élise 54

III. LES BIAIS DE NOTRE ÉTUDE 55
1. La population 55
2. Les limites des tests 56
2. 1. Passations 56
2. 2. Limites des épreuves 57
3. Les limites des entraînements 57
3. 1. Les différences entre les deux entraînements 57
3. 2. Les spécificités de l'entraînement BAT 58
3. 3. Les spécificités de l'entraînement DOI 59
3. 4. Conclusion sur les entraînements 59

CONCLUSION 60

BIBLIOGRAPHIE 61

ANNEXES 66

ANNEXE A : Jeux 66

ANNEXE B : Identifications de représentations digitales (DIGIT) 69

ANNEXE C : Dénombrement (DENOM) 71

ANNEXE D : Comparaisons (COMP) 75

ANNEXE E : Opérations (OPE) 77

ANNEXE F : Estimations linéaires (LIGN NUM) 78

ANNEXE G : Épreuves de développement 81

ANNEXE H : Conservation (CONS) 84

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BAT : Groupe participant au jeu de bataille.

COMP : Épreuve de comparaisons.

CON : Groupe contrôle suivant les activités scolaires habituelles.

CONS : Épreuve de conservation.

CP : Cours préparatoire.

DENOM : Épreuve de dénombrement.

DIGIT : Épreuve d'identifications de représentations digitales.

DOI : Groupe participant à l'entraînement digital.

FA : Faits arithmétiques.

GSM : Grande Section de Maternelle.

LIGN NUM : Épreuve d'estimations linéaires.

OPE : Épreuves d'opérations.

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Graphique représentant l'évolution des performances globales de chaque groupe (CON, DOI et BAT) en fonction de chaque session de test (sessions en abscisse, moyennes globales en ordonnée).

Tableau 1 : Répartition de l'échantillon initial (pré-test) en âge et en sexe.

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon final (post-test 2) en âge et en sexe.

Tableau 3 : Illustration des jeux. Situation congruente : jeux 1, 2 et 3. Situation neutre : jeu 4. Situation non congruente : jeux 5 et 6.

Tableau 4 : Valeurs de significativité du Khi-deux pour un degré de liberté 1 (1 ddl).

Tableau 5 : Moyennes globales de chaque groupe lors de chaque session de tests.

Tableau 6 : Moyennes respectives des trois groupes à chaque épreuve à l'état initial (février).

Tableau 7 : Comparaison des performances du groupe contrôle (CON) par rapport aux groupes entraînés (DOI+BAT) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

Tableau 8 : Comparaison des performances du groupe contrôle (CON) par rapport aux groupes entraînés (DOI+BAT) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Tableau 9 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe entraînement digital (DOI) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

Tableau 10 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe entraînement digital (DOI) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Tableau 11 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

Tableau 12 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Tableau 13 : Comparaison des performances du groupe entraînement digital (DOI) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

Tableau 14 : Comparaison des performances du groupe entraînement digital (DOI) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Tableau 15 : Notes brutes de Noémie, Eliot et moyennes de la classe lors des épreuves aux différents tests.

Tableau 16 : Notes brutes d'Axel et Élise lors des épreuves aux différents tests.

INTRODUCTION

Les nombres sont présents au quotidien et sous différentes formes (transactions financières, calendriers, adresses). Notre travail intervient dans une dynamique de recherches présente depuis plusieurs années à propos de l'acquisition du nombre et de sa compréhension par l'enfant sur lesquelles les orthophonistes sont amenés à intervenir. Nous cherchons dans notre étude à améliorer les compétences arithmétiques des enfants de Grande Section de Maternelle par l'intermédiaire d'un entraînement ludique.

D'après Dehaene (1992), la représentation numérique s'établit selon trois codes : analogique, verbal et arabe. La représentation analogique apparaît précocement (Starkey et coll., 1980 ; Xu et coll., 2000) puis les enfants acquièrent les représentations verbale et arabe de façon progressive. La combinaison des trois codes et le passage de l'un à l'autre (transcodage) s'effectuent au cours du développement jusqu'à devenir efficients. Le nombre est un concept abstrait que les enfants s'approprient difficilement.

Lorsque ces derniers commencent à évaluer les quantités, ils ne différencient pas les dimensions continues des collections (surface, densité, volume) des dimensions discrètes (la numérosité) (Mix et coll., 2002). Or, le nombre est une notion abstraite, indépendante des propriétés des collections et des entités. Il leur faut donc parvenir à différencier la quantité des grandeurs qui lui sont associées. Pour cela, le dénombrement constitue la procédure la plus efficace mais elle exige que les enfants se focalisent déjà sur le nombre. Des activités incitant la dissociation des quantités discrètes et des grandeurs pourraient permettre aux enfants de traiter le nombre indépendamment de toute autre propriété physique des objets. Nous avons donc élaboré un entraînement type jeu de bataille présenté sous trois conditions distinctes : congruente (la surface occupée augmente lorsque le nombre d'éléments présentés augmente), neutre (la surface occupée est constante quel que soit le nombre d'éléments présentés) ou non congruente (la surface occupée diminue lorsque le nombre d'entités augmente). Ce jeu était proposé à un premier groupe d'enfants.

De plus, un lien à la fois anatomique et fonctionnel a été établi entre les doigts et le nombre (Zago et coll., 2001 ; Dehaene, 2010). Fayol et coll. (1998) et plus récemment, Crollen et coll. (2015) ont démontré le poids des performances perceptivo-tactiles des enfants sur leurs compétences arithmétiques. Nous avons donc mis en place un second

entraînement permettant à un deuxième groupe d'enfants de manipuler, reconnaître et utiliser leurs doigts en reprenant le protocole de Gendre et coll. (2012).

Afin de comparer l'effet de l'entraînement jeu de bataille par rapport à l'entraînement digital, nous avons soumis les enfants à une série de tests (avant et après les entraînements, de façon immédiate et différée). Un troisième groupe, contrôle, nous permettait de mesurer l'impact de nos entraînements par rapport à des activités scolaires habituelles.

Après avoir détaillé les recherches citées ci-dessus, nous exposerons nos hypothèses ainsi que les résultats de notre étude que nous discuterons pour ensuite conclure sur l'impact de notre entraînement sur les capacités arithmétiques des enfants.

CHAPITRE I : PARTIE THÉORIQUE

I. RELATIONS ENTRE CODES ET REPRÉSENTATIONS ANALOGIQUES DU NOMBRE : LE MODÈLE DU TRIPLE CODE (partie rédigée par K. Lemarié)

Notre étude porte sur l'amélioration des capacités arithmétiques des enfants et notamment la facilitation de l'acquisition d'une représentation abstraite de la quantité de façon implicite. Certaines capacités numériques sont nécessaires au traitement du nombre. Le modèle du psychologue Stanislas Dehaene (1992) nous illustre ce traitement. Dehaene postule l'existence de trois représentations (ou « codes ») de la quantité :

- une représentation auditivo-verbale,
- une représentation visuelle arabe,
- une représentation analogique.

1. La représentation analogique

Cette représentation permet de donner du sens à la quantité indépendamment des symboles arbitraires, visuels ou verbaux, utilisés pour traiter la quantité. La représentation analogique est illustrée métaphoriquement comme une ligne numérique mentale orientée de gauche à droite : les petites quantités sont représentées à gauche et les grandes quantités à droite, de façon compressée et moins précise. Elle serait pré-langagière et déjà présente chez les bébés, qui seraient d'après Wynn (1990 et 1992) dotés d'un mécanisme inné de traitement analogique du nombre : on parle de système approximatif du nombre (SAN). Le processus d'estimation permet de traiter les informations numériques non symboliques et d'avoir une bonne compréhension du sens du nombre. La représentation analogique est utile à la comparaison des nombres, à la réalisation de calculs approximatifs et au traitement des quantités. Sur le plan neuro-anatomique enfin, elle serait représentée par les aires pariétales bilatérales. Cette représentation est soumise à quatre effets qui la caractérisent : un effet de distance, un effet de taille, un effet de rapport et l'effet SNARC :

- L'effet de distance : Dehaene et coll. (1990) ont montré que plus des nombres sont proches, plus leur comparaison est lente. Par exemple, comparer deux collections de 30 et 68 objets sera plus rapide et exact que pour des collections de 30 et 36 objets. Cet effet existe dès 5 ans chez l'enfant (Gilmore et coll., 2010).

- L’effet de taille : il est plus difficile de comparer 116 à 117 que 16 à 17 alors que la distance entre les deux nombres est la même quelle que soit la paire.
- L’effet SNARC (pour « Spatial Numerical Association of Response Code ») a été observé par Dehaene et coll. (1993). Lors d’une tâche de jugement de parité, les participants répondaient toujours plus vite de la main gauche pour des petits nombres et de la main droite pour des grands nombres.
- L’effet de rapport évolue au cours du développement. En effet, les quantités sont discriminées par les nourrissons de 6 mois uniquement lorsqu'elles diffèrent d'un rapport de 1/2 (8 vs 16 points) et à 10 mois, d’un rapport de 2/3 (Xu et coll., 2000). Chez l’adulte, il est de 10/11 (Halberda et coll., 2008).

2. La représentation auditivo-verbale

La représentation auditivo-verbale est quant à elle, dépendante du langage et de la culture. Le modèle du triple code postule que *« les nombres sont représentés comme des séquences de mots syntaxiquement organisés »* (Dehaene et coll., 2000). Cette représentation correspond donc aux images sonore et visuelle des chiffres et des nombres, autrement dit, ce que nous lisons, prononçons ou entendons : /deux/. Elle est dépourvue de sens et se résume aux seuls processus langagiers. Elle sous-tendrait le comptage, la récupération des faits arithmétiques et le traitement des noms de nombres et serait en relation étroite avec les aires du langage de l’hémisphère gauche. Le code auditivo-verbal se compose d’un lexique (0 à 9 ; particuliers : onze à seize ; séparateurs : dizaines, centaines, etc), d’une syntaxe qui combine entre eux les mots du lexique et de bases (la base décimale étant la plus usuelle en France bien qu’il en existe deux autres : vicésimale et sexagésimale).

3. La représentation visuelle arabe

Le code arabe renvoie à la représentation symbolique des quantités sous forme de chiffres indo-arabes et de nombres, par exemple « 2 ». Ces symboles sont arbitraires et indépendants du langage. Ceci a été montré par Cohen et coll. (1991) qui ont remarqué que des patients atteints d’alexie pure pouvaient encore comparer des nombres arabes. Le code arabe se compose de chiffres de 0 à 9, s’associant entre eux par des règles syntaxiques (additives et multiplicatives) pour former des nombres à deux ou plusieurs chiffres. Elle repose sur une représentation en base décimale et une notation positionnelle : dans un

nombre à plusieurs chiffres, chaque chiffre est exprimé en puissance de 10. La représentation visuelle arabe est mobilisée pour les opérations à plusieurs chiffres et lors des jugements de parité. Elle serait située dans les aires occipito-temporales bilatérales du cerveau.

4. Les liens entre les représentations

Les auteurs se sont interrogés à propos de l'indépendance des représentations en étudiant le transcodage, c'est-à-dire le passage d'un code à un autre. Comme l'ont montré Jarlegan et coll. (1996), le passage par une représentation sémantique du nombre n'est pas systématique lors du transcodage entre les codes verbal et arabe. Donlan et coll. (1999) l'ont confirmé en étudiant des enfants présentant des troubles spécifiques du langage et ont conclu une relative indépendance du code arabe par rapport au code verbal. D'autres cas cliniques ont montré une certaine indépendance des codes entre eux et des codes avec la représentation analogique. Par exemple, un patient de Cipolotti (1995) était capable de lire les numéraux verbaux mais pas arabes.

Le modèle du triple code, à la fois fonctionnel et anatomique, nous renseigne sur le traitement de la quantité quelle qu'en soit la modalité (visuelle, auditive ou sémantique). Ce traitement nécessite certaines ressources innées que nous développerons ci-dessous. Le nombre se construit progressivement jusqu'à l'acquisition d'une représentation abstraite de la quantité, indépendamment des leurres perceptifs.

II. PERCEPTION ET NUMÉROSITÉ : DE LA CONFUSION À LA DIFFÉRENCIATION (partie rédigée par H. Fruitière)

1. Confusion entre perception et numérosité

1. 1. Les capacités numériques innées

Comme nous venons de le voir, de nombreuses études ont montré que les nourrissons, tout comme les animaux ou les adultes, sont dotés de capacités arithmétiques, probablement innées (Dehaene, 2010).

Pour ce faire, les auteurs ont utilisé un paradigme d'habituation. Ils présentaient aux bébés deux quantités non symboliques sous forme de tableaux de points et observaient leur temps de fixation. Lorsque deux tableaux présentés simultanément ne comportaient pas le même nombre de points, le temps de fixation des bébés augmentait. Starkey et coll. (1980) ont été les premiers à montrer que les nourrissons de 4 à 7 mois sont capables de discriminer visuellement de petites quantités non symboliques (2 vs 3). Plus récemment, Xu et coll. (2000) ont testé ces capacités sur des nourrissons de 6 mois : les quantités sont discriminées uniquement lorsqu'elles diffèrent d'un rapport de 1 à 2 (8 vs 16 points) mais pas lorsque le rapport est de 2 à 3 (8 vs 12 points). C'est seulement à partir de 10 mois que les nourrissons discriminent les quantités dans un rapport de 2 à 3 (Xu et coll., 2007). Lipton et coll. (2003, 2004) ont retrouvé ces mêmes résultats en modalité auditive. Ainsi, la capacité précoce de discrimination des quantités non symboliques s'accroît au cours du développement (voir chapitre I, I.1.). D'autres études ont montré qu'il existe une différence entre la discrimination des grandes quantités (>3) et celle des petites quantités (<3) : les nourrissons sont capables de discriminer deux petites quantités ou deux grandes quantités entres elles, pourtant ils échouent à discriminer petites et grandes quantités lorsqu'elles sont mélangées (vanMarle, 2013). Cela amène les auteurs à penser qu'il existe deux systèmes de base qui sous-tendent les capacités arithmétiques précoces (Mou et coll., 2014).

Les très jeunes enfants seraient donc dotés de bases numériques utilisées et développées au cours de leur évolution. Ainsi, ils possèdent un mécanisme inné de traitement du nombre qui serait apparenté au traitement analogique selon le modèle du triple code de Dehaene.

1. 2. Remise en cause des capacités numériques précoces des bébés

Simon (1999) émet des doutes quant à la précocité du traitement numérique des quantités par les bébés. Il avance que leur cerveau n'est pas constitué de tous les réseaux neuronaux nécessaires pour le traitement de la quantité. D'après lui, les aires du cerveau permettant la représentation analogique de la quantité (sillon intrapariétal) se situent très proches des aires visuo-spatiales. Il postule que les bébés s'appuient sur un système visuo-spatial pour discriminer les quantités analogiques qui leur sont présentées et non sur un traitement purement numérique. La question qui est de ce fait posée est de savoir si les enfants discriminent deux séries d'objets en s'appuyant sur le nombre, c'est-à-dire en

différenciant un objet de deux objets, ou en s'appuyant sur les propriétés visuelles des objets autres que le nombre.

Récemment, Mix et coll. (2002) ont démontré qu'en plus de la numérosité (propriété discrète), des propriétés non numériques, visuelles, sont susceptibles d'induire les résultats trouvés lors des tâches de comparaisons chez les nourrissons : la couleur, la forme, la position, la surface, la densité ou le volume ; ce sont les propriétés continues. Plusieurs études ont essayé de déterminer le rôle des propriétés discrètes et continues dans les tâches de comparaisons. Pour cela, les auteurs se sont attachés à contrôler les variables continues afin d'étudier leur influence sur le traitement numérique. Les études de Clearfield et coll. (2001) et Feigenson et coll. (2002) montrent que les numérosités ne sont pas discriminées par les bébés lorsque les variables continues sont contrôlées : les chercheurs font varier la surface, le volume ou le périmètre mais le nombre d'objets reste inchangé. Dans ces conditions, les bébés échouent à distinguer le tableau de points qui en contient le plus grand nombre. Les bébés reconnaissent un changement de surface mais pas un changement de numérosité. Ils en concluent que les propriétés visuelles jouent un rôle important et que la numérosité seule n'intervient pas dans une tâche de discrimination. Les enfants se concentrent davantage sur les propriétés continues plutôt que sur les propriétés numériques. Rousselle et coll. (2004) ont retrouvé ces résultats chez des enfants de 3 ans. Elles montrent que la perception interfère avec la numérosité aussi à cet âge-là et que les enfants s'appuient sur des indices visuels pour comparer les quantités.

Rousselle et coll. (2008) soulignent que la surface est la dimension la plus corrélée à la numérosité : au début, les enfants ont davantage tendance à porter leur attention sur cette dimension. Elles ont étudié ce rapport entre surface et numérosité chez des enfants de 3, 4 et 5 ans. Plusieurs tâches de comparaisons de points ont été proposées aux enfants dans trois conditions différentes. La première condition était congruente : lorsque la surface occupée augmente, la numérosité augmente également. La deuxième situation était neutre : la surface occupée reste inchangée lorsque la numérosité augmente. Enfin, la troisième situation était non congruente : lorsque la surface occupée augmente, la numérosité diminue. Elles observent un effet de congruence : il est plus facile de comparer deux numérosités dans une situation congruente.

Ainsi, deux types de paramètres entrent en jeu lors d'une tâche de comparaisons : les propriétés discrètes et les propriétés continues. Très tôt, le traitement perceptif interfère avec le traitement numérique.

1. 3. Modèles de différenciation nombre et quantité

Leibovich et coll. (2013) ont proposé un modèle explicatif à ces résultats. Ils découpent en quatre étapes la dissociation entre les propriétés discrètes et les propriétés continues. Tout d'abord, les nourrissons discriminent les variables continues plutôt que les variables discrètes. À l'étape deux, les enfants commencent à établir que l'augmentation d'une surface correspond à l'augmentation de la quantité. À l'étape trois, les enfants utilisent à la fois les propriétés discrètes et les propriétés continues dans les comparaisons. Enfin, les enfants atteignent l'étape quatre grâce à l'éducation : à ce niveau, ils sont capables de comparer quantitativement deux tableaux de points mais également de dire de combien ils diffèrent.

Rousselle et coll. (2008) considèrent qu'à la naissance, les deux types de propriétés sont présents mais non différenciés : les nourrissons traitent à la fois les propriétés continues et discontinues de façon globale. Puis au cours de leur développement, ils dissocieraient ces propriétés, ce qui rejoint le modèle proposé par Leibovich.

1. 4. Le nombre, indépendant de toute propriété visuelle

Nous venons de voir que les très jeunes enfants associent traitements perceptif et numérique simultanément.

Pourtant, il est primordial que les enfants comprennent la notion de nombre et de numérosité puisque cette dernière est à la base de tous les apprentissages arithmétiques. Les enfants doivent se créer une représentation mentale abstraite de la quantité en la différenciant de toute autre propriété continue. La numérosité est une dimension bien particulière. Ce n'est pas une grandeur physique ni la qualification d'un objet. Elle est indépendante de la couleur, la forme, la taille ou la surface de l'objet, propriétés inhérentes à l'objet. Le nombre permet de désigner une quantité d'objets et de la qualifier en répondant à la question « combien de ? ». Pour traiter le nombre comme une unité à part entière, les enfants doivent inhiber toutes les propriétés continues et focaliser leur attention

sur le traitement numérique. L'épreuve permettant de vérifier les dissociations entre traitement numérique et traitement perceptif est l'épreuve de conservation de Piaget.

2. Qu'est-ce que la conservation ?

2. 1. Description de l'épreuve

Les enfants perçoivent souvent que la quantité la plus grande est associée à une plus grande surface. Ils se laissent donc facilement leurrer par des indices visuels et ne prennent pas toujours en compte la numérosité. Pourtant, ils doivent apprendre à différencier nombre et perception : certaines transformations perceptives affectent le nombre ou cardinal (ajout, retrait d'un objet) alors que d'autres ne l'affectent pas (espacement des objets ou changement de forme). L'épreuve de conservation de Piaget permet de vérifier cette acquisition. Selon Piaget, l'enfant n'acquiert le concept du nombre que lorsqu'il a compris l'invariance du nombre c'est-à-dire que le nombre reste le même tant qu'il n'y a pas eu ajout ou retrait sur celui-ci. L'invariance du nombre résulte de la synthèse de la notion de classe et de celle de série (Piaget et coll. 1941). Il a donc mis en place une épreuve permettant de vérifier si l'enfant a atteint ce stade d'invariance : la conservation. Il s'agit de reconnaître l'équivalence entre deux séries d'objets qui vont subir des transformations uniquement perceptives (voir annexe H). Deux séries de six jetons, alignés les uns en face des autres, sont présentées. La première série est celle de l'enfant et la seconde celle de l'examinateur. Ce dernier va demander à l'enfant lequel des deux participants a le plus de jetons. L'enfant reconnaît l'égalité entre les deux quantités. L'examinateur opère ensuite des transformations physiques sur sa série de jetons sans en enlever ni en ajouter (espacement ou regroupement de jetons). La quantité reste inchangée mais la forme visuelle diffère. Il demande une nouvelle fois à l'enfant lequel des deux a le plus de jetons. À ce moment-là, l'examinateur note la stratégie de l'enfant lors de sa réponse. L'enfant passe par trois stades d'acquisition. Au stade un, il ne reconnaît pas l'équivalence : son attention est centrée sur la dimension perceptive qui prime sur la numérosité. Puis, vient le stade deux où l'enfant est partagé entre ce qu'il perçoit et ce qu'il compte : il entre dans un conflit cognitif. Enfin, au stade trois l'enfant reconnaît l'équivalence des quantités sans faire référence à la dimension perceptive.

Cette épreuve a beaucoup été critiquée : de nombreux chercheurs ont reproduit l'expérience avec d'autres critères et ont ainsi montré des biais comme le contexte

pragmatique, l'influence du langage ou la motivation de l'enfant (Fayol, 1990). Pourtant, elle est encore utilisée aujourd'hui dans des tests de compétences mathématiques (TEDI-MATH ; UDN II). C'est celle que nous avons utilisée dans ce mémoire.

2. 2. Amélioration des résultats à l'épreuve de conservation

La théorie piagétienne selon laquelle l'enfant n'accède à la notion de nombre qu'après avoir réussi cette épreuve, vers l'âge de 7 ans, a été remise en question. En effet, l'enfant a accès au nombre avant 7 ans puisqu'il est capable de compter dès 3 ans et de dénombrer bien avant 7 ans. En revanche, très jeune, l'enfant privilégie l'aspect perceptif à la numérosité. Certains auteurs ont donc essayé de trouver comment l'amener à dissocier ces deux propriétés.

L'expérience de Fuson et coll. (1983) montre que lorsqu'il est demandé à l'enfant de compter avant de répondre à la question « Qui a le plus de jetons ? » après transformation visuelle de la série de jetons de l'examinateur, les enfants donnent davantage la bonne réponse. Il en conclut que demander aux enfants de compter améliore les performances à l'épreuve de conservation. Ainsi, le comptage amènerait les enfants à s'appuyer sur le cardinal plutôt que sur les propriétés continues.

Mix (1999) a montré que les enfants les plus performants lors de comparaisons numériques sont ceux qui comptent le mieux. Récemment, Rousselle et coll. (2004) ont montré qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser le comptage pour toutes les tâches de comparaisons : il est nécessaire uniquement lorsque les variables continues sont contrôlées (comme dans l'épreuve de conservation numérique). Elles suggèrent que le dénombrement permet à l'enfant de passer d'une comparaison totale (propriétés continues et discrètes) à une comparaison uniquement numérique. Grâce au dénombrement, l'enfant comprend que seul le nombre permet la comparaison de deux quantités.

3. Comptage et dénombrement

Nous avons vu qu'il était indispensable que l'enfant s'approprie le nombre en tant qu'unité distincte des propriétés continues d'un objet. Plusieurs auteurs ont montré que le comptage et le dénombrement permettaient une meilleure réussite en conservation. Nous allons étudier le développement du dénombrement afin de comprendre comment il permet

cette distinction et comment il permet à l'enfant de se forger une bonne représentation mentale du nombre.

3. 1. Définition

Le dénombrement est un processus de quantification qui permet de reconnaître précisément les quantités supérieures à quatre grâce à un code verbal (mots-nombres). Il requiert la mise en relation de trois composantes : l'énonciation de la chaîne verbale (comptage), le pointage et la coordination entre comptage et pointage.

Tout d'abord, l'enfant commence à compter en récitant la chaîne numérique (suite verbale de mots-nombres désignant une quantité). Selon Fuson et coll. (1982), il existe cinq niveaux d'élaboration de la chaîne :

- Le chapelet : la chaîne numérique est récitée comme une suite de mots indifférenciés, sans sens.
- La chaîne insécable : l'enfant récite la suite verbale en partant de 1. Il est capable de s'arrêter à une borne supérieure mais démarre toujours sa chaîne à partir de 1.
- La chaîne sécable : l'enfant peut compter entre deux bornes (à partir de et jusqu'à une borne). Il commence également à compter à rebours.
- La chaîne terminale : les mots-nombres font sens, la numération se construit et le comptage à rebours est effectif.
- La chaîne bidirectionnelle : l'enfant est capable de se déplacer sur sa chaîne numérique à l'endroit comme à l'envers. C'est le dernier niveau d'acquisition.

Au niveau bidirectionnel, la chaîne doit être à la fois stable (les mots-nombres sont toujours récités dans le même ordre) et conventionnelle (les mots-nombres doivent être ceux attendus).

La deuxième composante essentielle est le pointage, manuel ou visuel. Il permet de ne compter qu'une fois chaque élément sans en oublier. Gelman et coll. (1983) ont montré l'importance du pointage : plus il est rendu difficile par la disposition spatiale des éléments ou par le nombre d'objets présents, moins bonnes sont les performances au dénombrement. Ainsi, dénombrer une collection-témoin (constellations, doigts) est plus facile qu'une collection d'objets disposés aléatoirement. Towse et coll. (1996) ont par ailleurs montré que certaines propriétés, comme la couleur hétérogène des cibles, facilitent le pointage et donc améliorent les performances en dénombrement.

Enfin, la coordination entre pointage et énonciation de la chaîne est primordiale afin d'avoir le bon nombre d'éléments à la fin du comptage. Le dénombrement est une double tâche : il nécessite une synchronisation entre énonciation de la chaîne verbale et pointage (Lecointre et coll., 2005). Plus ces processus sont automatisés, plus il est aisé de dénombrer. Ainsi le dénombrement permet de répondre à la question « combien de ? » et détermine le cardinal d'une collection d'objets.

3. 2. L'émergence du dénombrement

Gelman et coll. (1978) décrivent cinq principes fondamentaux pour dénombrer :

- La correspondance terme à terme : un objet compté correspond à une seule et même étiquette verbale.
- L'ordre stable : la séquence de mots-nombres reste la même quelle que soit la collection dénombrée.
- La cardinalité : le dernier mot-nombre énoncé correspond au nombre total d'objets. L'enfant est capable de répondre à la question « combien ? ».
- L'abstraction : quels que soient les éléments d'une collection (hétérogènes ou homogènes), le nombre reste le même.
- La non-pertinence de l'ordre : l'ordre de dénombrement des objets ne change pas le résultat final.

Ces cinq principes doivent se mettre en relation et se synchroniser. Rousselle et coll. (2008) soulignent que sur les cinq principes, trois participent particulièrement à la notion de concept de nombre : la correspondance terme à terme, la cardinalité et l'abstraction. Leur acquisition est progressive et facilitée par l'utilisation de collections-témoins comme les doigts de la main. Brissiaud (2007) remarque que très tôt les doigts jouent un rôle dans la mise en place du dénombrement. Pour compter une collection, l'enfant utilise en premier lieu ses doigts. Il attribue un doigt différent à chaque objet de sa collection puis va compter le nombre de doigts levés afin d'en déterminer le cardinal final. De plus, le fait que l'enfant utilise les doigts pour représenter une quantité permet de faciliter et consolider la correspondance terme à terme ainsi que le principe d'abstraction : il relie un objet à un mot-nombre, précis et abstrait, énoncé dans sa chaîne verbale. Les doigts sont un support très utilisé en arithmétique aussi bien chez les enfants que chez les adultes.

En plus de l'utilisation de collections-témoins, un autre processus permettrait l'apprentissage du dénombrement, le subitizing. Ce dernier permet de voir un ensemble

d'objets dans sa globalité, tous les éléments distinctement et amène les enfants à faire le lien entre quantité et mots-nombres. Selon Brissiaud (2007), c'est en comptant de petites collections que les enfants comprennent que le dernier mot-nombre énoncé correspond à la quantité finale et accèdent ainsi au principe de cardinalité.

3. 3. Dénombrement et compétences arithmétiques futures

Le dénombrement est un prérequis essentiel à la réussite en mathématiques. Les enfants dyscalculiques pourraient avoir un déficit au niveau du dénombrement pour diverses raisons : non compréhension de l'un des principes, problème moteur, problème langagier, mauvaise coordination.

Rousselle et coll. (2008) remarquent que « *l'acquisition progressive du comptage et du concept de cardinalité est positivement reliée au développement du traitement de la numérosité* ». Le dénombrement permet à l'enfant de comprendre le sens du nombre. En particulier, le principe de cardinalité lui permet de passer progressivement de situations concrètes à des situations abstraites. L'enfant doit comprendre qu'un mot-nombre représente une quantité définie qui reste inchangée quelle que soit sa forme, sa couleur, et sa disposition spatiale etc. De plus, le principe d'abstraction permet à l'enfant de se représenter mentalement une quantité. Ainsi, en utilisant un mot-nombre ou un chiffre arabe, l'enfant sait exactement la quantité exprimée sans avoir besoin que les objets soient physiquement présents. Cela est étroitement lié aux compétences arithmétiques futures. Par exemple, dans les opérations on soustrait, additionne, multiplie, divise des quantités représentées par des codes abstraits (arabe ou verbal).

C'est donc par la synchronisation des principes de Gelman et coll. (1978) que l'enfant se construit une représentation mentale et abstraite du nombre, indépendamment de toute grandeur physique de la collection d'objets. Par ailleurs, Michie (1984) remarque que les enfants font davantage confiance à leur perception et considèrent le nombre comme « *critère moins fiable* » (Fayol, 1990). D'après lui, les enfants peuvent utiliser le dénombrement mais ce dernier n'est pas automatique : ils ne pensent pas toujours à l'utiliser lorsque la situation s'y prête. C'est pourquoi un jeu dans lequel les enfants doivent comparer des quantités de jetons dans différentes conditions (congruente, neutre ou non congruente) pourrait les conduire à recourir au dénombrement sans être leurrés par le perceptif.

Nous avons créé un jeu de bataille suivant ces conditions afin de faciliter le passage des enfants de Grande Section de Maternelle à une représentation abstraite de la quantité. En proposant cette activité, ludique, nous nous attendons à une amélioration des capacités en conservation. Afin de contrôler la spécificité d'un tel entraînement, nous avons créé un second entraînement basé sur les observations liant l'utilisation des doigts et les capacités numériques des enfants.

III. RELATION ENTRE LES DOIGTS ET LE NOMBRE (partie rédigée par K. Lemarié)

Combien d'entre nous ont observé des enfants répondre à la question « quel âge as-tu ? » en levant les doigts plutôt qu'en formulant oralement la réponse ? Parfois, la réponse est exacte (trois doigts levés pour un enfant de trois ans) et parfois il lève trois doigts mais a cinq ans. À de nombreuses autres questions, comme à « combien font 3+5 ? », nombre d'enfants utilisent leurs doigts pour répondre. Si on y prête attention, on observe que les adultes aussi mobilisent leurs doigts au quotidien.

Noël et coll. (2011) nous rappellent les différents rôles des doigts : donner une représentation iconique des nombres ; garder une trace des mots-nombres lorsque l'on récite la chaîne numérique ; soutenir la compréhension des principes du dénombrement : correspondance terme à terme, principe d'ordre stable et cardinalité ; permettre la compréhension de la base décimale et soutenir la réalisation d'opérations basiques (additions, soustractions). Nous nous intéresserons plus particulièrement à certains de ces rôles et exposerons les liens qui unissent les doigts et le nombre pour conclure sur l'utilité d'un entraînement digital.

1. Les liens anatomiques entre doigts et calcul

En 1924, le neurologue Josef Gerstmann décrit pour la première fois chez une patiente de 52 ans une agnosie digitale (d'après Cipolotti et coll., 2004). Il y associe ensuite trois autres symptômes qui constituent, en plus de l'agnosie, le « syndrome de Gerstmann » : des difficultés à identifier et différencier la gauche de la droite ; une acalculie qui correspond à un trouble spécifique des capacités de calcul ; un trouble de l'orthographe et du graphisme autrement appelé agraphie. Ces symptômes sont liés à une

lésion du gyrus angulaire de l'hémisphère dominant (Lebrun, 2005). Il existerait donc des lésions neuro-anatomiques pouvant être à l'origine d'un trouble affectant l'arithmétique et les gnosies digitales.

Zago et coll. (2001) ont précisé l'anatomie fonctionnelle des deux stratégies de résolution impliquées dans le calcul mental : la récupération de faits arithmétiques (FA) et le calcul. La récupération des FA active le circuit pariéto-prémoteur gauche qui sous-tend aussi la représentation du comptage digital. Plus récemment, Andres et coll. (2012) ont montré que la résolution de soustractions ou multiplications augmente l'activation cérébrale bilatérale dans la partie horizontale du sillon intrapariétal (hIPS) et dans la partie postérieure du lobule pariétal supérieur (PSPL). Une seconde tâche de discrimination digitale a été imputée à une activité dans un réseau occipito-pariéto-précentral bilatéral. L'analyse des données a montré ensuite une zone commune à l'arithmétique mentale et à la représentation des doigts dans le hIPS et la PSPL.

Ces découvertes fournissent un argument anatomo-fonctionnel en faveur du lien entre le calcul (réalisations d'opérations arithmétiques) et la représentation digitale chez l'adulte. Globalement, ces résultats fournissent des arguments solides en faveur de zones neuro-anatomiques communes au traitement digital et à l'arithmétique.

2. Le lien fonctionnel entre doigts et nombre

Lecointre et coll. (2005) ont montré que les enfants dyspraxiques présentaient un retard dans les acquisitions mathématiques, établissant un premier lien entre les capacités manuelles et les capacités arithmétiques.

Par la suite, Costa et coll. (2011) ont étudié des enfants avec et sans troubles des apprentissages spécifiques en mathématiques. Ils ont montré que les enfants présentant de faibles performances de gnosies digitales éprouvaient plus de difficultés en mathématiques notamment dans la résolution de problèmes que les enfants plus performants. Cette étude a confirmé le lien entre les doigts et les performances mathématiques.

En outre, les enfants utilisent aussi leurs doigts pour résoudre des calculs simples. Selon Groen et coll. (1972), les enfants utilisent la stratégie du *counting all* (« compter tout ») avant l'âge de 6 ans. Fuson (1982) observe encore jusqu'à 5 ans l'utilisation d'objets : si on leur propose une addition simple du type 3 + 5, ils comptent d'abord trois

objets, puis cinq et recomptent le total afin d'obtenir le résultat final. Siegler et coll. (1984) observent que les doigts sont le plus souvent utilisés comme objets-témoins par les enfants. Cette méthode est la plus primaire, lente et efficace seulement pour une somme dont le résultat n'excède pas dix. Ensuite, lorsque l'enfant atteint le stade de la chaîne sécable (voir chapitre I, II. 3. 1.), il utilise alors la stratégie *counting on* : il lève le nombre de doigts correspondant au premier opérande puis mobilise à nouveau le nombre de doigts correspondant au second opérande. Entre 6 et 7 ans, apparaît la stratégie *min* qui consiste à garder en mémoire le plus grand opérande de l'addition puis à lever un doigt pour chacune des unités du plus petit opérande.

Il existe donc un lien fonctionnel entre les doigts et les nombres qui sont utilisés pour les mêmes fonctions : résolution de problèmes additifs ou soustractifs. Nous supposons donc que les capacités opératoires des enfants pourraient être améliorées par un entraînement digital.

3. Le rôle des doigts dans le développement

3. 1. Une collection-témoin particulière

Selon Brissiaud (1989, 2007) deux processus seraient nécessaires à l'acquisition du calcul arithmétique : le comptage-numérotage et l'utilisation de collections-témoins. Les mains représentent une collection organisée (5 + 5). Cependant, cet auteur insiste sur le fait que ce n'est pas la configuration qui représente la quantité mais qu'à un doigt correspond un objet, tous les doigts étant équivalents et substituables les uns aux autres. Les configurations sont culturellement déterminées (Bender et coll., 2012) et la même configuration est souvent utilisée pour représenter une quantité. Ceci perdure à l'âge adulte puisque Di Luca et coll. (2010) ont mené plusieurs expériences prouvant que les adultes dénomment plus rapidement et précisément les configurations de doigts conventionnelles. Leurs résultats confirment que les configurations conventionnelles activent la sémantique du nombre à l'inverse des représentations non conventionnelles. Ces représentations sont traitées par les adultes comme des chiffres arabes.

Le risque serait donc que les enfants associent la quantité à une seule représentation sans en comprendre le sens (Brissiaud, 2014). Il s'avère intéressant d'entraîner les enfants quotidiennement à reconnaître à la fois les représentations conventionnelles et non conventionnelles.

Les mains sont aussi une collection-témoin particulière car elles sont liées au sens kinesthésique qui nous permet de percevoir nos propres mouvements dans l'espace (Alibali et coll., 1999). Il serait intéressant d'approfondir l'utilisation de ce sens en entraînant les enfants les yeux fermés.

3. 2. Passage d'une représentation symbolique au non symbolique

L'enfant va reconnaître rapidement une quantité de façon conventionnelle : lorsque l'on demande à un enfant de représenter huit avec ses doigts ou de dénommer la représentation faite par un tiers, il voit, selon une représentation canonique : 5 + 3, c'est-à-dire une main ouverte plus trois doigts sur l'autre main. C'est cette capacité qui va faciliter le passage des représentations non symboliques de la quantité (dessins) aux représentations symboliques (chiffres arabes) (Fayol, 2012).

Lafay et coll. (2013) l'ont confirmé en réalisant une étude sur des enfants de 4 à 7 ans. Le pourcentage d'utilisation spontanée des doigts dans une tâche de comptage augmentait avec le niveau scolaire. De plus, les enfants qui n'utilisaient pas leurs doigts présentaient plus de difficultés pour compter les grandes numérosités. Les auteurs ont conclu que l'utilisation des doigts restait un outil utile pour le développement des capacités numériques verbales et symboliques.

Les mains s'avèrent être une aide importante pour la compréhension de la quantité. Les perceptions motrices et kinesthésiques ainsi que sa canonicité permettent aux enfants d'accéder à la symbolique du nombre et à son concept.

3. 3. Les doigts comme substitut de la mémoire de travail

De Smedt et coll. (2009) ont mesuré les capacités de mémoire de travail (calepin visuo-spatial, boucle phonologique et administrateur central) chez des enfants en début d'année de CP (grade 1), en milieu d'année puis au début de l'année scolaire suivante. Ils ont montré que le calepin visuo-spatial prédisait mieux les performances arithmétiques que la boucle phonologique au début de la première année mais qu'un an plus tard, c'est la boucle phonologique qui devient prédicteur des réussites en mathématiques. Les enfants utiliseraient donc d'abord un support visuel : les doigts auxquels se substitueraient les mots-nombres.

Les doigts sont toujours disponibles et manipulables. Les enfants s'en serviraient donc comme support pour alléger la charge en mémoire de travail.

3. 4. Le poids des performances perceptivo-tactiles : des études explicatives

Les études longitudinales conduites par Fayol et coll. (1998) ont montré qu'à 5 ans, le score aux épreuves perceptivo-tactiles (reconnaissance et discrimination digitales) prédit mieux les capacités arithmétiques un an plus tard que le niveau de développement intellectuel au même âge.

Noël et coll. (2005) l'ont confirmé et ont indiqué que, contrairement aux mesures générales de développement cognitif, la performance à la tâche de gnosies digitales était un bon prédicteur de compétences numériques un an plus tard chez des enfants de CE2, mais pas des compétences en lecture, ce qui prouve la spécificité de ce prédicteur.

L'une des plus récentes expériences publiée par Crollen et coll. (2015) auprès d'enfants âgés de 5 à 6 ans a mis en exergue que premièrement, les enfants recourent massivement à l'utilisation de leurs doigts lorsqu'ils dénombrent des sons. Deuxièmement, dans une tâche de résolutions d'additions, présentée à l'écrit, on note une baisse des performances et de la précision des calculs lorsque les enfants ne peuvent pas utiliser leurs doigts (tâche interférente). Les doigts jouent donc un rôle dans les procédures de calcul.

Ces différentes études associées aux preuves des liens à la fois anatomique et fonctionnel entre les doigts et l'arithmétique soulignent l'utilité des doigts dans les capacités numériques.

4. Les doigts sont-ils nécessaires ?

Nicoladis et coll. (2010) ont demandé à des enfants de ranger dans une boîte une certaine quantité de jouets, présentée soit oralement (mots-nombres), soit avec les doigts (collection-témoin). Ils ont observé une meilleure précision avec les mots qu'avec les doigts. Toutes les études ne vont donc pas dans le sens de l'avantage des doigts par rapport aux nombres.

Thevenot (2014) a voulu préciser le lien fonctionnel entre l'utilisation des doigts et les capacités numériques. Pour cela, elle a testé les compétences numériques chez des enfants hémiplégiques qui utilisaient moins spontanément leurs doigts que les enfants sains et demeuraient plus lents pour reconnaître des représentations digitales numériques. Lorsqu'ils devaient ensuite comparer des quantités non symboliques, aucune différence significative n'apparaissait entre les deux groupes mais les enfants hémiplégiques étaient plus lents pour comparer deux quantités présentées en chiffres arabes. Ainsi, la forme

symbolique de la quantité serait plus difficile à traiter que la quantité non symbolique pour les enfants hémiplégiques. Enfin, dans une tâche de résolution d'additions et soustractions à un ou deux chiffres, les auteurs n'ont pas noté de différence significative entre les deux groupes d'enfants.

Ainsi, les doigts ne paraissent pas essentiels pour réussir dans le domaine de l'arithmétique mais constituent une aide certaine et permettent une transition entre la représentation non symbolique de la quantité et la représentation symbolique (chiffres arabes).

5. Un entraînement digital pourrait-il améliorer les capacités arithmétiques des enfants ?

Pour conclure, il existe des liens certains entre les performances arithmétiques et l'utilisation des doigts, tant au niveau fonctionnel et développemental qu'au niveau neuro-anatomique. Les enfants utilisent leurs doigts comme « collection-témoin » (Brissiaud, 2007) pour dénombrer et accéder plus facilement d'une part, à la correspondance terme à terme et d'autre part, à la symbolique de la quantité. Si bien qu'à l'âge adulte, il semble que les représentations conventionnelles soient traitées comme des représentations symboliques (chiffres arabes). Cependant, certains auteurs (Nicoladis, 2010 et Thevenot, 2014) ont remis en cause la nécessité de l'utilisation des doigts dans le développement des capacités numériques.

La recherche de Gracia-Bafalluy et coll. (2008) sur 47 enfants de Petite Section de Maternelle est particulièrement intéressante pour notre étude. En effet, trois groupes d'élèves ont été constitués : un groupe suivant un entraînement de différenciation digitale (G1), un groupe contrôle qui recevait un entraînement en compréhension d'histoires (G2) et un groupe qui poursuivait le programme scolaire habituel (G3). Avant l'entraînement, les enfants du G3 obtenaient de meilleurs résultats en gnosies digitales et dénombrement que les enfants des deux autres groupes. Après la période d'entraînement, cet avantage a demeuré entre le G3 et le G2 mais les enfants du G1 ont été significativement meilleurs que ceux du G2 aux tâches de gnosies digitales, représentations de numérosités avec les doigts et les tâches de quantification ; ils ont également tendance à être meilleurs au traitement des chiffres arabes. Ces résultats indiquent que l'amélioration des gnosies digitales chez les

jeunes enfants est possible et que les doigts peuvent fournir un support utile pour l'apprentissage des mathématiques.

Nous avons décidé de concevoir un entraînement digital reposant sur le constat d’une relation entre les doigts et les performances arithmétiques. Il sera proposé à un second groupe d’enfants de Grande Section de Maternelle afin de contrôler l’efficacité de notre entraînement jeu de bataille sur les capacités arithmétiques des enfants.

CHAPITRE II : PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES

I. PROBLÉMATIQUE

Comme nous venons de le présenter dans la partie précédente, les enfants sont en mesure de différencier certaines quantités dès leur naissance (Xu et coll., 2000).

Au début des apprentissages arithmétiques, les enfants associent les variations de la quantité à la numérosité mais aussi aux grandeurs qui lui sont associées : volume, longueur, surface occupée. Notre attention s'est portée sur la nécessité pour les enfants de dissocier le nombre d'éléments (variable discrète) de la surface occupée (variable continue) afin de se construire une représentation abstraite de la quantité. Nous cherchons à savoir si nous pouvons induire implicitement cette dissociation, en proposant à des enfants de Grande Section de Maternelle (GSM) une activité ludique, un jeu de bataille modifié, différenciant les dimensions continues et discrètes.

Notre problématique est la suivante : dans quelle mesure un jeu de bataille permet-il à des enfants de Grande Section de Maternelle d'accéder de façon implicite à une représentation abstraite de la quantité ?

Afin d'y répondre, nous avons mis en place un protocole de trois groupes d'enfants en GSM au moment de l'entraînement :

- Un groupe expérimental jouant à la bataille (BAT), pour qui ce jeu doit permettre l'automatisation du dénombrement et induire la dissociation perception / quantité.
- Un premier groupe contrôle recevant un entraînement digital (DOI), afin de s'assurer qu'un entraînement non spécifique ne permet pas d'améliorer cette dissociation.
- Un second groupe contrôle (CON), sans entraînement spécifique, suivant le programme scolaire habituel. Nous vérifierons ainsi l'effet de l'entraînement par rapport aux activités du programme scolaire actuel de GSM.

Nous avons évalué les performances des enfants avant et après les entraînements dans plusieurs domaines : identifications de représentations digitales (DIGIT), dénombrement (DENOM), comparaisons (COMP), opérations (OPE), estimations linéaires (LIGN NUM) et conservation (CONS). Ainsi, nous pourrons observer l'impact des

entraînements dans les domaines spécifiquement visés par ces derniers mais également la généralisation à d'autres compétences arithmétiques.

II. HYPOTHÈSES

Nous avons émis deux hypothèses variant en fonction des groupes et des épreuves.

Hypothèse 1 :

Nous attendons que les deux groupes entraînés (DOI et BAT) progressent plus que le groupe contrôle (CON) et obtiennent de meilleurs résultats aux post-tests pour toutes les épreuves. En effet, les entraînements proposés exigent de la part des enfants de s'approprier le nombre en comparant des quantités, en les dénombrant ou en effectuant des opérations. En outre, les activités proposées sont ludiques et donc motivantes pour les enfants.

Hypothèse 2 :

Comme l'entraînement BAT implique la dissociation entre les dimensions continue (surface) et discrète (nombre) associées aux quantités, nous nous attendons à ce que les enfants de ce groupe progressent davantage que les enfants DOI à l'épreuve de conservation. Les deux groupes entraînés pratiquent des activités de dénombrement, de comparaisons et de résolutions d'opérations : nous n'attendons pas de différence significative entre eux aux épreuves DENOM, COMP, ou OPE. De plus, les élèves des deux groupes étant amenés à manipuler les relations entre espace et nombre, les performances à l'épreuve LIGN NUM ne devraient pas différer non plus. Par ailleurs, les élèves du groupe DOI devraient obtenir de meilleurs résultats que ceux du groupe BAT à l'épreuve DIGIT du fait de la spécificité de leur entraînement.

Afin de valider nos hypothèses, nous avons mis en place un protocole strict et réalisé des analyses statistiques.

CHAPITRE III : POPULATION ET MATÉRIEL

I. POPULATION

Afin de valider nos hypothèses, nous avons constitué trois groupes d'enfants de Grande Section de Maternelle que nous avons suivis sur une période de huit mois. Au début de notre étude, l'âge des enfants variait de 5 ans et 1 mois à 6 ans et 4 mois.

Le premier groupe (BAT) participait à un entraînement portant sur un jeu de bataille. Au second groupe (DOI) était proposé un entraînement digital s'appuyant sur un paradigme déjà utilisé et évalué (N. Gendre et L. Pautonnier, mémoire soutenu en 2012). Enfin, le troisième groupe (CON) était un groupe contrôle qui suivait les activités du programme scolaire habituel, sans entraînement spécifique. Ainsi, nous avons choisi trois classes pour constituer nos groupes : deux classes de l'école Paul Bert (Saint-Mandé) pour les entraînements et deux demi-classes de l'école Vauvenargues (Paris, 18ème) afin de constituer le groupe contrôle d'effectif identique aux deux autres groupes.

En février, le groupe CON comportait vingt-neuf élèves et les groupes BAT et DOI en comportaient chacun vingt-huit. Entre le début et la fin des tests, nous avons eu sept pertes pour le groupe CON, quatre pertes pour le groupe BAT et deux pertes pour le groupe DOI.

Notre étude s'est déroulée en quatre étapes. La première étape consistait à dresser un bilan des connaissances arithmétiques pour les trois groupes (pré-test). La deuxième étape comprenait l'entraînement des deux groupes : le premier avec un jeu de bataille modifié et le deuxième avec un protocole d'entraînement digital. Enfin, les troisième et quatrième étapes ont consisté à tester une nouvelle fois les trois groupes d'enfants. Nous les avons d'abord testés à la fin de la session d'entraînement, au mois de juin (post-test 1) puis en octobre à distance de l'entraînement (post-test 2) afin d'étudier l'évolution des performances arithmétiques des élèves des groupes entraînés par rapport à celles des élèves du groupe contrôle.

Pré-test : État initial	Effectif total	Âge (en mois)			Sexe	
		Minimal	Maximal	Moyenne	Filles	Garçons
Groupe contrôle	30	62	73	65,86	17	13
Groupe entraînement digital	28	61	72	65,89	17	11
Groupe entraînement bataille	28	61	72	66,25	16	12
Échantillon	86	61,33	72,33	66	50	36

Tableau 1 : Répartition de l'échantillon initial (pré-test) en âge et en sexe.

Post-test 2 : État final	Effectif total	Âge (en mois)			Sexe	
		Minimal	Maximal	Moyenne	Filles	Garçons
Groupe contrôle	22	69	80	72,81	13	9
Groupe entraînement digital	26	69	80	73,88	16	10
Groupe entraînement bataille	24	69	80	74,08	16	8
Échantillon	72	69	80	73,59	45	27

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon final (post-test 2) en âge et en sexe.

II. MATÉRIEL

1. Les entraînements

Les entraînements se sont déroulés pendant six semaines du lundi 3 mars 2014 au vendredi 11 avril 2014. La première classe jouait au jeu de bataille pendant quinze minutes, trois jours par semaine. La deuxième classe était soumise à l'entraînement digital pendant quinze minutes, quatre jours par semaine. Un protocole strict et détaillé a été mis en place après concertation avec les institutrices et approbation de leur part.

1. 1. Entraînement numérique : le jeu de bataille (voir annexe A)

Cet entraînement est un jeu de cartes que nous avons inventé et créé. Il est basé sur les règles du jeu de la bataille et est composé de trente-deux cartes. Sur chaque carte figure un certain nombre de jetons représentant les quantités de un à huit. Chaque quantité est représentée en quatre exemplaires au sein d'un même jeu (quatre cartes avec un jeton, quatre cartes avec deux jetons, etc…). Les cartes diffèrent non seulement par le nombre de

leurs jetons mais également par leur taille et leur couleur (quatre couleurs différentes) ainsi que par la surface qu'ils occupent sur la carte.

Nous avons fabriqué six jeux différents (jeu 1, jeu 2, jeu 3, jeu 4, jeu 5, jeu 6) selon les conditions suivantes :

- Les trois premiers jeux (jeux 1, 2 et 3) respectent une congruence entre la surface et le nombre de jetons : lorsque le nombre de jetons augmente, la surface occupée sur la carte augmente. Cependant, ces jeux diffèrent par la disposition des jetons et leur taille sur chaque carte. En effet, dans le jeu 1, présenté aux enfants la première semaine, les jetons sont disposés en constellation (comme sur un dé) et ont tous la même taille. Dans le jeu 2, les jetons sont tous de la même taille mais sont disposés aléatoirement sur les cartes. Quant au jeu 3, la taille des jetons sur une même carte varie et les jetons sont disposés arbitrairement.

- Le jeu 4 suit la configuration suivante : lorsque le nombre de jetons augmente, la surface occupée reste la même (condition neutre). Dans ce jeu, la taille des jetons varie sur une même carte mais la surface occupée reste la même. Étant donné le principe, nous n'avons réalisé qu'un seul exemplaire de ce jeu. En effet, les quatre cartes d'un même cardinal auraient été identiques (ou variables seulement par la couleur) : cela apportait peu de nouveauté et rendait le jeu trop facile.

- Les jeux 5 et 6 suivent une non-congruence entre surface et nombre. En effet, lorsque le nombre de jetons augmente, la surface occupée sur la carte diminue. Dans le jeu 5, les jetons d'une même carte ont la même taille alors que dans le jeu 6, les jetons d'une même carte sont de tailles différentes.

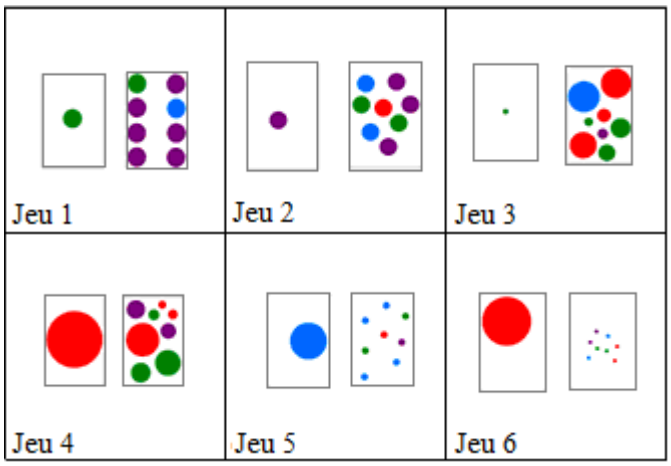


Tableau 3 : Illustration des jeux. Situation congruente : jeux 1, 2 et 3. Situation neutre : jeu 4. Situation non congruente : jeux 5 et 6.

Nous avons fabriqué les différentes cartes de nos jeux à l'aide du logiciel informatique *Photoshop*. Préalablement, nous avions calculé la surface de chaque jeton par rapport à la surface des cartes en fonction de la situation que nous voulions obtenir (congruente, non congruente ou neutre). Puis, nous avons imprimé ces cartes sur des feuilles A4 (quatre cartes par page), les avons plastifiées et découpées. Nous avons réalisé six exemplaires de chaque jeu.

La règle du jeu était la même que pour un jeu de bataille classique : les élèves jouaient deux par deux et se répartissaient les cartes en deux tas égaux. Les joueurs plaçaient chacun une carte devant eux. Après comparaison des deux cartes, celui qui avait le plus grand nombre de jetons sur sa carte remportait la manche. Lorsque deux cartes avaient le même nombre, il y avait bataille.

Chaque jeu était pratiqué une semaine. L'institutrice ne pouvait faire jouer les enfants que trois jours sur quatre pour un souci d'organisation, pendant quinze minutes (durée qui correspond à celle de l'entraînement digital). Ce temps comprenait la distribution des cartes, effectuée par les élèves, le temps de jeu et le comptage des cartes en fin de partie pour déterminer le vainqueur. Le gagnant était celui qui possédait le plus de cartes à la fin du temps imparti.

Nous avons assisté à toutes les premières séances (les lundis) de chaque nouveau jeu pour en observer le déroulement et la réaction des enfants face aux nouvelles cartes.

1. 2. Entraînement digital

Pour cet entraînement, nous avons utilisé le protocole créé par Gendre et coll. (2012) qui comprend trois parties : représentations numériques avec les doigts, reconnaissance et discrimination digitales et entraînement perceptivo-tactile. Cependant, nous y avons apporté quelques modifications. Tout d'abord, pour les représentations numériques avec les doigts, nous avons changé l'ordre des exercices car nous trouvions que cela correspondait à une démarche plus progressive. Nous avons également ajouté un exercice pour la dernière semaine d'entraînement permettant aux enfants de travailler de façon autonome. En ce qui concerne les reconnaissance et discrimination digitales, nous avons repris l'idée générale de l'exercice mais l'avons détaillée afin d'augmenter la difficulté au fil des semaines.

Un exercice de chaque partie était proposé quotidiennement par l'institutrice en séance collective (environ cinq minutes chacun). Chaque semaine, les exercices variaient et la difficulté augmentait de sorte que les enfants ne s'ennuient pas. Nous détaillons ci-après le protocole que nous avons mis en place.

1. 2. a. Représentations numériques avec les doigts

Cette partie avait pour objectif de travailler l'aspect cardinal du nombre. Chaque semaine, l'institutrice proposait un nouvel exercice aux enfants. D'abord le groupe travaillait collectivement, puis l'institutrice interrogeait les élèves un à un. Elle notait le nom des élèves qu'elle désignait afin qu'ils participent tous individuellement durant la semaine.

Semaine 1 : en séance collective, l'institutrice et les enfants comptaient de 1 à 10 à haute-voix en mimant les représentations digitales conventionnelles correspondant au nombre énoncé.

Semaine 2 : l'institutrice présentait aux élèves une série de vingt représentations numériques digitales (conventionnelles et non conventionnelles) en évoquant cette fois-ci le nombre : « *faites six comme moi* ». Les élèves devaient mimer avec les doigts le nombre énoncé.

Semaine 3 : l'institutrice présentait une série de vingt représentations numériques aux élèves : dix représentations conventionnelles et dix non conventionnelles, de façon aléatoire. Les enfants devaient reconnaître ces représentations puis les imiter.

Semaine 4 : l'institutrice montrait au groupe une quantité avec ses doigts sans la nommer (représentations conventionnelles puis non conventionnelles) et les enfants devaient énoncer le nombre correspondant. La réponse était soit collective soit individuelle. L'institutrice s'assurait d'interroger autant de fois chaque enfant dans la semaine.

Semaine 5 : l'institutrice proposait un nombre et les enfants devaient le représenter à leur tour avec leurs doigts « *faîtes six avec vos doigts* » de plusieurs façons.

Semaine 6 : les enfants travaillaient en petits groupes de sept ou huit. Chacun à leur tour, ils représentaient une quantité avec leurs doigts et leurs camarades devaient l'imiter.

1. 2. b. Reconnaissance et discrimination digitales

Le but de cet exercice était de permettre aux enfants de différencier leurs doigts pour ensuite les utiliser en numération. Pour cela, les élèves travaillaient les yeux bandés. L'institutrice faisait intervenir les élèves un par un, mais tout le groupe était présent et regardait. Nous travaillions l'aspect ordinal du nombre.

Semaines 1 et 2 : l'institutrice appelait un élève et lui bandait les yeux à l'aide d'un foulard. Le travail s'effectuait sur une seule main et à chaque doigt était attribué un numéro : un pour le pouce, jusqu'à cinq pour l'auriculaire. L'institutrice touchait un doigt de l'élève, puis l'élève devait donner le bon numéro.

Semaine 3 : le même exercice était reproduit mais avec deux doigts successifs touchés l'un après l'autre et l'enfant devait redonner les deux numéros dans l'ordre.

Semaine 4 : nous avons suivi le même protocole qu'en semaine 3 mais, cette fois-ci, les doigts de la main étaient touchés aléatoirement.

Semaine 5 : cette fois-ci, l'institutrice touchait trois doigts successifs de l'enfant.

Semaine 6 : les élèves travaillaient en binôme et s'interrogeaient mutuellement en suivant le principe de la semaine 4.

1. 2. c. Entraînement perceptivo-tactile

Cet exercice permet d'affiner les capacités de perception tactile et la sensibilité des mains. En effet, Fayol et coll. (1998) et Noël (2005) ont montré que les performances perceptivo-tactiles étaient liées aux capacités arithmétiques. Chaque jour, quelques objets étaient touchés de façon aléatoire et les enfants devaient les reconnaître les yeux bandés afin de mobiliser le sens kinesthésique (Alibali et coll., 1999). Il s'agissait d'abord de faire

reconnaître aux élèves des objets du quotidien qu'ils ont l'habitude de manipuler (crayon, gomme, etc.), puis des objets moins usuels (porte-monnaie, clés, etc.) ainsi que des parties du corps : le nez, les oreilles et les mains par exemple. Au cours des dernières semaines, ils devaient reconnaître un de leur camarade.

2. Les tests

Pour réaliser notre test, nous n'avons pas choisi de test normé, excepté pour la dernière épreuve de conservation. Nous nous sommes inspirées du mémoire de fin d'études de Gendre et coll. (2012). Ainsi, nous avons repris certaines de leurs épreuves tout en les adaptant à notre étude.

Trois sessions de tests pour les trois groupes (DOI, BAT et CON) ont été réalisées au total. Nous avons commencé par tester les élèves une première fois en février 2014 (pré-test) avant qu'ils ne commencent les entraînements. En juin 2014, nous avons renouvelé la passation des tests (post-test 1), deux mois après la fin des entraînements. Enfin, le post-test 2 s'est déroulé lors de la dernière semaine de septembre et de la première semaine d'octobre 2014, soit cinq mois après la fin des entraînements. Les passations étaient réparties sur deux semaines au maximum, prévenant ainsi toute différence de niveau entre les élèves.

Ces trois séries de tests ont permis d'évaluer l'efficacité de chaque entraînement sur les performances arithmétiques des enfants en comparant les résultats des trois groupes à trois moments différents. Le pré-test et les deux post-tests étaient composés des mêmes épreuves. Afin de prévenir partiellement l'effet de test et re-test, nous avons modifié l'ordre des items de certaines sous-épreuves à chaque nouvelle session, tout en gardant le même contenu. De plus, nous avons modifié certains détails tels que les dessins utilisés pour l'épreuve de dénombrement (des chiens au pré-test et la fois suivante, des chats).

Le test, détaillé ci-dessous, durait en moyenne 50 minutes et s'effectuait en deux temps. Dans un premier temps, nous répartissions les élèves par groupe de cinq à sept. Chacun possédait son propre feuillet sur lequel étaient inscrits son prénom et son âge, et devait répondre seul sur sa copie. Les consignes étaient données collectivement à l'oral. Dans un deuxième temps, nous faisions passer l'épreuve de conservation individuellement. À chaque passage, nous notions le moment de la journée pour estimer la fatigabilité. Si possible, nous notions le temps de réalisation individuelle de chaque épreuve.

Épreuve 1 : Identifications de représentations digitales, DIGIT (voir annexe B)

a) La première épreuve comportait six images de doigts : trois représentations conventionnelles et trois non conventionnelles. Pour chaque image, nous proposions trois choix de réponse à l'enfant. Il devait entourer la bonne réponse parmi trois propositions.
   Situations conventionnelles : 4 – 3 – 5 pour 4 ; 8 – 7 – 6 pour 7 ; 7 – 9 – 8 pour 9.
   Situations non conventionnelles : 7 – 6 – 8 pour 8 ; 8 – 7 – 6 pour 6 ; 3 – 5 – 6 pour 3.

b) Pour cette épreuve, nous présentions deux colonnes de six images de doigts : à gauche, les images avec les représentations conventionnelles et à droite celles avec les représentations non conventionnelles. Les élèves devaient relier l'image de gauche à celle de droite qui comportait le même nombre de doigts levés (3 – 7 – 9 – 8 – 2 – 5).

Nous laissions aux élèves trois minutes pour effectuer la partie a) et cinq minutes pour la b). La totalité de l'épreuve était notée sur 12 points, 6 points pour chaque partie, soit 1 point par image réussie.

Épreuve 2 : Dénombrement, DENOM (voir annexe C)

a) Un nombre était écrit à gauche de la page et trois cercles de points étaient disposés les uns en dessous des autres à droite de la page. Les enfants devaient relier le nombre au cercle contenant le même nombre de points. Nous leur avons proposé deux nombres pour cet exercice : le 9 et le 12. Afin de ne pas fausser les résultats nous vérifiions qu'ils lisaient correctement ces deux nombres (ce qui était le cas chez la grande majorité).

b) Nous présentions deux carrés remplis de chats avec en face de chaque carré trois propositions de réponses. Ils devaient entourer le bon nombre de chats : 7 – 16 – 13 pour 13 et 7 – 9 – 8 pour 8.

c) Deux cercles étaient remplis de chats avec, en face de chaque cercle, trois cercles de souris. Les enfants devaient relier le cercle de chats à celui qui contenait le même nombre de souris : 8 – 6 – 7 pour 7 et 11 – 8 – 5 pour 11.

d) La dernière sous-épreuve était constituée de deux rectangles contenant des chats mais, cette fois-ci, les enfants devaient inscrire le bon nombre de chats dans une case. Aucune proposition ne leur était fournie. Ils avaient la possibilité de nous demander comment écrire le nombre en question s'ils n'étaient pas sûrs d'eux. Les nombres attendus étaient 6 et 14.

Pour cette épreuve, nous laissions aux enfants dix minutes en tout. Respectivement, les enfants avaient deux minutes pour la première sous-épreuve, quatre minutes pour la deuxième, deux minutes pour la troisième ainsi que deux minutes pour la dernière sous-épreuve. L'épreuve était notée sur 8 points, soit 1 point par item réussi.

Épreuve 3 : Comparaisons, COMP (voir annexe D)

a) Pour cette première partie d'épreuve, huit paires de cartes étaient présentées à l'enfant. Sur chaque carte était inscrit un chiffre entre 1 et 8. Les enfants devaient entourer dans chaque paire le chiffre qui représentait la plus grande quantité.
Pour la moitié des paires (1 – 5 ; 3 – 4 ; 7 – 6 ; 5 – 8), les chiffres avaient la même police d'écriture respectant la congruence entre quantité et taille graphique. Pour l'autre moitié (5 – 1 ; 4 – 3 ; 6 – 7 ; 8 – 5), la quantité la plus petite était représentée par un chiffre d'une police plus grande. C'est la situation de non-congruence. Nous avons disposé les paires de cartes aléatoirement sur la feuille.

b) L'épreuve était constituée de sept papillons dont les ailes étaient remplies de points. L'élève devait entourer l'aile qui contenait le plus de points. Nous avions introduit des leurres perceptifs, les points pouvaient être de couleurs (rouge ou bleu) et de tailles différentes. Pour trois papillons, nous avions une congruence entre le nombre de points et la surface occupée. Pour les quatre autres papillons, la situation était non congruente : la surface occupée diminuait lorsque le nombre de points augmentait.

Cette épreuve durait au total huit minutes : trois minutes pour la partie a) et cinq minutes pour la partie b). Nous l'avons notée sur 15 points, soit 1 point par bonne réponse : 8 points pour la a) et 7 points pour la b).

Épreuve 4 : Opérations, OPE (voir annexe E)

Pour cette épreuve, nous présentions aux élèves des jetons ainsi qu'un sachet opaque, vide au départ, tout en leur expliquant la consigne. Nous placions un certain nombre de jetons dans le sachet en leur demandant d'en retenir le nombre. Puis, nous rajoutions ou enlevions des jetons toujours sous le regard des enfants, sans préciser qu'il s'agissait d'ajouts ou de retraits en disant simplement « *regardez ce que je vais faire maintenant* ». À la fin de chaque opération, ils devaient dessiner dans des cases prévues à cet effet, le nombre de jetons présents dans le sachet.

Nous avons commencé par un exemple (1 + 1) afin que les enfants comprennent le déroulement et afin de leur montrer comment dessiner les ronds. Il y avait quatre items : deux additions : 2 + 2 et 1 + 4 et deux soustractions : 3 – 1 et 4 – 2.

Pour la notation, nous mettions 1 point par bonne réponse soit 4 points pour la totalité de l'épreuve. La durée était de six minutes et trente secondes maximum.

Épreuve 5 : Estimations linéaires, LIGN NUM (voir annexe F)

Cette épreuve se présentait en deux fois trois items : les chiffres utilisés étaient 2, 5 et 7. Les élèves avaient devant eux une ligne horizontale, sans graduation, commençant à 0 et se terminant à 10. Il y avait six items présentés sur six pages différentes.

Pour les trois premiers items, les enfants avaient un chiffre inscrit au-dessus de la ligne numérique et devaient le situer approximativement sur la ligne en y plaçant un trait. Dans un deuxième temps, le trait était déjà tracé sur la ligne et les enfants devaient donner le chiffre auquel correspondait le trait.

L'épreuve durait six minutes soit une minute par ligne. La notation était la suivante pour la première partie :

- 0 point s'il y avait absence de trait ou pas de réponse,
- 1 point si l'écart était à moins de 1 cm,
- 0,75 point si l'écart était entre 1 et 3 cm,

- 0,50 point si l'écart était entre 3 et 5 cm,
- 0,25 point si l'écart était entre 5 et 7 cm.

Pour la deuxième partie, nous mettions :

- 0 point s'il y avait absence de réponse ou une réponse plus grande que 10,
- 1 point si la réponse était bonne,
- 0,75 point si le chiffre se situait à plus ou moins 1 de la bonne réponse,
- 0,50 point si l'écart entre la réponse de l'élève était à plus ou moins 2 de la bonne réponse,
- 0,25 point si l'écart était à plus ou moins 3.

Épreuve 6 : Épreuves de développement (voir annexe G)

Le premier exercice consistait en la copie de trois figures : carré, losange et triangle. Chaque figure était notée sur 3 conformément à l'épreuve du BSEDS 5-6 V 4.0 (Bilan de Santé Évaluation du Développement pour la scolarité 5 à 6 ans). L'épreuve durait deux minutes.

Le deuxième exercice était le dessin d'un bonhomme. Nous leur laissions trois minutes et avons repris la cotation de Goodenough (dans Weil, 1950).

Épreuve 7 : Conservation, CONS (voir annexe H)

La dernière épreuve de notre test était celle de la conservation, tirée du test normé TEDI-MATH. Pour cette épreuve, nous testions les enfants individuellement. Nous prenions douze jetons en tout et les disposions sur la table en quatre configurations différentes :

- D'abord nous mettions les douze jetons en ligne, les uns en face des autres, de sorte que l'élève et nous ayons chacun une ligne de six jetons.
- Puis, nous espacions nos jetons afin que notre ligne soit plus grande visuellement que celle de l'élève.
- Ensuite, nous remettions les jetons à l'état initial, c'est-à-dire les uns en face des autres.
- Enfin, nous rassemblions nos jetons pour former un tas sans bouger les jetons de l'élève.

Pour chaque configuration, la question posée à l'enfant était la même : « *Regarde tes jetons et regarde mes jetons. Est-ce que c'est toi qui as le plus de jetons ou est-ce que c'est moi qui ai le plus de jetons ou bien avons-nous tous les deux le même nombre de jetons ? Est-ce que tu peux m'expliquer comment tu le sais ?* ».

L'épreuve n'était pas chronométrée mais nous notions les réponses des enfants avec exactitude. Nous n'avons coté les réponses uniquement lorsque la configuration de l'élève différait de la nôtre (c'est-à-dire pour les configurations 2 et 4). Notre notation était sur 4 points :

2 points si la réponse correspondait à un argument logique (ni ajout, ni retrait ou référence à la réversibilité).

1 point si l'élève donnait une justification empirique (recomptage ou terme à terme entre les deux rangées).

CHAPITRE IV : RÉSULTATS

Notre objectif était d'étudier dans quelle mesure la pratique du jeu de bataille, nécessitant de la part des enfants l'évaluation précise de quantités, peut induire une dissociation de deux dimensions généralement associées : le nombre d'éléments (variable discrète) et la surface occupée (variable continue).

Nos hypothèses étaient les suivantes :

- Les performances des enfants des deux groupes entraînés (DOI et BAT) s'amélioreront plus que celles du groupe contrôle (CON) aux post-tests.
- Le groupe BAT obtiendra de meilleurs résultats que le groupe DOI à l'épreuve CONS. Aucune différence significative ne sera attendue pour les épreuves DENOM, COMP, OPE et LIGN NUM. En revanche, le groupe DOI devra améliorer significativement ses performances à l'épreuve DIGIT (spécificité de l'entraînement).

Tout d'abord, nous avons comparé les performances des trois groupes au pré-test, avant les entraînements, afin de vérifier l'absence de différence significative entre les groupes. Nous avons ensuite poursuivi les analyses statistiques, en tenant compte du degré de liberté en fonction des classes (ddl=1), pour nous assurer que les différences des scores ne soient pas liées au hasard mais bien à l'entraînement. Seule la progression nous intéresse, c'est pourquoi nous avons calculé la différence de score pour chaque épreuve. Cependant la distribution des scores ne suit pas une loi normale, aussi avons-nous eu recours au test non paramétrique du Khi-deux (χ^2). Les valeurs de significativité du Khi-deux pour un degré de liberté (1 ddl) sont résumées dans le tableau 4 ci-dessous. Les valeurs en gras sont celles qui ont été retenues dans notre mémoire.

P	0,90	0,50	0,30	0,20	**0,10**	**0,05**	**0,02**	**0,01**	0,001
Khi^2	0,0158	0,455	1,074	1,642	**2,706**	**3,841**	**5,412**	**6,635**	

Tableau 4 : Valeurs de significativité P du Khi-deux pour un degré de liberté 1 (1 ddl).

I. ANALYSE DES PERFORMANCES GLOBALES

Nous nous sommes intéressées à l'évolution globale qu'a suivie chacun des groupes. Ainsi, nous avons calculé les moyennes générales de chaque groupe (total des épreuves) obtenues lors des différents tests. Les résultats sont rapportés dans le tableau 5. La figure 1 permet d'apprécier l'évolution des groupes.

	PRÉ-TEST	POST-TEST 1	POST-TEST 2
CON	25,72	31,45	36,43
DOI	31,51	34,64	38,63
BAT	30,28	35,89	39,23

Tableau 5 : Moyennes globales de chaque groupe lors de chaque session de tests.

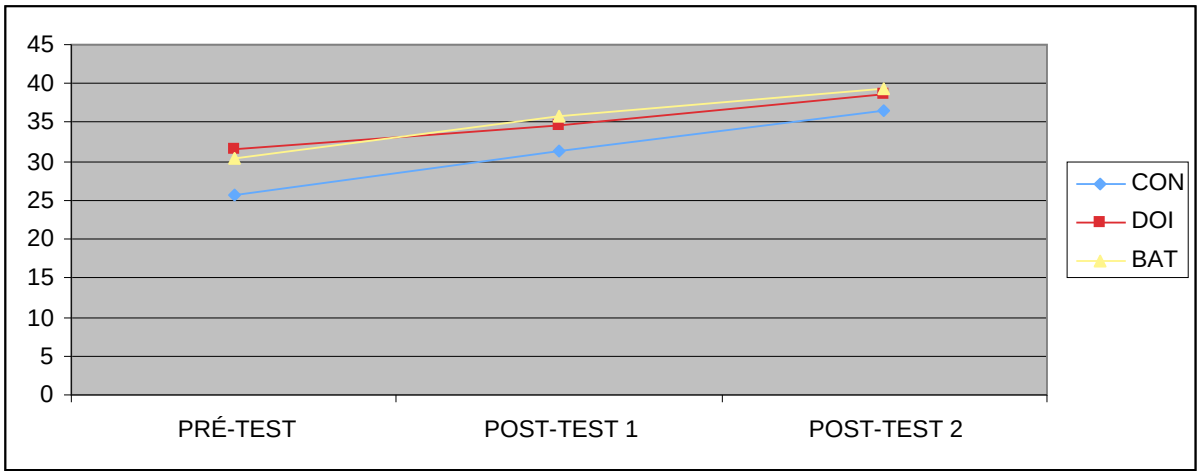


Figure 1 : Graphique représentant l'évolution des performances globales de chaque groupe (CON, DOI et BAT) en fonction de chaque session de test (sessions en abscisse, moyennes globales en ordonnée).

Les courbes font apparaître plusieurs détails. D'abord, lors du pré-test, le groupe contrôle avait une moyenne plus faible que les groupes entraînés. Ensuite, chacun des groupes a vu sa moyenne augmenter entre le pré-test et le post-test 2 : +10,71 points (+42%) pour le groupe CON ; +7,12 points (+23%) pour le groupe entraînement DOI ; +8,95 (+30%) pour le groupe BAT. Enfin, en dépit de l'augmentation importante de sa moyenne, le groupe CON n'a pas atteint le niveau des groupes entraînés : au post-test 2, -2,2 points par rapport au groupe DOI et -2,8 points par rapport au groupe BAT.

Ces observations ne permettent pas à elles-seules de conclure à une amélioration des performances globales des groupes entraînés par rapport au groupe contrôle. Au post-test 2, les élèves entraînés sont meilleurs que les élèves du groupe CON et les élèves du groupe BAT meilleurs que les élèves du groupe DOI.

II. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES GROUPES AU PRÉ-TEST : ÉTAT INITIAL

Nous avons comparé les résultats initiaux des trois groupes aux différentes épreuves pour nous assurer de l'homogénéité du niveau des enfants avant le début des entraînements. Des analyses de variance ANOVA à un facteur intra (à trois modalités : CON, DOI, BAT) ont été conduites pour chacune des épreuves.

D'abord, nous avons comparé les âges moyens des trois groupes : respectivement en mois, CON 65,5 ; BAT 66,3 et DOI 65,9. Ces derniers ne diffèrent pas significativement, $F(2,69) = 1,06$.

Nous avons ensuite analysé les différences entre les groupes pour chaque épreuve du pré-test :

- Identifications de représentations digitales (DIGIT) : les performances (sur 12) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F<1$: CON=8 ; DOI=9 ; BAT=8,29.
- Dénombrement (DENOM) : les variations de performances (sur 8) sont à la limite de la significativité, notamment en raison du score relativement élevé du groupe DOI, $F(2,69) = 2.84$; $p= .07$: CON=5,55 ; DOI=6,46 ; BAT=5,29.
- Comparaisons de chiffres ou de quantités (COMP) : les performances (sur 15) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F(2, 69) = 1,08$. Respectivement CON=10,04 ; DOI=11,88 ; BAT=11,54.
- Opérations (OPE) : les variations des performances (sur 4) sont à la limite de la significativité, notamment en raison du score des groupes DOI et BAT, $F(2,69) = 2,36$, $p = .10$: CON=1,77 ; DOI=2,58 ; BAT=2,25.
- Estimations linéaires (LIGN NUM) : les performances (sur 6) varient significativement, notamment en raison des scores des groupes DOI et BAT, plus élevés (respectivement 1,34 et 1,17) que celui du groupe CON (0,69), $F(2, 69) = 3,89$, $p < .03$.

- Conservation (CONS) : les performances (sur 4) ne varient pas d'un groupe à l'autre F < 1 : CON=.71 ; DOI=.50 ; BAT= .83.

Enfin, nous avons regroupé dans le tableau 6 l'ensemble des moyennes des scores des trois classes pour chaque épreuve du test et y avons inclus le taux de significativité pour chaque épreuve. Est surlignée en jaune l'évolution significative.

	ÂGE	DIGIT	DENOM	COMP	OPE	LIGN NUM	CONS
FEV CON	65,54	8	5,55	10,04	1,77	0,69	0,71
FEV DIG	65,89	9	6,46	11,88	2,58	1,34	0,5
FEV BAT	66,25	8,29	5,29	11,54	2,25	1,17	0,83
F(2,69)	1,06	< 1	2,84 p=0,07	1,08 ns	2,36 p=0,1	3,89 p<0,03	<1

Tableau 6 : Moyennes respectives des trois groupes à chaque épreuve à l'état initial (février).

En résumé, seules les performances en estimation linéaire varient significativement d'un groupe à l'autre, avec un score plus faible pour le groupe CON. Nous pouvons donc estimer homogènes les trois groupes.

III. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS (BAT+DOI) PAR RAPPORT AUX ENFANTS CON

Notre première hypothèse était que les groupes entraînés (BAT et DOI) amélioreraient davantage leurs performances aux post-tests que le groupe contrôle (CON) ce qui signifie que les valeurs du Khi-deux opposant CON à (DOI + BAT) devraient être significatives pour toutes les épreuves. Afin de la vérifier, nous avons regroupé les résultats des élèves à chaque pos-test dans les tableaux 7 et 8 ci-dessous. Pour chaque épreuve, la colonne de gauche « Plus » représente les élèves ayant progressé et celle de droite « Moins ou égal » ceux dont les performances ont diminué ou n'ont pas évolué par rapport au pré-test. Nous avons ensuite utilisé le test non paramétrique Khi-deux pour comparer la progression des groupes entraînés par rapport à celle du groupe contrôle.

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
CON (=22)	11	11	14	8	13	9	12	10	12	10	5	17
DOI + BAT (=50)	32	18	27	23	22	28	25	25	26	24	16	34
Khi²	1,24		0,58		1,39		0,13		0,04		0,64	

<u>Tableau 7 :</u> Comparaison des performances du groupe contrôle (CON) par rapport aux groupes entraînés (DOI+BAT) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
CON (=22)	13	9	12	10	12	10	12	10	10	12	9	13
DIG + BAT (=50)	33	17	34	16	24	26	32	18	16	34	22	28
Khi²	0,32		1,19		0,26		0,58		1,19		0,06	

<u>Tableau 8 :</u> Comparaison des performances du groupe contrôle (CON) par rapport aux groupes entraînés (DOI+BAT) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Les résultats montrent que les performances des deux groupes entraînés ne diffèrent jamais significativement des performances du groupe contrôle (CON) (tous les $p>.10$). En somme, les activités proposées aux groupes DOI et BAT n'ont pas entraîné d'amélioration significative des performances par rapport au groupe CON poursuivant ses activités usuelles. Notre première hypothèse n'est donc pas validée.

IV. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS BAT PAR RAPPORT AUX ENFANTS DOI

Notre seconde hypothèse était que le groupe d'enfants ayant reçu l'entraînement bataille (BAT) aura de meilleurs résultats à l'épreuve CONS et des résultats équivalents aux autres épreuves (DENOM, COMP, OPE et LIGN NUM) par rapport au groupe avec activités digitales (DOI). Seules les performances à l'épreuve DIGIT devront être meilleures pour le groupe DOI. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons utilisé le test Khi-deux et procédé de la même manière que pour l'hypothèse précédente.

Les résultats de chaque post-test sont résumés dans les tableaux 9 et 10 ci-dessous. Nous avons surligné en jaune les résultats significatifs et en vert ceux à la limite de la significativité.

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
DOI (=26)	15	11	10	16	12	14	11	15	12	14	7	19
BAT (=24)	17	7	17	7	10	14	14	10	14	10	9	15
Khi²	0,94		5,27		0,1		1,28		0,74		0,64	

Tableau 9 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe entraînement digital (DOI) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
DOI (=26)	14	12	14	12	14	12	17	9	10	16	8	18
BAT (=24)	19	5	20	4	10	14	15	9	6	18	14	10
Khi²	3,56		4,49		0,74		0,05		1,04		3,85	

Tableau 10 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe entraînement digital (DOI) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

L'analyse comparée des performances des groupes DOI et BAT fait apparaître que le groupe BAT améliore ses performances significativement plus que le groupe DOI à deux épreuves :

- L'épreuve de conservation du nombre (CONS) au post-test différé (post-test 2) : $khi^2=3,85$, ddl=1 ; $p<0,05$, conformément à notre hypothèse.
- L'épreuve de dénombrement (DENOM) aux deux post-tests : post-test 1 $khi^2=5,27$, ddl=1 ; $p<0.05$ et post-test 2 $khi^2=4,49$, ddl=1 ; $p<0.05$. Ceci n'est pas en accord avec notre hypothèse.

Les performances aux épreuves OPE, COMP et LIGN NUM ne diffèrent pas significativement comme nous l'attendions puisque chacun des entraînements requiert à la fois de comparer, d'opérer sur des quantités et d'utiliser le lien entre espace et nombre.

À l'épreuve d'identifications de représentations digitales (DIGIT) au post-test différé, les variations des performances sont à la limite de la significativité : $khi^2=3,56$, ddl=1 ; $p=0.06$. Le groupe BAT obtient donc de meilleurs résultats que le groupe DOI, ce que nous n'attendions pas.

V. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS BAT PAR RAPPORT AUX ENFANTS CON

Au vu des résultats obtenus précédemment (aucune amélioration significative entre les groupes CON et (BAT+DOI) ; amélioration significative en CONS et DENOM entre DOI et BAT), nous nous sommes interrogées sur l'amélioration des performances du groupe BAT par rapport aux enfants du groupe CON.

Pour cela, nous avons comparé leurs performances à chaque épreuve pour les deux post-tests grâce au test Khi-deux. Les tableaux 11 et 12 ci-dessous représentent l'évolution des performances lors du post-test 1 puis lors du post-test 2.

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
CON (=22)	11	11	14	8	13	9	12	10	12	10	5	17
BAT (=24)	17	7	17	7	10	14	11	15	14	10	9	15
Khi²	2,09		0,27		1,39		0,72		0,07		1,18	

Tableau 11 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
CON (=2)	13	9	12	10	12	10	12	10	10	12	9	13
BAT (=24)	19	5	20	4	10	14	15	9	6	18	14	10
Khi²	2,19		4,49		0,76		0,3		2,11		1,39	

Tableau 12 : Comparaison des performances du groupe entraînement bataille (BAT) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Nous constatons que pour l'épreuve DENOM au post-test 2, nous avons bien une différence significative entre l'évolution des performances des enfants du groupe BAT et celles du groupe CON : khi²=4,49, ddl=1 ; p=0.03. En revanche, pour les autres épreuves, l'entraînement BAT ne permet pas d'améliorer significativement les performances des élèves par rapport à ceux ayant suivi le programme scolaire, sans entraînement.

VI. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ENFANTS DOI PAR RAPPORT AUX ENFANTS CON

Nous avons réalisé une dernière analyse afin de vérifier les résultats obtenus en comparant les performances des groupes DOI et CON à chaque épreuve pour les deux post-tests grâce au test Khi-deux. Les résultats sont résumés dans les tableaux 13 et 14 ci-dessous :

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
CON (=22)	11	11	14	8	13	9	12	10	12	10	5	17
DOI (=26)	15	11	10	16	12	14	14	10	12	14	7	19
Khi²	0,29		3,02		0,79		0,07		0,34		0,11	

Tableau 13 : Comparaison des performances du groupe entraînement digital (DOI) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 1 (juin).

	DIGIT		DENOM		COMP		OPE		LIGN NUM		CONS	
	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal	Plus	Moins ou égal
CON (=22)	13	9	12	10	12	10	12	10	10	12	9	13
DOI (=26)	14	12	14	12	14	12	17	9	10	16	8	18
Khi²	0,13		0,003		0,03		0,59		0,24		0,54	

Tableau 14 : Comparaison des performances du groupe entraînement digital (DOI) par rapport au groupe contrôle (CON) pour chaque épreuve au post-test 2 (septembre).

Les résultats montrent que l'augmentation des performances du groupe DOI n'est jamais significative par rapport à celle du groupe CON, ce qui est corrélé à nos observations précédentes. Il n'y a donc pas d'effet de cet entraînement sur l'épreuve d'identifications de représentations digitales (DIGIT), contrairement à ce que nous avions postulé dans notre hypothèse 2. En outre, au post-test 1, l'augmentation des performances du groupe CON par rapport à celle du groupe DOI est à la limite de la significativité à l'épreuve de dénombrement (DENOM). Cela est contraire à nos attentes.

Ces résultats confirment ceux développés ci-dessus : l'entraînement digital ne permet pas d'améliorer significativement les performances globales (l'hypothèse 1 n'est donc pas validée) ni celles de l'épreuve spécifique DIGIT (hypothèse 2 en partie invalidée).

CHAPITRE V : DISCUSSION

L'objectif de notre étude était d'améliorer, grâce à deux entraînements, les compétences arithmétiques des enfants à la fois en dénombrement (DENOM), comparaisons (COMP), opérations (OPE) et estimations linéaires (LIGN NUM). L'entraînement jeu de bataille (BAT) devait permettre la dissociation des propriétés continue (surface) et discrète (nombre) et entraîner ainsi l'amélioration spécifique des capacités des enfants à l'épreuve de conservation (CONS) par rapport aux groupes DOI et CON.

Nous allons étudier l'effet de chaque entraînement sur les différents domaines abordés dans le test puis nous nous intéresserons à des cas particuliers d'enfants pour terminer enfin sur les biais de notre étude.

I. CONSÉQUENCES DE L'ENTRAÎNEMENT BAT SUR LES CAPACITÉS ARITHMÉTIQUES DES ENFANTS

1. L'épreuve de conservation, spécifiquement travaillée par le groupe BAT

Nous avons conçu un protocole dans le but d'améliorer spécifiquement les performances des enfants à l'épreuve de conservation (CONS). En effet, dès le plus jeune âge, les enfants ne dissocient pas le nombre d'éléments d'une collection des dimensions perceptives qui lui sont associées : longueur, surface, densité, etc. (Feigenson et coll., 2002). Nous avons donc créé nos jeux sur le principe du jeu de bataille en faisant varier les configurations des jetons chaque semaine, selon trois conditions : congruente, non congruente ou neutre (voir annexe A). Ces différents jeux devaient inciter implicitement les enfants à compter avant de répondre à une tâche de comparaisons. En effet, Fuson et coll. (1983) ont montré que les enfants étaient plus performants à une tâche de conservation après avoir compté. Dans notre jeu, chaque enfant devait utiliser le dénombrement pour déterminer lequel des deux joueurs avait la plus grande quantité de jetons sur sa carte et remportait la manche. Michie (1984) affirmait que les enfants sont capables de dénombrement mais de façon non automatique. Nous voulions, par l'intermédiaire de ce

jeu, induire chez les enfants l'utilisation spontanée de la stratégie de dénombrement en fonction de la tâche proposée.

Pour établir l'impact de notre entraînement sur l'épreuve de conservation, nous avons comparé les résultats des différents groupes (CON, BAT et DOI). Tout d'abord, les groupes entraînés n'ont pas amélioré leurs performances par rapport au groupe CON. Puis, la comparaison des performances entre les groupes BAT et DOI ne montre pas non plus d'amélioration significative du groupe BAT au premier post-test. En revanche, au deuxième post-test, les performances des enfants BAT sont significativement améliorées par rapport à celles des enfants DOI. Nous avons donc réalisé une troisième comparaison afin d'étudier les différences de performances entre les groupes CON et BAT : aucune différence significative n'est observée.

Cela nous permet d'affirmer que le jeu de bataille modifié n'a pas permis d'améliorer significativement les performances des enfants. Ce jeu est plus efficace que l'entraînement proposé au groupe DOI puisque les enfants BAT obtiennent de meilleurs résultats au second post-test, mais il n'est pas plus efficace que les activités habituelles du programme scolaire proposées aux enfants CON. Les enfants ont progressé en dénombrement (voir chapitre V, I.3.1.a.), mais ce dernier ne semble pas s'être automatisé. L'entraînement, alliant dénombrement et leurres perceptifs, n'a pas permis aux enfants de se construire une représentation abstraite de la quantité, indépendante de toute autre propriété physique.

Ainsi, un entraînement implicite induisant les enfants à dénombrer dans trois conditions différentes (congruente, neutre et non congruente) ne permet pas d'améliorer significativement les performances des enfants à l'épreuve de conservation.

2. L'épreuve d'identifications digitales, spécifiquement travaillée par le groupe DOI

Conformément aux résultats de l'étude menée par Gracia-Bafalluy et coll. (2008), nous nous attendions à ce qu'un entraînement digital quotidien améliore les performances des enfants DOI à l'épreuve DIGIT (identifications et comparaisons de représentations digitales). En effet, plusieurs auteurs (Lafay et coll., 2013, Fayol et coll., 1998) ont montré l'importance de l'utilisation des doigts dans le développement des capacités arithmétiques des enfants.

L'entraînement proposé aux enfants exigeait à la fois le dénombrement des représentations digitales des quantités et leur comparaison mais aussi la reconnaissance

tactile d'objets en mettant en jeu le sens kinesthésique. D'ailleurs, nous avons observé que ce sens paraissait faiblement efficace par rapport aux repères visuels car lorsque les enfants ouvraient les yeux pour différencier leurs doigts ou reconnaître des objets, ils réussissaient mieux.

Nous nous attendions à une meilleure progression à cette épreuve des enfants DOI par rapport aux deux autres groupes. Au post-test 1, les enfants du groupe DOI améliorent leurs performances par rapport au groupe CON mais de manière non significative (p=0,6). Au second post-test, aucune amélioration n'est avérée. Un effet d'apprentissage immédiat mais sans effet de distance demeure la meilleure explication à ces résultats. Il est aussi possible que les enfants CON aient progressé sans entraînement.

Ensuite, nous ne notons aucune amélioration significative des performances des enfants du groupe DOI par rapport à celles des enfants du groupe BAT lors du post-test immédiat. Par ailleurs et contre toute attente, les enfants BAT améliorent à la limite de la significativité leurs performances au post-test 2 par rapport aux enfants DOI. Nous ne pouvons pas en conclure qu'un entraînement jeu de bataille ait un impact notable sur les performances digitales mais nous pouvons admettre l'inefficacité d'un entraînement digital sur ces capacités à long terme. Ce dernier profiterait à être réalisé plus longtemps. L'épreuve DIGIT était l'une des mieux réussies au premier pré-test (moyennes : CON=8,0 BAT= 8,3 DOI=9,0), il est donc plus difficile d'apprécier les progrès des enfants.

3. Les autres épreuves

3. 1. Spécificité des épreuves de dénombrement et comparaisons

3. 1. a. L'épreuve de dénombrement

Nous nous attendions à une amélioration des performances des enfants entraînés (quel que soit le groupe) à l'épreuve de dénombrement car les deux entraînements mettaient en jeu ces capacités :

- Lors de l'entraînement DOI, les enfants devaient d'une part, compter le nombre de doigts levés par l'institutrice (représentations conventionnelles et non conventionnelles) et d'autre part, compter leurs propres doigts afin de représenter une quantité donnée.
- Les enfants jouant au jeu de bataille devaient compter le nombre de jetons sur chaque carte à la fin de chaque manche pour désigner le vainqueur. Au début de

l'entraînement, nous avons observé de nombreuses erreurs lors de la correspondance terme à terme entre mot-nombre et pointage. Progressivement, le nombre d'erreurs a diminué et le dénombrement s'est précisé et automatisé. Les enfants ont abandonné le pointage manuel au profit du pointage visuel lors du comptage. Cette nouvelle stratégie leur a permis d'être plus rapides.

Tout d'abord, les performances regroupées des enfants entraînés (BAT+DOI) ne se sont pas significativement améliorées à l'épreuve DENOM par rapport à celles des enfants du groupe CON. Ces derniers pratiquaient également des activités de dénombrement : comptage des élèves présents ou absents, comptage sur les doigts, ou encore comptage d'objets à partir d'un support papier. En effet, le programme scolaire stipule que les enfants doivent savoir « *dénombrer une quantité en utilisant la suite orale des nombres connus* » en fin de Grande Section de Maternelle. Cela permet d'expliquer l'absence de différence significative entre les groupes entraînés et le groupe CON.

Ensuite, en comparant les performances des groupes BAT et DOI à cette épreuve, nous constatons que les enfants BAT améliorent significativement leurs performances par rapport aux enfants DOI lors des deux post-tests ($p<0,05$). En effet, les enfants BAT utilisaient le dénombrement à chaque séance pendant six semaines (soit 4h30 en tout) alors que les enfants DOI ne l'utilisaient que cinq minutes par jour pendant deux semaines (soit 40 minutes au total). Ainsi, la pratique du jeu de bataille requiert davantage ce processus de quantification et permet l'amélioration des performances dans ce domaine.

Ces résultats nous ont amenées à nous interroger sur l'efficacité de l'entraînement BAT par rapport aux activités scolaires classiques. Nous avons donc comparé les performances des enfants BAT à celles des enfants CON. Il en ressort qu'au post-test 1, les enfants BAT progressent davantage que les enfants CON mais de manière non significative alors qu'au post-test 2, les performances des enfants BAT s'améliorent significativement ($p<0,05$). À l'inverse, l'augmentation des performances des enfants CON est à la limite de la significativité par rapport à celle des enfants DOI au post-test immédiat alors qu'aucune différence significative n'apparaît entre les deux groupes au post-test différé. Les enfants CON « régressent » au post-test 2, ce qui peut expliquer ces résultats. L'entraînement proposé aux enfants BAT semble donc plus efficace qu'un entraînement digital ou que des activités numériques suivant le programme scolaire, probablement parce qu'il met en jeu les processus de dénombrement de manière intensive.

Pour conclure, seul un entraînement spécifique type jeu de bataille permet l'amélioration des performances à une tâche de dénombrement et son maintien dans le temps.

3. 2. b. L'épreuve de comparaisons

Lors des semaines 2 et 3 de l'entraînement digital, les enfants devaient imiter les représentations exposées par l'institutrice. Pour cela, ils devaient nécessairement comparer de façon plus ou moins implicite leurs propres représentations digitales à celles de l'institutrice. Les enfants du groupe BAT, quant à eux, devaient déterminer lequel des deux joueurs avait la plus grande quantité de jetons sur sa carte et remportait la manche. Ils devaient aussi compter leurs cartes à la fin de chaque partie pour en désigner le vainqueur. Il s'agissait donc de comparer des quantités pour dire « qui a le plus ».

Ainsi, nous nous attendions à une progression simultanée des enfants des deux groupes entraînés à l'épreuve COMP. Pourtant, lorsque nous comparons leurs performances à celles des élèves du groupe CON, aucune amélioration significative n'est observée. Il n'y a donc pas eu d'impact des entraînements par rapport aux activités du groupe CON. En comparant les performances des enfants BAT et DOI, nous n'observons aucune amélioration significative d'un groupe par rapport à l'autre. Ainsi, quelle que soit l'activité proposée, les enfants des trois groupes progressent de la même manière. Cela peut s'expliquer par le fait que l'épreuve de comparaisons comprenait deux sous-épreuves : l'une traitait les quantités symboliques et l'autre, spécifique aux entraînements, traitait les quantités non symboliques. Les entraînements n'ont pas permis de faciliter le passage des représentations non symboliques de la quantité aux représentations symboliques, contrairement à ce que nous attendions (Lafay et coll., 2013). De plus, les enfants du groupe CON ont également pratiqué des activités de comparaisons puisque l'un des objectifs du programme scolaire de 2008 est de « *comparer des quantités* ».

3. 2. Opérations et estimations linéaires : des épreuves non spécifiques

3. 2. a. L'épreuve d'opérations

Les deux groupes d'enfants étaient amenés à réaliser des soustractions et des additions de façon implicite :

- Les enfants du groupe DOI devaient représenter la même quantité de doigts que l'institutrice, ni plus ni moins. Pour ce faire, ils devaient calculer des différences entre la quantité de doigts levés par l'institutrice et la leur.
- Les enfants du groupe BAT devaient indiquer de combien de cartes les paquets différaient entre eux et calculaient ainsi des différences entre les quantités. Dès la seconde semaine d'entraînement, certains enfants ont adopté des stratégies pour gagner en rapidité et en efficacité : ils décomposaient 5 en 4+1 et différenciaient rapidement les cartes qui n'avaient qu'un jeton d'écart (pour les numérosités inférieures à 6). L'utilisation de décompositions additives devait induire l'amélioration des performances des enfants en OPE.

De plus, le jeu BAT devait amener les enfants à se forger une représentation abstraite de la quantité en associant le mot-nombre à la quantité analogique de jetons présente sur la carte. Or, cette représentation abstraite des quantités est nécessaire à la réalisation d'opérations chez les enfants comme chez les adultes qui utilisent les mots-nombres et les chiffres arabes (quantités abstraites) pour les réaliser (Fayol, 2012).

Nous nous attendions à une amélioration des capacités opératoires par effet de généralisation des entraînements et donc de meilleures performances à l'épreuve OPE pour les groupes entraînés. Cependant, après comparaison des groupes entraînés (BAT+DOI) avec le groupe CON, puis des groupes entraînés entre eux, aucune différence significative des performances des enfants à cette épreuve n'est observée. Là encore, le programme scolaire inclut de « *résoudre des problèmes portant sur les quantités* ». Ainsi, les enfants CON travaillaient explicitement la résolution de problèmes et les opérations, contrairement aux enfants entraînés. De ce fait, quelle que soit l'activité proposée, les enfants des trois groupes progressent de façon similaire.

3. 2. b. L'épreuve d'estimations linéaires

Dans leur étude, Opfer et coll. (2010) ont suggéré que la ligne numérique mentale pouvait être corrélée au dénombrement et notamment à la composante du pointage (visuel ou manuel). Nous avons donc considéré qu'un entraînement requérant le pointage permettrait l'amélioration des performances des enfants en ligne numérique. Comme les deux entraînements proposaient des tâches de dénombrement, nous attendions une amélioration des performances des élèves dans les deux groupes entraînés.

Après comparaison des performances des groupes BAT+DOI et du groupe CON puis des deux groupes entraînés entre eux, nous ne notons aucun effet significatif. Ainsi, le fait de recevoir un entraînement, quel qu'il soit, ne semble pas avoir d'impact significatif sur les performances des enfants. Bien que de nombreux auteurs (Booth et coll., 2006 ; Vilette, 2008) aient montré que les enfants se représentaient déjà les quantités sur une ligne numérique mentale avant l'entrée au cours préparatoire (CP), cette capacité serait encore en cours de maturation puisque ces mêmes auteurs montrent qu'elle varie avec l'âge et l'expérience.

Nous pouvons conclure à l'absence d'effet de généralisation des entraînements sur les performances arithmétiques des enfants.

II. CAS PARTICULIERS

Nous avons remarqué que les enfants ne progressaient pas tous de la même manière. C'est pourquoi nous proposons d'étudier plus particulièrement certains profils.

1. Étude de cas de Benjamin, groupe BAT

Benjamin, scolarisé en GSM, est âgé de 5 ans 5 mois lors du pré-test. Il faisait partie du groupe BAT. Nous avons choisi d'étudier ce profil car il montre une nette progression entre le pré-test et le post-test 2 dans les épreuves DOI (+7 points), COMP (+7 points) et CONS (+4 points). Benjamin semble avoir profité de l'entraînement dans les domaines spécifiquement travaillés sans généralisation aux autres épreuves, à l'exception de l'épreuve DIGIT.

Dès le pré-test notre attention s'est portée sur Benjamin car il présentait des difficultés de compréhension : nous nous sommes assurées qu'il comprenait correctement les consignes afin que ses résultats ne soient pas biaisés. Il était très lent mais cherchait toujours à effectuer au mieux son travail. Au pré-test, ses résultats étaient inférieurs à la moyenne de sa classe alors qu'au post-test 2, ils se situaient au-dessus de la moyenne pour les épreuves DOI, COMP et CONS. On note une très nette évolution à l'épreuve de conservation : il passe de 0/4 au pré-test et post-test 1 à 4/4 au post-test 2. Cela est très étonnant. Benjamin ne semble pas être passé par les stades de développement habituels. En

effet, les enfants passent par plusieurs stades d'évolution dans la tâche de CONS (voir chapitre I, II.2.1.) avant que la tâche ne soit réussie. Benjamin, lui, passe de l'absence totale du raisonnement à son acquisition complète. Par ailleurs, alors qu'il a nettement progressé à l'épreuve de CONS, on ne note pas d'évolution franche en DENOM : nous nous attendions à une progression dans ces deux domaines puisque le jeu de bataille oblige les enfants à dénombrer les jetons lorsque leurs nombres sont proches (7 et 8) et qu'il est difficile d'utiliser le subitizing ou l'estimation.

Lors des premiers entraînements, Benjamin était assez passif et se laissait guider par son adversaire. Progressivement, il est devenu de plus en plus actif et motivé : il demandait à distribuer les cartes, prenait plaisir au jeu et disait « adorer » ce temps. Il n'a pas noté de difficulté croissante entre les jeux proposés chaque semaine.

L'entraînement du jeu de bataille lui a probablement été bénéfique au vu de sa progression aux deux post-tests. L'hypothèse émise quant à la dissociation de ses résultats en CONS et DENOM serait la maturation du lobe frontal (Houdé, 2004) associée à l'entraînement spécifique. Enfin, cet entraînement ludique et collectif semble lui convenir : il ne se dissipait pas lorsque l'attention des surveillants n'était pas portée sur lui.

2. Comparaison de deux profils du groupe BAT : Julie et Emma

Nous avons maintenant choisi d'étudier l'évolution de deux élèves ayant le même type de profil au pré-test : Julie et Emma étaient âgées respectivement de 5 ans 9 mois et 5 ans 4 mois et ont toutes les deux participé à l'entraînement du jeu de bataille. Au pré-test, leurs résultats étaient au-dessus de la moyenne de la classe aux épreuves DOI, DENOM et COMP : ces épreuves étaient quasiment saturées avant le début de l'entraînement avec, de ce fait, une marge de progression limitée. En revanche, en LIGN NUM et CONS elles avaient des scores assez faibles (inférieurs à la moyenne générale de ce groupe).

Au post-test 1, nous observons une progression des deux élèves en OPE (Julie : +3 points ; Emma : +1 point) et LIGN NUM (Julie : +1,5 points ; Emma : +4 points). En revanche, en CONS, Julie progresse nettement et arrive à saturation de l'épreuve alors qu'Emma n'évolue pas et reste à 0/4. Au post-test 2, leurs résultats sont constants et similaires à ceux du post-test 1. Saturant déjà à plusieurs épreuves, elles ne pouvaient

progresser toutes les deux qu'en LIGN NUM. Emma aurait également pu progresser en CONS.

Suite à l'entraînement, nous nous attendions à ce que ces deux élèves progressent en CONS or, seule Julie a réussi l'épreuve. Nous avons essayé de comprendre cette dissociation en étudiant leurs profils. Julie et Emma ont deux caractères et comportements différents lors des entraînements. Julie est une petite fille très calme et concentrée alors qu'Emma est plutôt agitée et dissipée. Julie semblait plus intéressée par l'entraînement et plus sérieuse : elle était autonome. Emma était beaucoup moins attentive et concentrée : un entraînement collectif ne semble pas lui convenir, elle a besoin d'une tâche plus structurée et cadrée. On remarque également qu'Emma était moins impliquée dans le jeu car elle s'ennuyait et trouvait que le principe était toujours le même malgré les nouveaux jeux proposés chaque semaine.

La motivation et l'intérêt jouent donc un rôle primordial dans l'implication des élèves lors de l'entraînement et les résultats obtenus ensuite aux tests. De plus, certains élèves sont autonomes et capables de rester concentrés lors d'une activité ludique alors que d'autres ont besoin d'activités plus strictes pour que leur attention reste optimale. Ainsi, un entraînement ludique et collectif peut ne pas convenir à tous les élèves comme le montre cette étude de cas. Certains semblent en tirer profit (Julie) alors que d'autres, moins concentrés ont besoin d'un travail plutôt dirigé et individuel (Emma).

Il serait intéressant de tester ce jeu avec des enfants présentant des difficultés logico-mathématiques afin d'améliorer leur capacité en dénombrement et leur compréhension du concept du nombre.

3. Comparaison de deux élèves du groupe DOI : Eliot et Noémie

Eliot et Noémie faisaient tous les deux partie du groupe DOI. Lors du premier test, Eliot avait 5 ans et 2 mois et Noémie 5 ans et 10 mois. Ils présentaient le même profil : ils semblaient distraits et comprenaient difficilement les consignes. La réalisation des exercices était laborieuse.

Au cours des entraînements, ils paraissaient tous deux attentifs et intéressés par les jeux proposés. Ils progressaient dans la précision des réponses mais aussi dans la rapidité,

car les premiers jours, peu sûrs d'eux, ils avaient tendance à regarder leur voisin pour les représentations digitales. Lors de la reconnaissance digitale à l'aveugle, Eliot se trompait de temps en temps, souvent à une unité près. Parfois, un support visuel l'aidait et parfois, il pouvait rectifier sa réponse sans regarder ses doigts. Noémie restait timide lorsqu'elle était interrogée individuellement mais participait volontiers. Elle était capable de reconnaître l'une de ses camarades au toucher avec très peu d'indices. Quel impact l'entraînement DOI a-t-il eu sur leurs performances ?

Nous avons observé chez les deux enfants, un profil assez faible au départ. Aucune épreuve n'était plafonnée. Noémie obtenait un total de 17/49 et Eliot 10/49. Dès les premiers post-tests, les enfants ont progressé. Leurs résultats sont résumés dans le tableau 15 ci-dessous :

		DIGIT /12	DENOM /8	COMP /15	OPE /4	LIGN NUM /6	CONS /4	TOTAL /49
Pré-test	Noémie	1,00	5,00	8,00	1,00	2,00	0	17,00
	Éliot	0	6,00	4,00	0	0	0	10,00
	Classe	8,82	6,39	11,96	2,57	1,27	0,50	31,70
Post-test 1	Noémie	10,00	7,00	15,00	2,00	0,50	0	34,50
	Éliot	12,00	6,00	11,00	4,00	1,25	0	34,25
	Classe	10,73	6,58	12,73	2,54	1,19	1	34,77
Post-test 2	Noémie	10,00	7,00	15,00	2,00	0,50	0	34,50
	Éliot	12,00	7,00	15,00	3,00	0,75	0	37,75
	Classe	11,15	7,19	14,42	3,42	1,10	1,39	38,68

Tableau 15 : Notes brutes de Noémie, Eliot et moyennes de la classe lors des épreuves aux différents tests.

Nous observons qu'au pré-test, les enfants présentaient tous deux de très faibles résultats à l'épreuve DIGIT : 0 pour Eliot et 1 pour Noémie. Au deuxième post-test, Eliot avait atteint le maximum de points et Noémie obtenait +9 points avec un total de 10/12. Il semblerait donc que l'entraînement digital ait eu un impact positif sur leurs compétences contrairement à notre observation générale. Les élèves ont tous deux progressé aux épreuves DIGIT, DENOM, COMP et OPE. L'entraînement semble donc avoir été bénéfique pour ces deux enfants. De plus, lors des post-tests, nous avons observé des enfants plus en confiance avec nous mais aussi dans leurs performances. Il y avait donc peut-être un effet de stress au pré-test. Le fait que l'on se soit intéressé à eux pendant six

semaines et qu'ils nous aient vues plusieurs fois leur a peut-être permis d'être plus performants. Au premier post-test, ils atteignent la moyenne de la classe.

Aucun des deux élèves n'a acquis la conservation puisque les scores à l'épreuve CONS n'ont pas augmenté aux deux post-tests (0/4 pour chacun des enfants). Il serait donc intéressant pour ce genre de profil de recevoir à la fois l'entraînement DOI et l'entraînement BAT qui auraient peut-être permis une amélioration de ces compétences comme nous l'avons observé dans nos analyses générales.

Enfin, Eliot progresse constamment (+24,5 points au post-test 1 et +27,75 points au post-test 2 par rapport au pré-test) alors que Noémie stagne et obtient exactement le même score aux deux post-tests (+24,5 points). Cette enfant aurait donc peut-être pu bénéficier d'un entraînement plus long et plus personnalisé.

4. Comparaison de deux profils : un du groupe BAT, Axel et un du groupe DOI, Élise

Au départ, Axel a 5 ans et 6 mois et Élise a 5 ans et 5 mois. Leur niveau de développement est équivalent (Axel : 3/9 et Élise : 4/9 aux figures géométriques ; 9/52 au dessin pour les deux). Ils n'ont jamais plus d'un point d'écart aux épreuves et ont donc sensiblement les mêmes résultats avec un total de 17/49 et 15,5/49 soit 3% d'écart. Leurs résultats aux différents post-tests sont résumés dans le tableau ci-dessous :

		DIGIT /12	DENOM /8	COMP /15	OPE /4	LIGN NUM /6	CONS /4	TOTAL /49
Pré-test	Élise	4	4	6	2	0	1	17
	Axel	3	3	7	1	1,5	0	15,5
Post-test 1	Élise	10	6	11	2	0,75	0	29,75
	Axel	10	4	12	4	2,5	2	34,5
Post-test 2	Élise	11	7	13	3	2,25	0	36,25
	Axel	11	7	14	3	0,5	2	37,5

Tableau 16 : Notes brutes d'Axel et Élise lors des épreuves aux différents tests.

Les deux enfants ont globalement progressé. Chacun d'eux semble avoir profité des entraînements, quels qu'ils soient puisque leurs performances ont augmenté en : DENOM : +3 points pour Élise et +4 points pour Axel ; COMP : + 7 points pour chaque enfant ;

OPE : +1 point pour Élise et +2 points pour Axel. Cependant, aucune des épreuves ne plafonne, même celles pour lesquelles beaucoup d'enfants obtenaient vite de très bons scores (COMP par exemple). L'effet de généralisation des entraînements n'est donc pas optimal.

Nous remarquons ensuite deux points importants concernant la spécificité des entraînements : à l'épreuve DIGIT, les deux enfants progressent alors que nous pouvions nous attendre à une meilleure progression d'Élise. Les deux enfants obtiennent 11/12 au deuxième post-test soit une augmentation de 175% pour Élise et 267% pour Axel. Notons ensuite qu'Élise n'augmente pas ses performances à l'épreuve CONS, elle perd même un point. Axel, quant à lui, atteint 2/4. Cela est plus cohérent avec nos attentes puisqu'Axel suit l'entraînement BAT.

En conclusion, il aurait été intéressant de poursuivre l'entraînement et de tester les enfants à nouveau à plus long terme. L'augmentation des capacités individuelles due à la maturation et aux apprentissages scolaires n'est pas négligeable.

III. LES BIAIS DE NOTRE ÉTUDE

1. La population

L'effectif total de notre population a été limité par les difficultés à constituer nos trois groupes. En effet, certains établissements ont refusé de participer à notre étude car ils considéraient notre présence comme intrusive. Finalement, nous avons reçu l'accord de deux écoles. Afin de limiter les échanges possibles entre le groupe contrôle et les groupes entraînés, nous avons choisi un premier établissement pour les deux classes entraînées et un second pour le groupe contrôle.

Notre échantillon initial comprenait 86 élèves mais notre étude s'étant déroulée sur huit mois, avec un changement de niveau scolaire, l'effectif final a été réduit. Lors du passage au CP certains enfants ont déménagé ou nous n'avons pas obtenu l'autorisation parentale nécessaire pour participer au second post-test.

Au post-test 2, notre population était alors constituée de 72 élèves, soit 16% de moins qu'initialement. Le groupe CON est passé de 29 élèves à 22 soit 24% de pertes, les groupes BAT et DOI comportaient chacun 28 enfants au début de l'étude contre

respectivement 24 et 26 en fin de projet, soit 14% et 7% de pertes. En dépit des recherches concernant à la fois les niveaux socioculturel et développemental des enfants, nos résultats demeuraient très sensibles aux changements d'effectif. De ce fait, il serait intéressant de reproduire notre étude sur un plus grand panel d'enfants.

2. Les limites des tests

Afin de tester les enfants dans le cadre de notre étude, nous avons repris les épreuves créées par Gendre et coll. en 2012. Bien que nous y ayons apporté certaines modifications (voir chapitre III, II.1.2.), nous avons constaté la persistance de biais, d'une part lors des passations et d'autre part, au niveau des épreuves elles-mêmes.

2. 1. Passations

Tout d'abord, nous avons testé les élèves par groupe de cinq à sept élèves afin de limiter nos interventions dans les établissements. La passation en groupe n'était pas idéale : élèves perturbateurs, tentation de copier (malgré l'installation de livres entre les élèves), peur de demander en cas d'incompréhension de la consigne. Au moins vingt et un jours de passation auraient été nécessaires pour tester chaque élève individuellement, ce qui est chronophage et aurait entraîné un écart d'un mois entre le premier élève testé et le dernier. Cette condition n'était pas réalisable.

Ensuite, l'horaire de passation n'était pas la même pour chaque groupe. Nous avons remarqué que cela pouvait modifier la concentration des élèves et de ce fait retentir sur leurs performances aux épreuves. De plus, le test durait en moyenne 50 minutes. Pour des enfants de 5 à 6 ans, il s'avère difficile de maintenir son attention pendant ce laps de temps, sans interruption. Nous avons également noté, lors de la passation du post-test 1 en juin, la présence chez certains enfants d'une angoisse de performance car ils craignaient d'être jugés pour leur passage en CP.

Enfin, nous avons admis l'existence d'un effet test re-test, pouvant impacter sur les résultats obtenus. En effet, le délai entre chaque test variait de trois à quatre mois et les élèves se souvenaient des épreuves bien que nous ayons modifié l'ordre des sous-épreuves et/ou remplacé certains items (les chats remplacés par des chiens puis des lapins).

2. 2. Limites des épreuves

Tout d'abord, lors de la correction du pré-test, nous avons été confrontées à l'effet plafond pour deux sous-épreuves : la première partie de l'épreuve DIGIT (compter le nombre de doigts levés sur une image et entourer la bonne réponse parmi les trois propositions) et la deuxième partie de l'épreuve COMP (entourer l'aile du papillon qui comporte le plus de points). Les élèves obtenaient déjà de très bons scores et nous pouvions donc difficilement apprécier l'amélioration de leurs performances lors des post-tests alors que ces épreuves étaient directement concernées par les entraînements (COMP pour le groupe BAT et DIGIT pour le groupe DOI).

Ensuite, l'épreuve LIGN NUM s'est révélée trop compliquée pour les élèves et a conduit à un effet plancher. La présentation de l'épreuve n'était probablement pas adaptée (voir annexe F). En effet, le nombre à placer sur la ligne numérique se trouvait au-dessus et au centre de celle-ci. Les enfants traçaient souvent un trait perpendiculaire à la ligne numérique afin d'y relier le nombre.

Pour résoudre ces biais, nous avons pensé à ajouter des items surtout pour les épreuves DIGIT et COMP. Cependant, le test étant déjà long (50 minutes), rajouter des items n'aurait fait qu'augmenter le temps de passation. Nous avons donc tenté de mesurer le temps individuel de réalisation de chaque épreuve dès le pré-test afin d'améliorer la sensibilité et la spécificité de nos tests. Pour remédier à la difficulté de surveiller chaque élève, nous leur avons demandé de lever la main une fois l'exercice terminé mais tous les élèves ne respectaient pas cette consigne. Ainsi, l'intégralité de ces mesures n'a pas pu être obtenue. Pourtant, nous pensons que cela serait intéressant à mettre en place pour une prochaine étude.

3. Les limites des entraînements

3. 1. Les différences entre les deux entraînements

Les enfants des deux groupes n'étaient pas entraînés à la même intensité : le groupe DOI pratiquait ses activités quatre fois par semaine alors que le groupe BAT ne jouait à la bataille que trois fois par semaine. Les enfants BAT avait donc quinze minutes d'entraînement de moins par semaine, soit 90 minutes de moins sur les six semaines.

De plus, l'organisation de l'entraînement BAT était plus contraignante que celle du groupe DOI. En effet, l'entraînement DOI permettait à l'institutrice de s'occuper de tous les élèves en même temps pendant le quart d'heure. En revanche, pour le groupe BAT, il était impossible de faire jouer tous les élèves en même temps. L'institutrice organisait donc des sessions de 6 joueurs soit 3 groupes d'élèves par quart d'heure. Maintenir leur attention et s'assurer qu'ils respectaient les règles nécessitaient une surveillance accrue. Afin de contrôler les enfants qui s'entrainaient tout en s'occupant du reste de la classe, l'ATSEM secondait l'institutrice mais cela ne paraissait pas suffisant. Nous assistions au maximum de séances et surveillions les enfants mais notre emploi du temps ne nous permettait pas d'être présentes tous les jours.

3. 2. Les spécificités de l'entraînement BAT

Les élèves du groupe BAT jouaient en binôme. Cela pouvait entraîner un déséquilibre lorsqu'un élève en difficulté se retrouvait face à un élève plus performant. Par exemple, seul l'enfant le plus à l'aise comptait les jetons des deux cartes afin de déterminer le vainqueur de la manche alors que l'autre enfant se laissait guider et ne recomptait pas. Cependant, nous essayions de surveiller chaque couple d'enfants afin de remédier à ce problème.

À chaque début de semaine, nous demandions aux enfants leur impression quant au nouveau jeu. La plupart des élèves ont remarqué le changement de taille des jetons d'une part entre les jeux 2 et 3 (situations congruentes) et d'autre part entre les jeux 5 et 6 (situations non congruentes). Cependant, seuls deux ou trois élèves ont remarqué que les jeux différaient aussi par leurs situations (congruente, neutre et non congruente). Par exemple, ils nous ont expliqué que les jetons représentant les plus petites numérosités étaient les plus grands.

Globalement, nous avons remarqué que peu d'élèves n'aimaient pas le jeu ou le trouvaient compliqué (6%). Cependant, certains l'ont trouvé redondant et se lassaient. Afin de pallier l'ennui et afin que les élèves perçoivent la différence, il serait intéressant de modifier davantage les jeux d'une semaine à l'autre.

3. 3. Les spécificités de l'entraînement DOI

L'entraînement DOI, quant à lui, ne permettait pas réellement d'apprécier la progression individuelle des élèves. Les enfants étaient souvent interrogés en groupe et ne participaient pas tous, tous les jours. Ainsi, les moins motivés ou les moins attentifs ne bénéficiaient pas forcément de l'entraînement. De plus, nous n'avons pas pu assister à chaque séance et suivre les enfants régulièrement.

Globalement l'institutrice a trouvé les élèves attentifs et impliqués et a noté, au cours de l'entraînement, des progrès dans la vitesse et la précision de leurs réponses. Elle a aussi remarqué, en accord avec les recherches de Di Luca et coll. (2008) que les enfants reconnaissaient et produisaient plus facilement des représentations conventionnelles que non conventionnelles. Il serait donc intéressant de travailler davantage cet aspect pour conduire, comme pour le jeu de bataille, à une représentation plus abstraite et moins formelle de la quantité. Enfin, cet entraînement motivait les enfants, qui y jouaient entre eux en dehors du temps imparti.

3. 4. Conclusion sur les entraînements

En dépit des biais relevés dans les paragraphes ci-dessus, les deux institutrices ont noté que la redondance des entraînements sur une longue période demeurait un avantage car c'est ainsi que se créent les apprentissages. Les élèves étaient motivés par les entraînements et s'impliquaient dans leur réalisation. Cependant, ces activités ludiques n'ont pas permis d'améliorer l'ensemble des compétences arithmétiques testées.

Enfin, l'institutrice de la classe DOI a pris beaucoup de plaisir à proposer chaque jour les activités et projette de les intégrer à son programme. En revanche, l'institutrice du groupe BAT a trouvé l'entraînement chronophage et trop contraignant pour son emploi du temps. Malgré tout, elles se sont particulièrement impliquées durant ces six semaines.

CONCLUSION

Notre travail s'inscrit dans une dynamique de recherches en cognition numérique selon laquelle les représentations continues et discrètes sont initialement confondues et traitées comme des grandeurs avant de s'autonomiser (Mix et coll., 2002). Pour tenter de faciliter la différenciation des modalités de traitement (quantité versus grandeurs physiques), nous avons conçu un jeu de cartes sur le principe du jeu de bataille. Les enfants devaient traiter des numérosités non symboliques (jetons) de tailles et de couleurs différentes selon trois conditions : congruente, non congruente et neutre. Pendant six semaines, ce jeu a été soumis à un groupe d'enfants (BAT) tandis que d'autres enfants participaient à des activités digitales (DOI) ou poursuivaient les activités numériques du programme scolaire (CON).

L'analyse des résultats a permis de conclure à l'absence d'effet des entraînements par rapport au groupe CON. Notre première hypothèse n'est donc pas validée. Cependant, les élèves du groupe BAT ont significativement plus progressé aux épreuves de dénombrement et conservation que ceux du groupe DOI. Cela suggère l'existence d'une spécificité de l'entraînement BAT par stimulation implicite de la dissociation entre surface et nombre. L'impact de cet entraînement est confirmé par l'amélioration significative des performances du groupe BAT en dénombrement par rapport à celles du groupe CON. Conformément à nos attentes, nous n'avons pas noté de différence significative entre les performances des enfants BAT et DOI aux épreuves d'opérations, estimations linéaires et comparaisons. En revanche, le groupe DOI n'améliore pas significativement ses performances à l'épreuve d'identifications digitales. Notre seconde hypothèse est donc partiellement validée.

Pour conclure, notre étude a permis d'apporter de nouvelles perspectives de recherche tant dans le domaine de la psychologie que dans celui de l'orthophonie. Le jeu de bataille a permis l'amélioration des compétences en dénombrement et pourrait être utilisé avec des enfants présentant des troubles d'apprentissage en mathématiques. Cependant, le dénombrement ne semble pas s'être automatisé car nous n'avons pas noté d'amélioration franche en conservation. La facilitation par notre jeu de la dissociation entre propriété continue (surface) et propriété discrète (nombre) n'a pas été clairement établie. Globalement, l'efficacité d'un tel jeu par rapport aux activités scolaires habituelles dans ce domaine reste à démontrer. Il semble nécessaire de poursuivre l'étude en lui donnant une dimension longitudinale, sur un panel d'enfants plus large en retravaillant les modalités de passation.

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.

Andres, M., Michaux, N., et Pesenti, M. (2012). Common substrate for mental arithmetic and finger representation in the parietal cortex. *Neuroimage 62(3),* 1520-1528.

Bender, A., et Beller, S., (2012). Nature and culture of finger counting : Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition, 124,* 156-182.

Booth, J.L., et Siegler, R.S. (2006). Developmental and Individual Differences in Pure Numerical Estimation. *Developmental psychology, 41,* 189-201.

Brissiaud, R. (1989). *Comment les enfants apprennent à calculer – Au-delà de Piaget et de la théorie des ensembles.* Paris, Retz, 192p.

Brissiaud, R. (2007). *Premiers pas vers les maths – Les chemins de la réussite à l'école maternelle*. Paris, Retz, 95p.

Brissiaud, R. (2014). *Apprendre à calculer à l'école – Les pièges à éviter en contexte francophone*. Paris, Retz, 95p.

Costa, A.J., Silva, J., Chagas, P.P., et coll. (2011). A Hand Full of Numbers : A Role for Offloading in Arithmetics Learning? *Frontiers in Psychology, 2,* article 368.

Cipolotti, L. (1995). Multiple routes for reading words, why not numbers ? Evidence from a case of Arabic numerical dyslexia. *Cognitive Neurpsychology, 12,* 313-342.

Cipolotti, L., et Thioux, M. (2004). Troubles du calcul et du traitement des nombres : les travaux fondateurs. Dans Pesenti, M., et Seron, X. (Eds.), *La cognition numérique*. Hermès : Paris, 287p.

Clearfield, M.W., et Mix, K.S. (2001). Amount versus number: Infants' use of area and contour length to discriminate small sets. *Journal of Cognition and Development, 2,* 243-260.

Cohen, L., et Dehaene, S. (1991). Two mental calculation systems : A case study of severe dyslaculia with preserved approximation. *Neuropsychologia, 29,* 1045-1074.

Crollen, V., et Noël, M.P. (2015). The role of fingers in the development of counting and arithmetic skills. *Acta Psychologica, 156,* 37-44.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities, *Cognition, 44,* 1-42.

Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths – 15 ans après*. Paris, Odile Jacob, 377p.

Dehaene, S., Bossini, S., et Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology : General, 122,* 371-396.

Dehaene, S., et Cohen, L. (2000). *Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale.* Dans Pesenti, M., et Seron X. (Eds.), *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres* (pp. 191-232). Solal : Marseille, 273p.

Dehaene, S., Dupoux, E., et Melher, J. (1990). Is numerical comparaison digital ? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparaison. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 16(3),* 626-641.

De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., et coll. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement : a longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of experimental child psychology, 103,* 186-201.

Di Luca, S., et Pesenti, M. (2008). Masked Priming Effect with Canonical Finger Numeral Configurations. *Experimental Brains Research, 185,* 27-39.

Di Luca, S., Lefèvre, N., et Pesenti, M. (2010). Place and summation coding for canonical and non-canonical finger numeral representations. *Cognition 124,1,* 95-100.

Donlan, C., et Gourlay, S. (1999). The importance of non-verbal skills in the acquisition of place-value knowledge : Evidence from normally-developing and language-impaired children. *British Journal of Developmental Psychology, 17,* 1-19.

Fayol, M. (1990). *L'enfant et le nombre : du comptage à la résolution de problèmes*. Paris, Delachaux et Niestlé, 237p.

Fayol, M. (2012). *L'acquisition du nombre*, Paris, Puf, 128p.

Fayol, M., Barouillet, P., et Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuropsychological performance : a longitudinal study. *Cognition, 68,* 63-70.

Feigenson, L., Carey, S., et Spelke, E. (2002). Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology, 44,* 33-66.

Fuson, K.C. (1982). An analysis of the counting on solution precedure in addition. Dans Carpentien, J.M., Moser, J.M., et Romberg, T.A. (Eds), *Addition and substraction : a cognitive perspective (pp. 67-81).* Hillsdale, N.J : Erlbaum, 245p.

Fuson, K.C., Richards, J., et Briars, D.J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. Dans Brainerd, C. (Eds.), *Progress in cognitive development, (Vol. 1). Children's logical and mathematical cognition.* New-York : Springer-Verlag, 216p.

Fuson, K.C., Secada, W.G., et Hall, J.W. (1983). Matching, counting and conservation of numerical equivalence. *Child Development, 54,* 91-97.

Gelman, R., et Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number.* Cambridge, MA : Harvard University Press, 260p.

Gelman, R., et Meck, E. (1983). Preschooler's counting : Principles before skills. *Cognition, 13*, 343-359.

Gendre, N., et Pautonnier, L. (2012). *Peut-on améliorer les performances arithmétiques par des entraînements aux configurations de doigts ou à un jeu de plateau linéaire ?* Université Claude Bernard Lyon1 - ISTR - Orthophonie.

Gilmore C.K., McCarthy, S.E., et Spelke E.S. (2010). Non-Symbolic Arithmetic Abilities and Mathematics Achievement in the First Year of Formal Schooling. *Cognition, 115,* 394-406.

Gracia-Bafalluy, M., et Noël, M.P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex, 44,4,* 368-375.

Groen, G.J., et Parkman, J.M. (1972). A chrometric analysis of simple addition. *Psychological Review, 79,* 329-343.

Halberda, J., et Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44(5),* 1457-1465.

Houdé, O. (2004). *La psychologie de l'enfant.* Paris, Puf, 128p.

Jarlegan, A., Fayol, M., et Barrouillet, P. (1996). De soixante-douze à 72, et inversement : Une étude du transcodage chez les enfants de 7 ans. *Revue de Psychologie de l'Education, 1, 109-131.*

Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C., et coll. (2013). The role of fingers in number processing in young children. *Frontiers in Psycholoy, 10*, 3389.

Lebrun, Y. (2005). Gerstmann's Syndrome. *Journal Of Neurolinguistics, 18, 4,* 317-326.

Lecointre, A.S., Lépine, R., et Camos, V. (2005). Développement et troubles des processus de quantification. Dans Noël, M.P. (Eds), *La dyscalculie* (pp. 41–75). Solal : Marseille, 264p.

Leibovich, T., et Henik, A. (2013). Magnitude processing in non-symbolic stimuli. *Frontiers in Psychologie, 4 (375)*, 1-6.

Lipton, J.S., et Spelke, E.S. (2003). Origins of number sense: Large number discrimination in human infants. *Psychological Science, 14*, 396–401.

Lipton, J.S., et Spelke, E.S. (2004). Discrimination of large and small numerosities by human infants. *Infancy, 5*, 271–290.

Michie, S. (1984). Why preschoolers are reluctant to count spontaneously. *British Journal of Educational*. *Psychology, 54*, 245-253.

Mix, K.S. (1999). Similarity and numerical equivalence: Appearances count. *Cognitive Development, 14*, 269–297.

Mix, K.S., Huttenlocher, J., et Levine, S.C. (2002). Multiple cues for quantification in infancy : Is number one of them. *Psychological Bulletin, 128,* 278–294.

Mou, Y., et vanMarle, K. (2014). Two core systems of numerical representation in infants. *Developmental Review, 34,* 1-25.

Nicoladis, E., Pika, S., et Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers? *Cognitiove Development, 25, 3,* 247-261.

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

Noël, M.P., Crollen, V., et Seron, X. (2011). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities ? *Frontiers in Psycholoy, 2,* 242.

Opfer, J.E., Thompson, C.A., et Furlong, E.E. (2010). Early development of spatialnumeric associations : evidence from spatial and quantitative performance of preschoolers. *Developmental Science, 13(5),* 761-771.

Piaget, J., et Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 317p.

Rousselle, L., Palmers, E., et Noël, M.P. (2004). Magnitude comparison in preschoolers: What counts? Influence of perceptual variables. *Journal of Experimental Child Psychology, 87,* 57-84.

Rousselle, L., et Noël, M.P. (2008). The development of automatic numerosity processing in preschoolers : Evidence for numerosity-perceptual interference. *Developmental psychology, 44,* 544-560.

Siegler, R.S., et Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction : How do children know what to do ? Dans Sophian, C. (Eds), *Origins of cognitive skills*. Hillsdale, NJ : Erlbaum, 442p.

Simon, T.J. (1999). The foundations of numerical thinking in a brain without numbers. *Trends in Cognitive Sciences, 3,* 363-364.

Starkey, P., et Cooper, R.G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210,* 1033–1035.

Thevenot, C. (2014). La relation entre doigts et nombres que peuvent nous apprendre les enfants présentant une hémiplégie? *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant - A.N.A.E., 128,* 47-52.

Towse, J.N., et Hitch, G.J. (1996). Performance demands in the selection of objects for counting. *Journal of Experimental Child Psychology, 61,* 67-79.

vanMarle, K. (2013). Different mechanisms underlie infants' representation of small and large numbers in an ordinal choice task. *Journal of Experimental Child Psychology*, *114*, 102–110.

Vilette, B., Delrieu, E., et Lehalle, H. (2008). The construction of numerical property between the age of two and four *Archives de Psychologie, 73 (286),* 187.

Weil, P.G. (1950). Le test d'un dessin d'un bonhomme comme contrôle périodique simple et rapide de la croissance mentale. *Enfance, 3,* 3-1, 227-243.

Wynn, K. (1990). Children's understanding of number, *Cognition, 36,* 155-193.

Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system, *Cognition, 24(2),* 220-251.Xu, F., et Spelke, E.S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74,* B1–B11.

Xu, F., et Arriaga, R.I. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, *25*, 103–108.

Xu, F., et Spelke, E.S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74,* B1–B11.

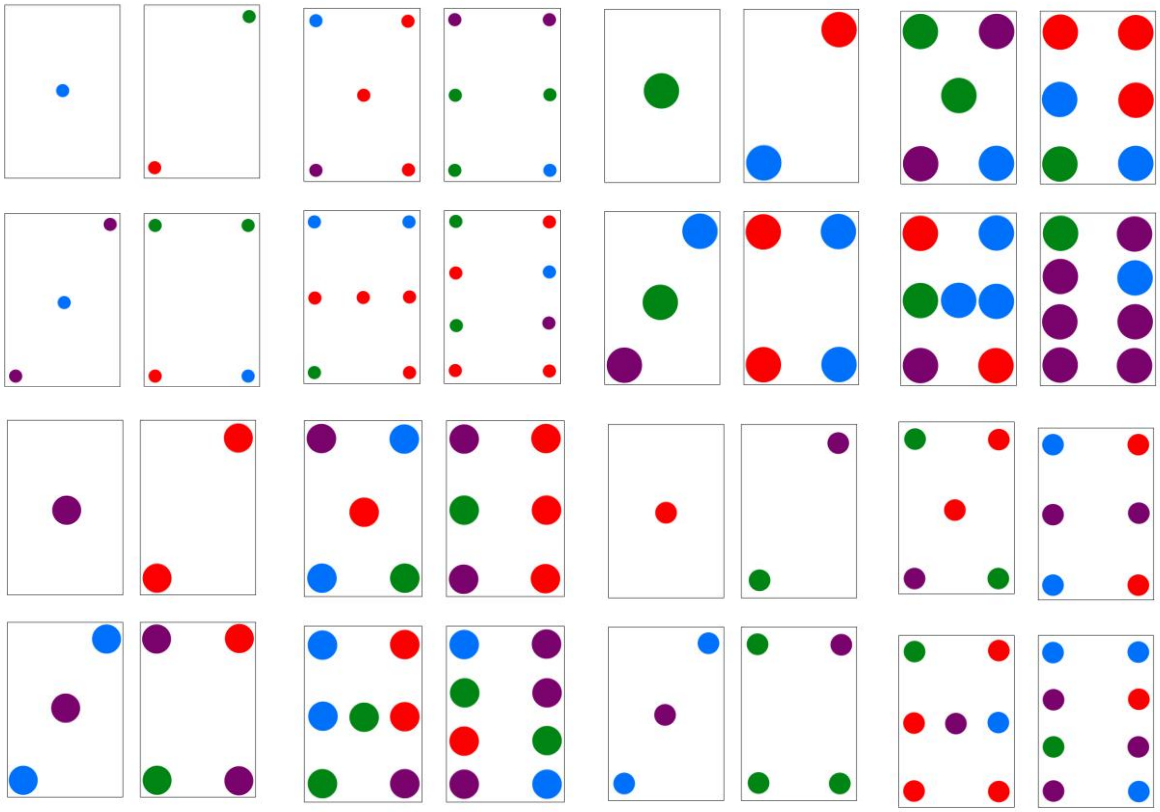
Zago, L., Pesenti, M., Mellet, et coll. (2001). Neural Correlates of Simple and Complex Mental Calculation, *Neuroimage. 13(2),* 314-27.

ANNEXES

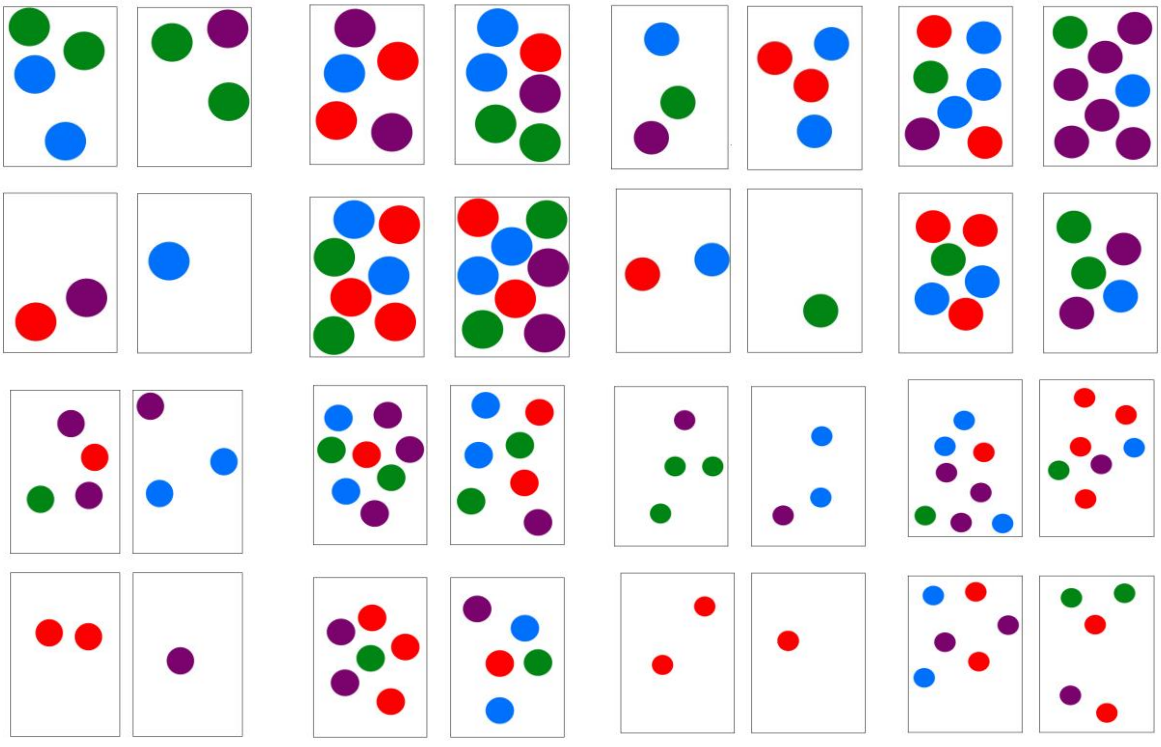
ANNEXE A : Jeux

1. Situation congruente

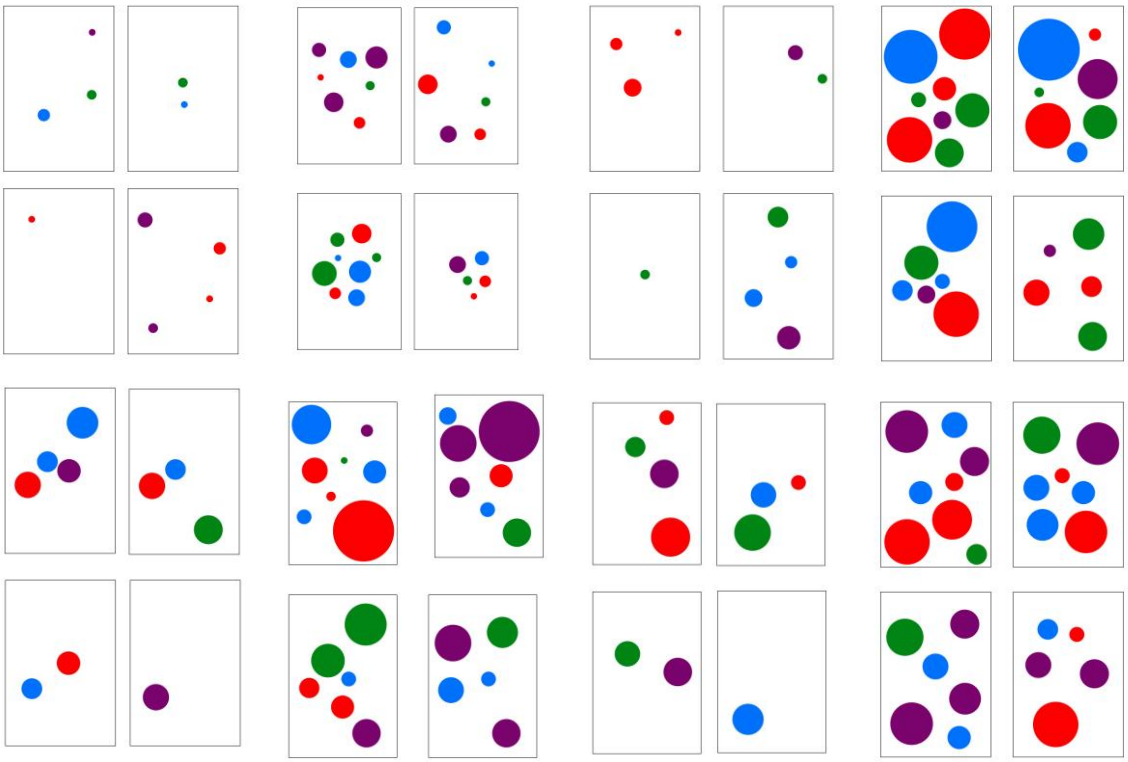
1. 1. Jeu 1



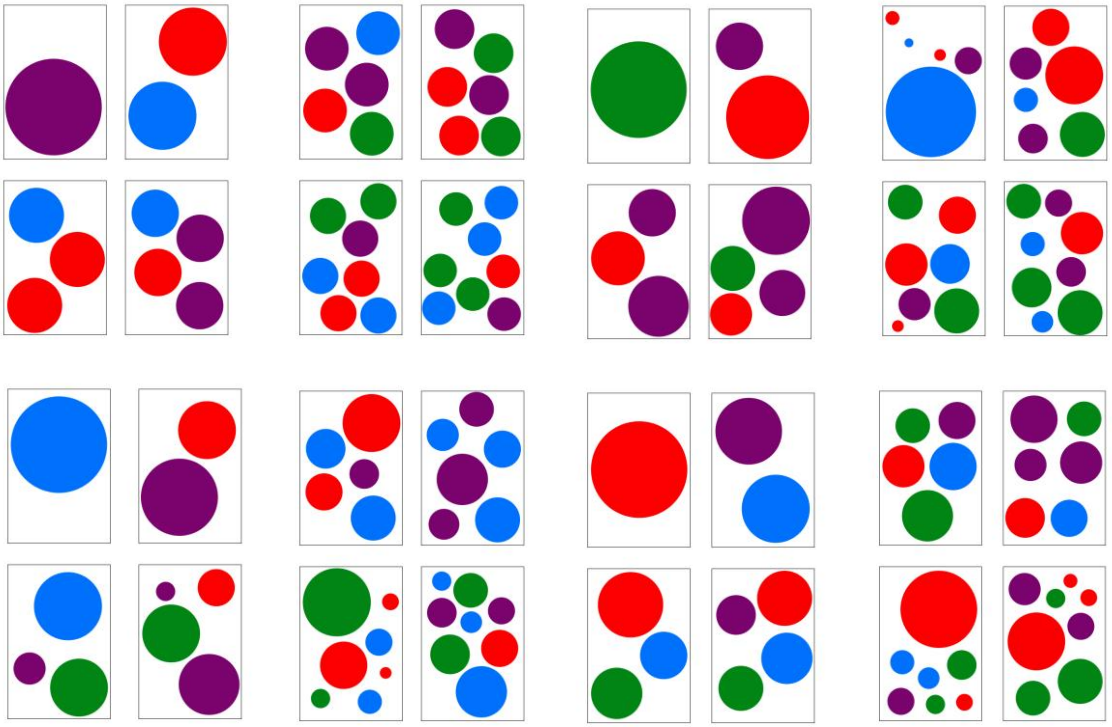
1. 2. Jeu 2



1. 3. Jeu 3

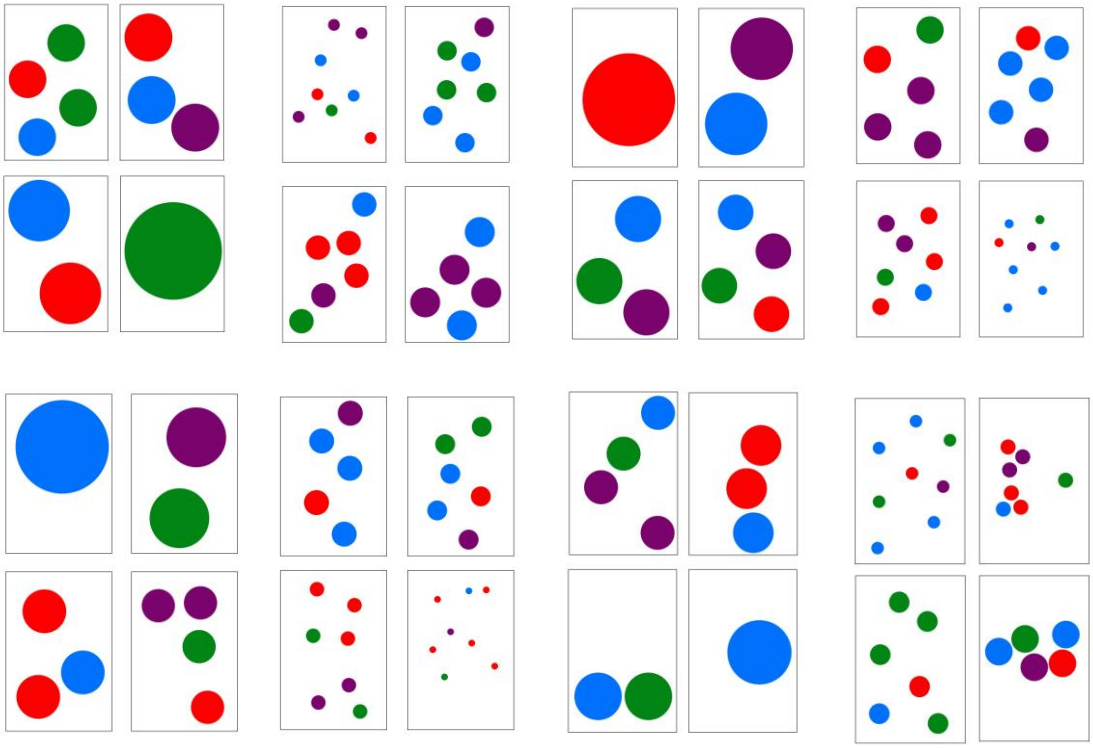


2. Situation neutre : Jeu 4

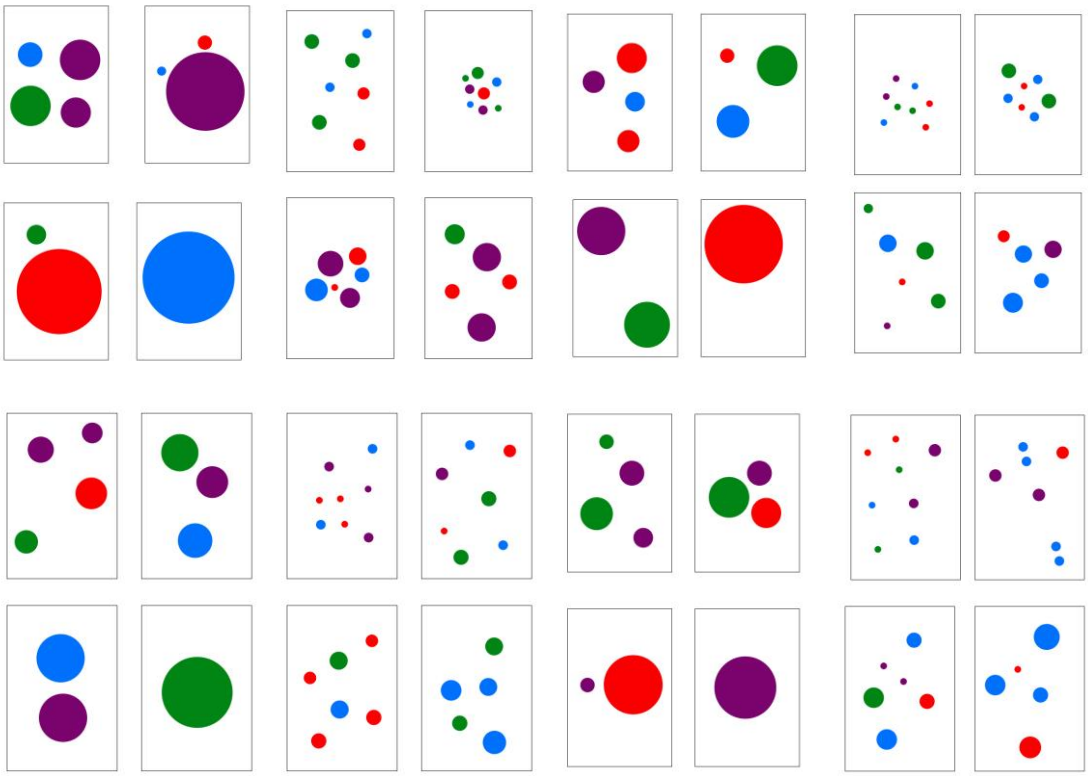


3. Situation non congruente

3. 1. Jeu 5



3. 2. Jeu 6



ANNEXE B : Identifications de représentations digitales (DIGIT)

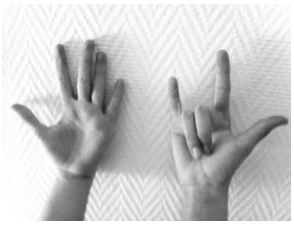
a) Combien y-a-t-il de doigts levés ? Entoure la bonne réponse.



5

3

6



7

8

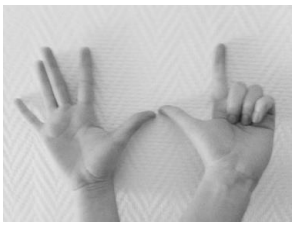
6



5

3

4



6

8

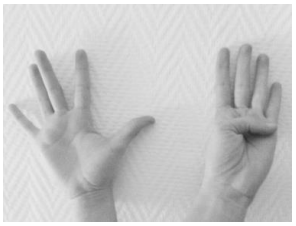
7



6

7

8

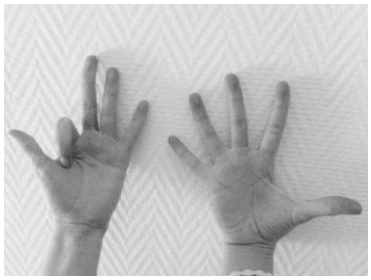
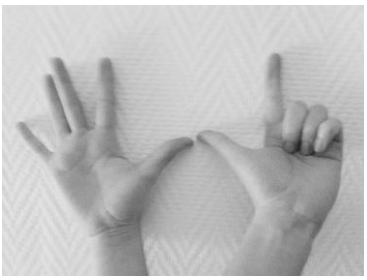
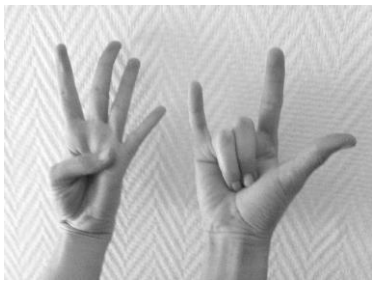
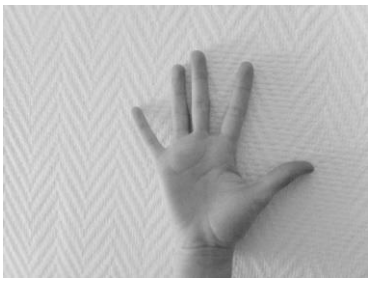


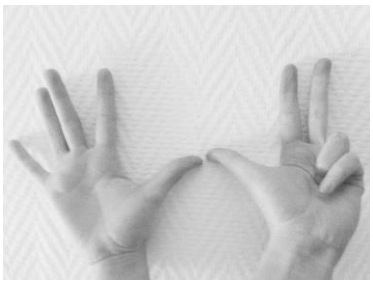
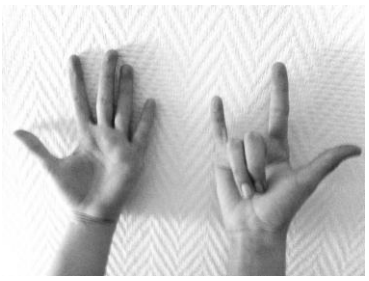
9

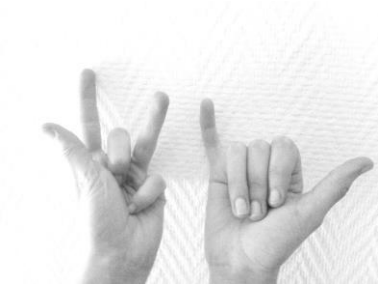
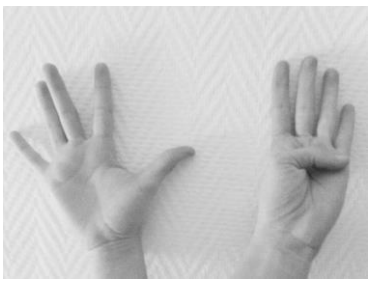
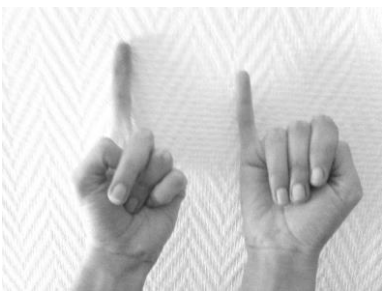
8

7

b) Relie l’image de la colonne de gauche à celle de la colonne de droite qui contient le même nombre de doigts levés.

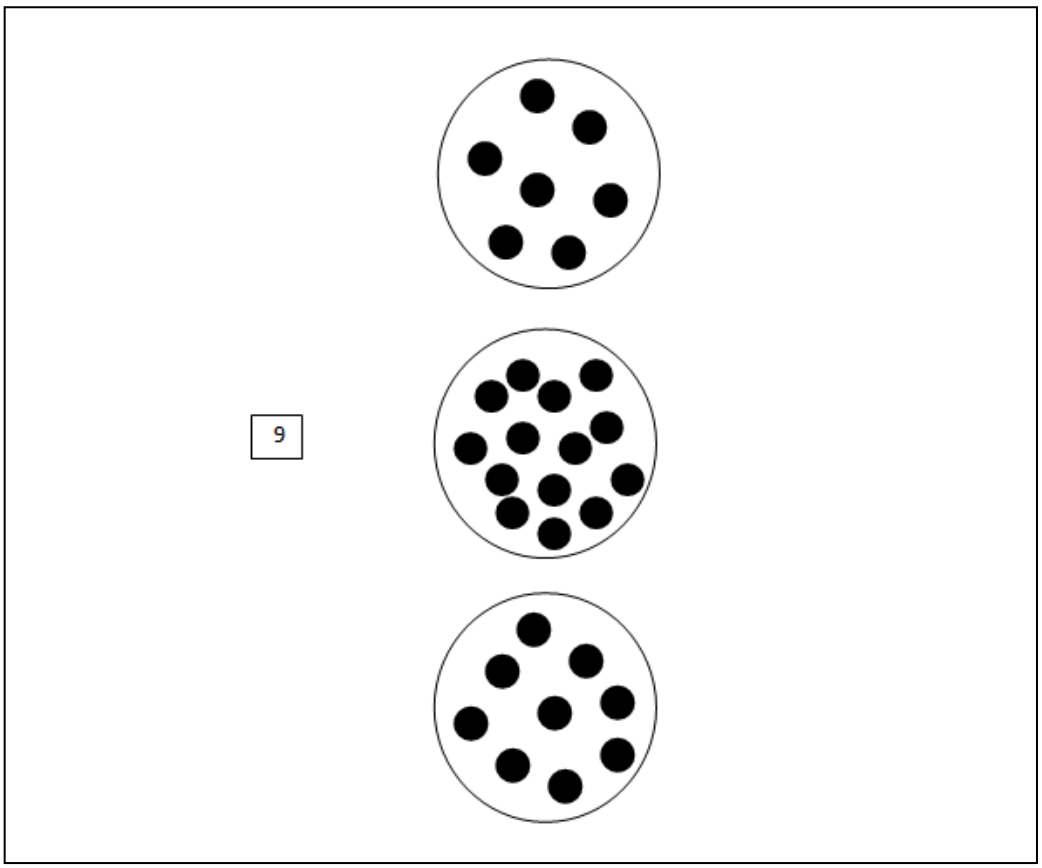





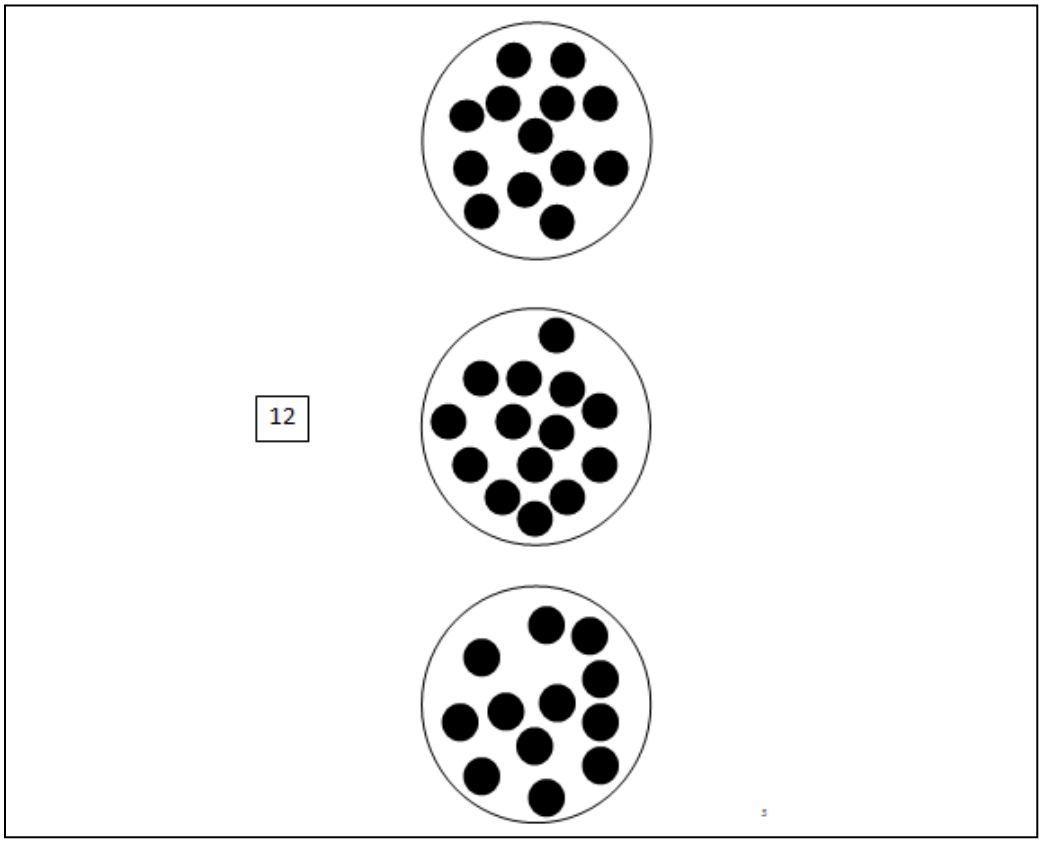



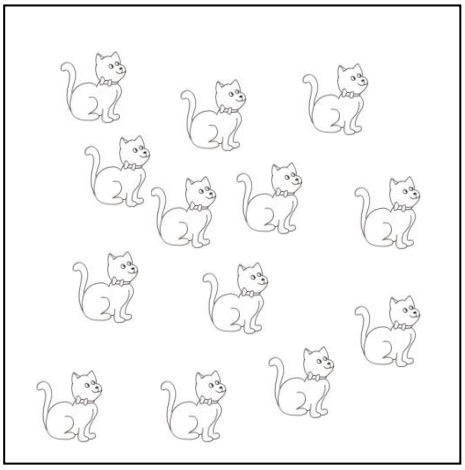

ANNEXE C : Dénombrement (DENOM)

a) Dans les trois cercles, il y a des petits points. À gauche est écrit un nombre. Trouve le cercle qui contient le même nombre de points que le nombre écrit.





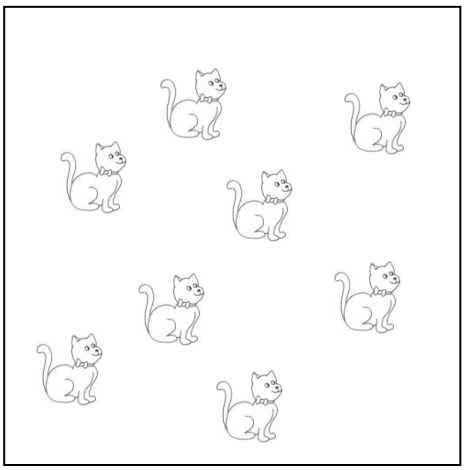
b) Combien y-a-t-il de chats dans le carré ? Entoure la bonne réponse.



7

16

13

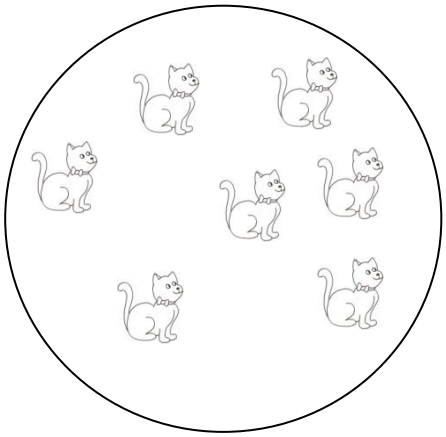


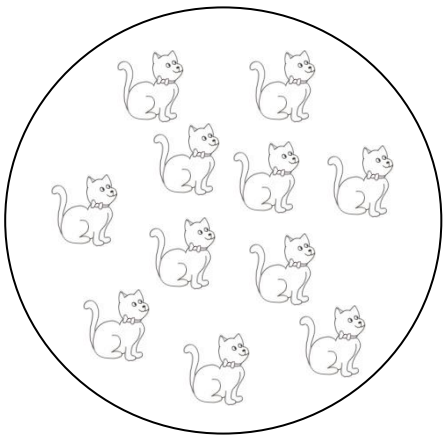
7

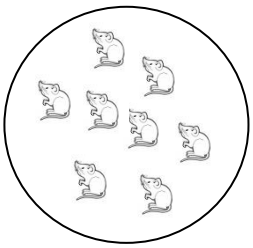
9

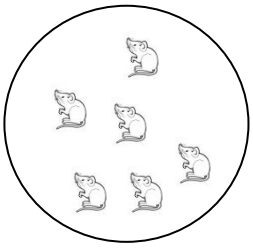
8

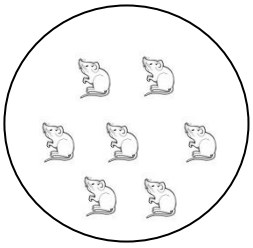
c) Il y a un cercle avec des chats et trois cercles avec des souris. Il faut que chaque chat ait une souris à manger, pas plus, pas moins. Trouve le cercle de souris où il y a exactement pareil de chats. Relie-les.

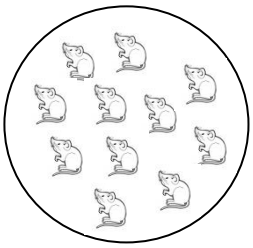


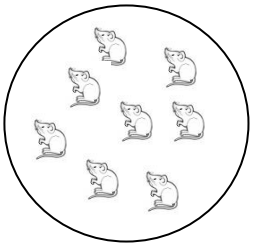


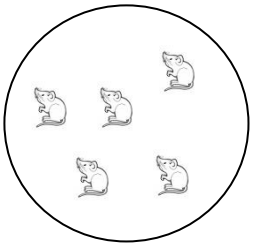




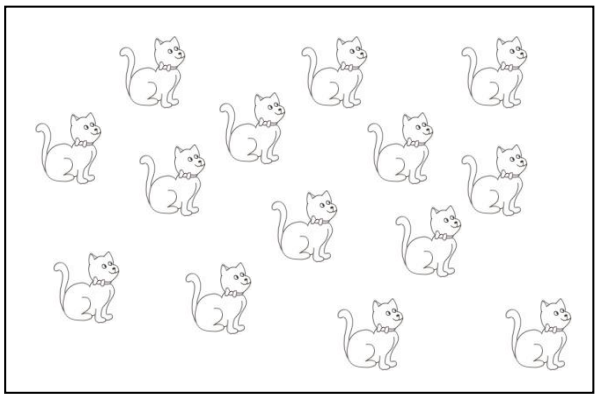


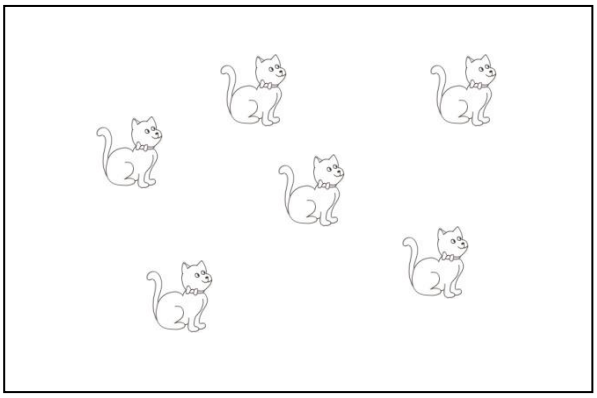






d) Écris le nombre de chats que tu vois.



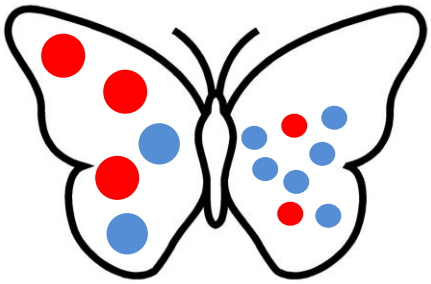


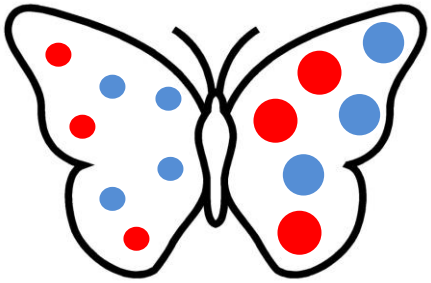
ANNEXE D : Comparaisons (COMP)

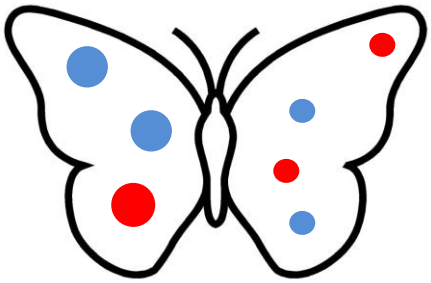
a) Tu dois regarder les deux cartes qui sont côte à côte et entourer celle qui a le nombre qui représente la plus grande quantité, c'est-à-dire celle où il y en a le plus.

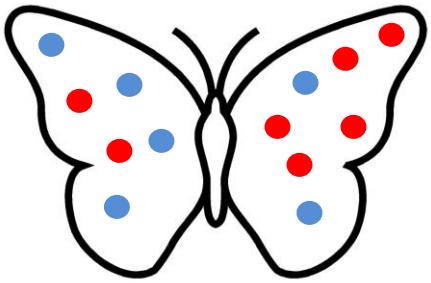
8	5	4	3
5	8	1	5
7	6	5	1
3	4	6	7

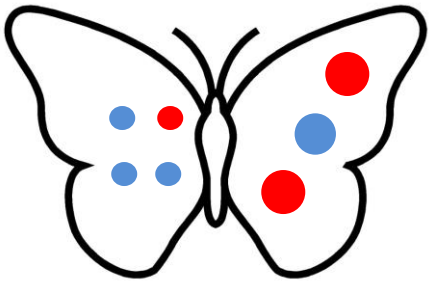
b) Pour chaque papillon, regarde ses deux ailes. Entoure celle qui a le plus de points.

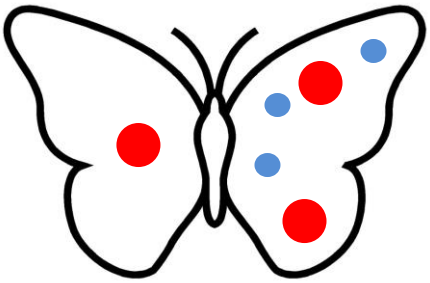


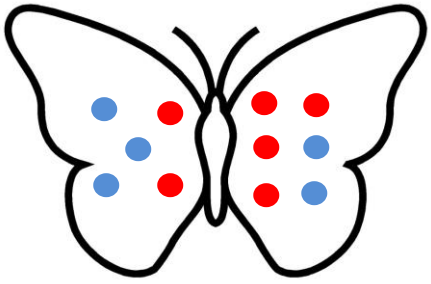












ANNEXE E : Opérations (OPE)

Regardez, il y a un sachet. Il est vide (montrer l'intérieur du sachet). Maintenant regardez combien de jetons je mets dans le sachet. Vous avez bien regardé ? Maintenant regardez ce que je fais (ajout ou retrait de jetons). À présent, dessinez dans ce rectangle (montrer le bon rectangle) le nombre de jetons qu'il y a dans le sachet.

1)

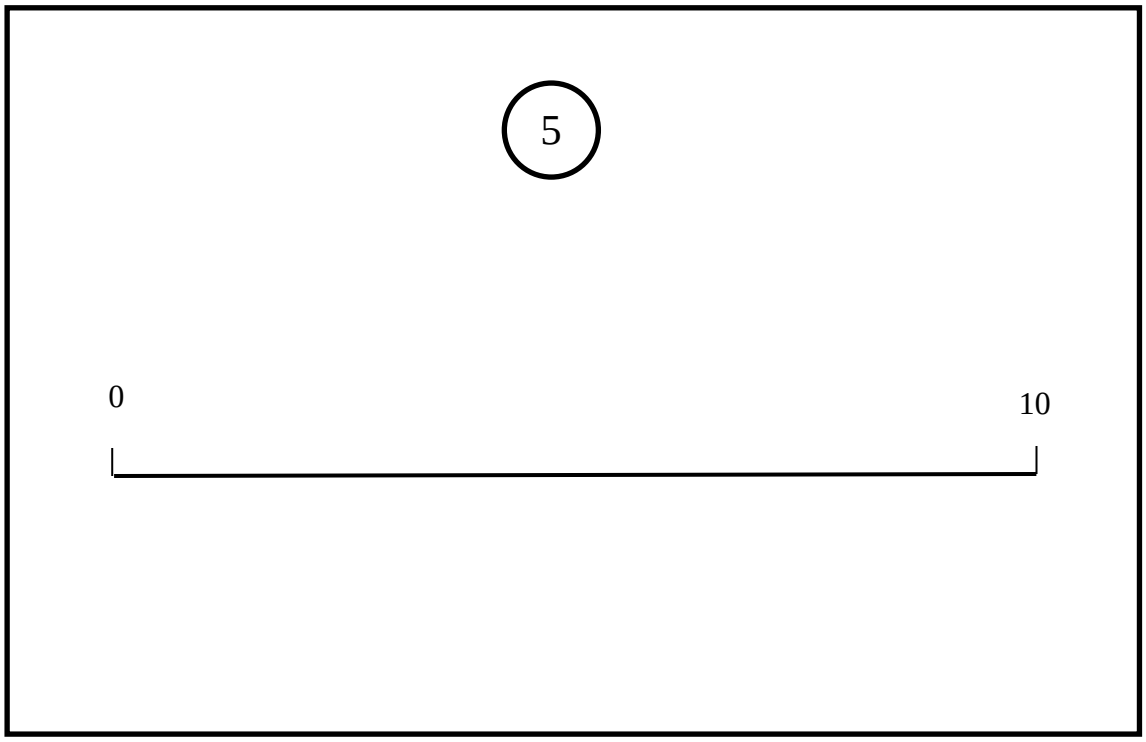
2)

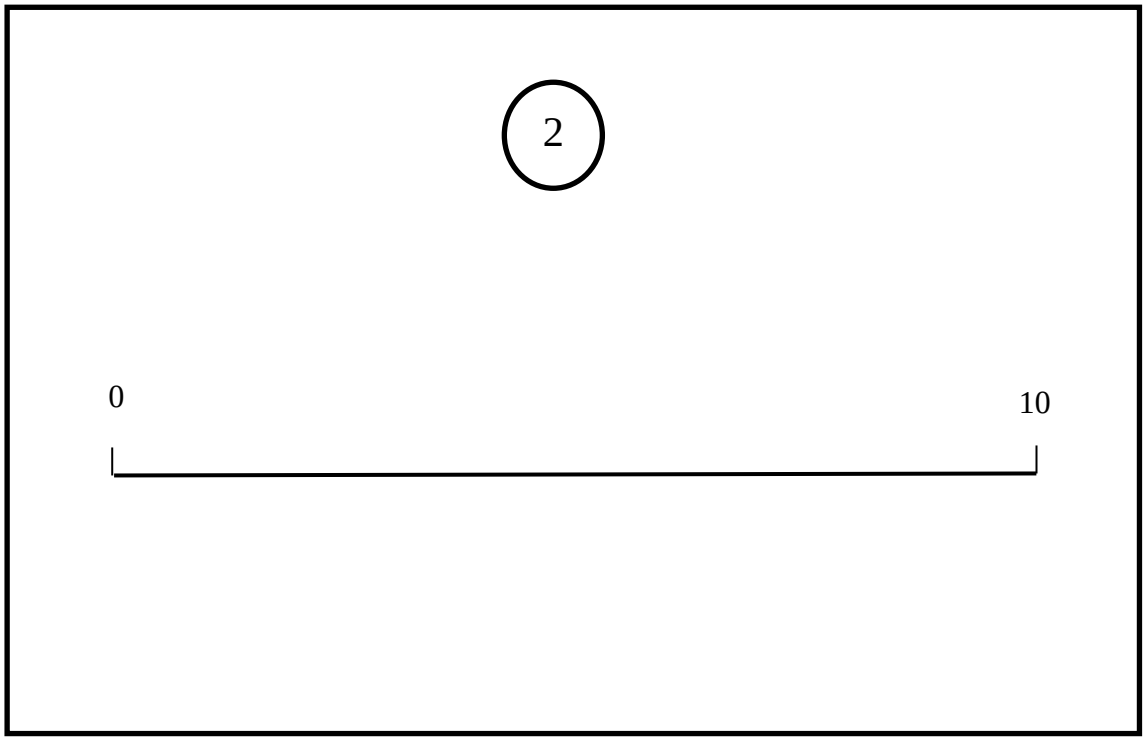
3)

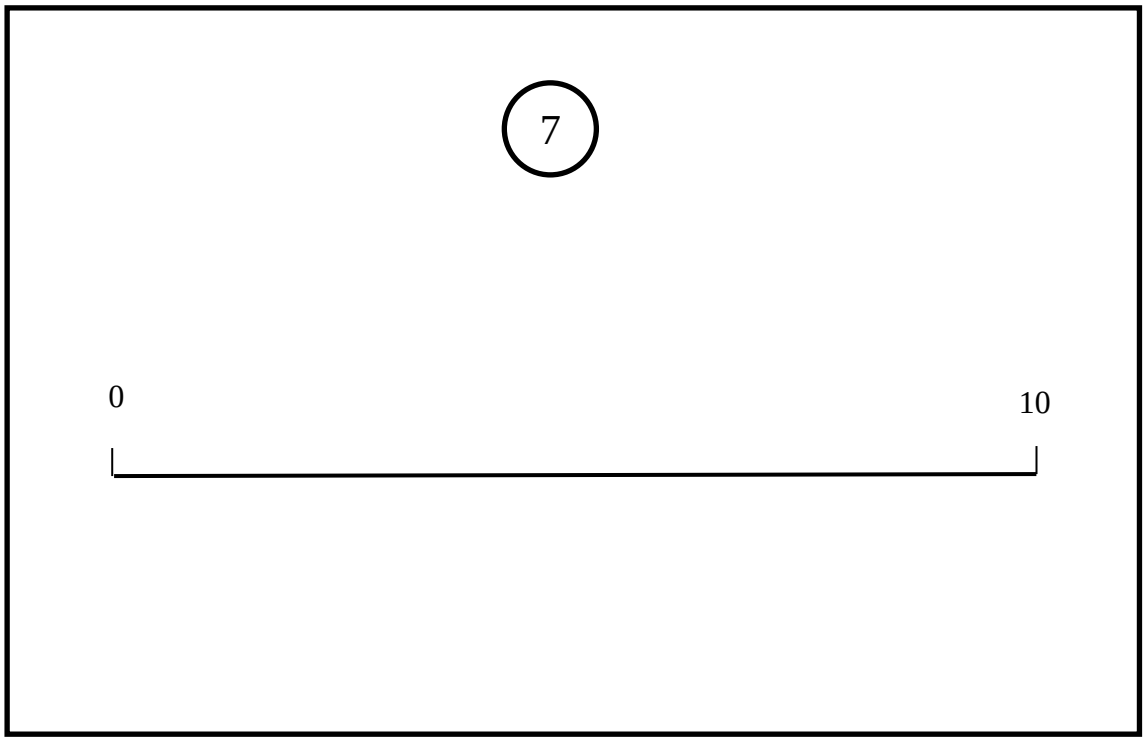
4)

ANNEXE F : Estimations linéaires (LIGN NUM)

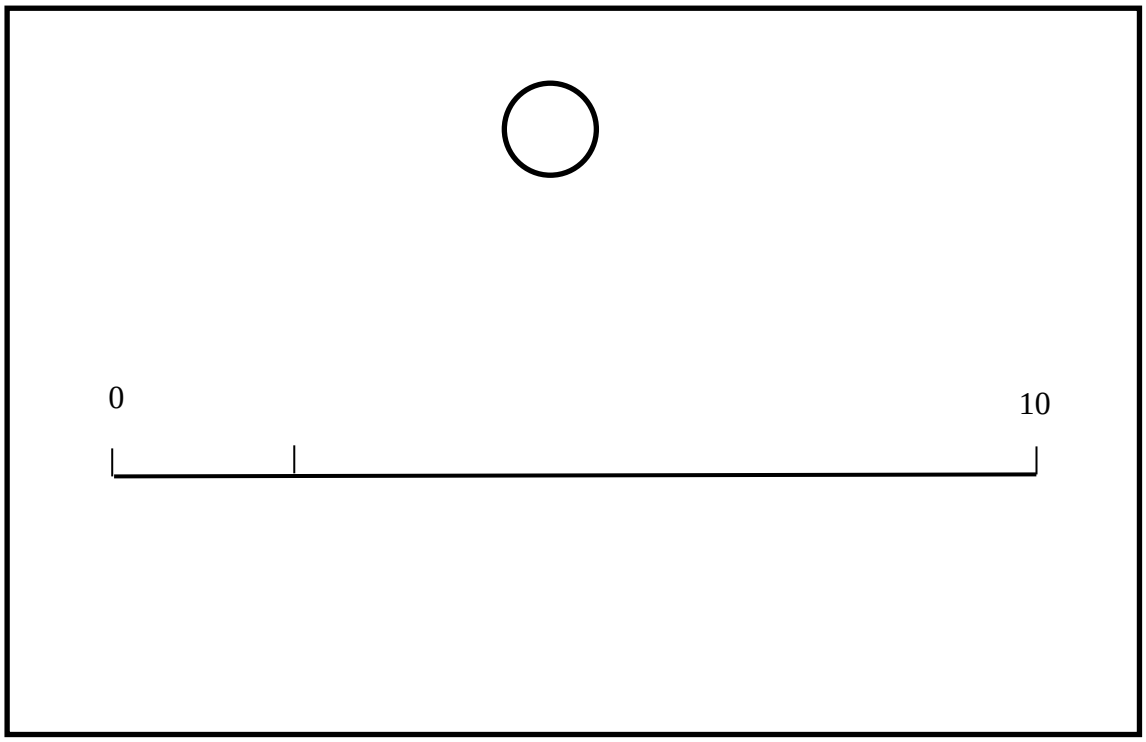
a) Tu as une ligne qui commence à 0 et qui finit à 10. Place sur cette ligne le nombre qui est écrit juste au-dessus.

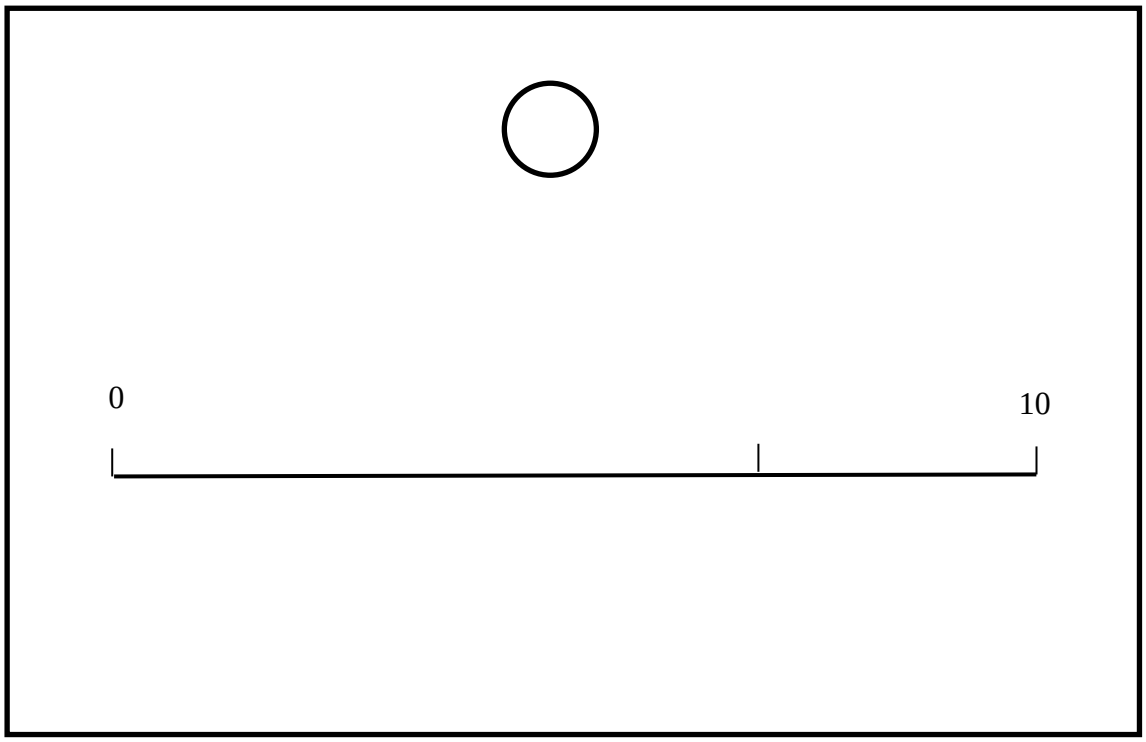


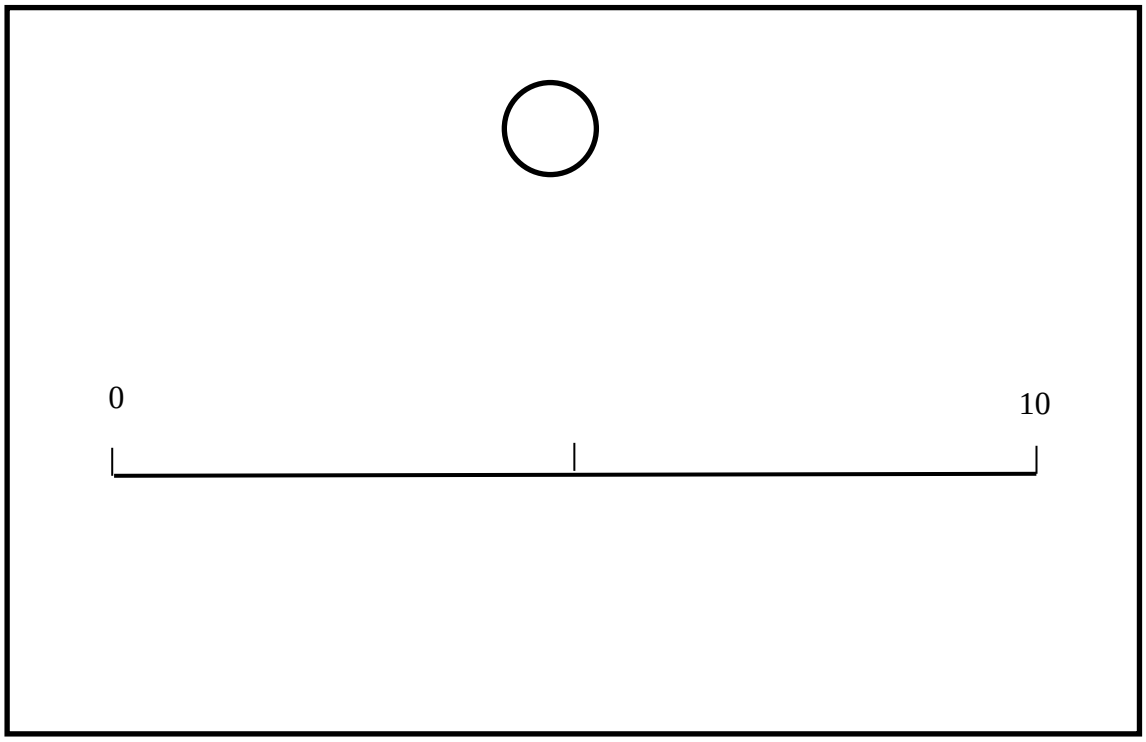




b) Maintenant, tu as un trait sur la ligne. D'après toi, quel est ce nombre ? Écris-le dans le cercle.

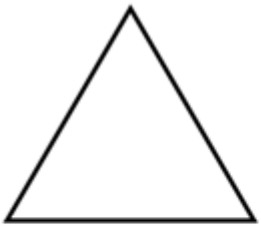


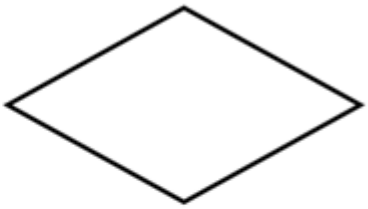

0
10

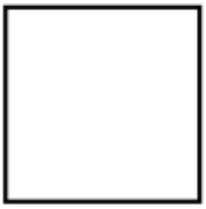

0
10

ANNEXE G : Épreuves de développement

a) Recopie sur ta feuille le triangle, le carré et le losange.





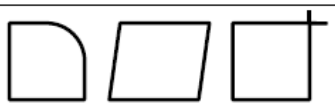
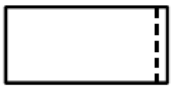
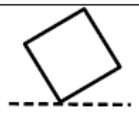


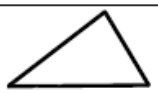
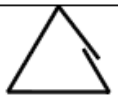
b) Cotation DESDS, figures géométriques

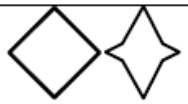
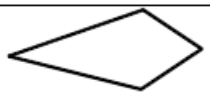
3.2. Copie des figures géométriques

Donner la feuille avec les modèles de carré, triangle et losange dans le sens horizontal et demander à l'enfant de recopier chaque figure dans la case correspondante.

Chaque figure géométrique est cotée sur 3. Score maximum 9

CARRÉ	
1 point si	**Pas de points**
Angle : La figure comporte 4 angles droits (pas d'arrondis, pas d'angles aigus, pas de dépassements)	
Longueur : Les longueurs des côtés sont quasi identiques (côté le plus long < 2 fois le côté le plus court)	
Base : La base du carré est horizontale (l'angle formé entre la base et une horizontale ne doit pas être supérieur à 30 degrés)	

TRIANGLE	
1 point si	**Pas de points**
Angle : La figure comporte 3 angles	
Longueur : La longueur du plus grand côté est inférieure à 1,5 fois celle du côté le plus petit	
Côtés : Les côtés sont des lignes droites ininterrompues	

LOSANGE	
1 point si	**Pas de points**
Angle : Il y a 2 angles aigus opposés et les 2 autres sont obtus	
Longueur : Aucun côté n'est supérieur à 1,5 fois un autre	
Côté : Les 4 côtés sont droits	

c) Cotation du test du dessin de Goodenouth (Dans Weil, 1950)

On donne 1 point pour chaque élément du dessin. Maximum 52 points.

Catégorie A :

Le bonhomme n'est pas reconnaissable (gribouillages, lignes enchevêtrées). 0
S'il y a un certain contrôle dans les lignes (triangles, cercles, etc.). . . . 1
Lorsque les éléments sont reconnus comme parties du corps humain, intégrer le dépouillement dans la catégorie B.

Catégorie B :

Il n'y a pas de demi-points; chaque élément de figure compte pour 1 point.

1. *Tête présente.*
2. *Jambes présentes.* Les deux de face ou une de profil. S'il n'y a qu'une jambe avec deux pieds le résultat est positif 1
3. *Bras présents.* Les doigts seuls ne suffisent pas, sauf au cas où un espace est laissé entre ceux-ci et le corps. 1

4a. *Tronc présent*. 1
4b. *Longueur* du tronc supérieure à la largeur. La mesure se fait à partir des points les plus opposés en longueur et en largeur 1
4c. *Épaules nettement indiquées* 1
5a. *Bras et jambes* attachés à un point quelconque du tronc. 1
5b. *Bras et jambes* attachés à des points corrects du tronc. Si 4c n'est pas réussi, les bras doivent se trouver à l'endroit exact où se trouveraient les épaules, si elles avaient été indiquées. 1
6a. *Cou présent* 1
6b. Contour du cou formant une ligne continue avec ceux de la tête, du tronc où des deux réunis 1
7a. *Yeux présents.* L'un des deux yeux ou les deux sont nécessaires. . . 1
7b. *Nez présent* 1
7c. *Bouche présente*. 1
7d. *Nez et bouche* représentés par deux traits; les deux lèvres indiquées . 1

7e. *Narines représentées*. 1
8a. *Cheveux présents* 1
8b. *Cheveux bien placés* sans que la tête soit vue en transparence. . . 1
9a. *Présence de vêtements*. Une des premières manifestations de vêtement est constituée par les boutons. Simples hachures et transparence admis. 1
9b. *Deux parties de vêtements* sans transparence (chapeau et pantalon par ex.). Des boutons seuls sans autres indications de la veste ne sont pas admis. 1
9c. *Dessin complet* du vêtement libre de toute transparence. Manches et pantalons doivent être représentés 1
9d. *Quatre articles vestimentaires* bien marqués. 1
Par exemple : chapeau, souliers, veste, chemise, faux-col, cravate, ceinture ou bretelles, pantalons, etc.
Ces articles doivent avoir leurs signes caractéristiques. Exemple : des chaussures doivent avoir des lacets, un talon, etc.
9e. *Costume complet sans défaut*. Commerçant, soldat, etc.. 1
Le chapeau, les manches, les pantalons et les souliers doivent obligatoirement être représentés.
10a. *Doigts présents*. 1
Ils doivent être présents sur les deux bras. Le nombre n'importe pas.
10b. *Nombre correct de doigts*. 1
Sur chaque main lorsque ce sont les deux mains qui sont représentées, sinon sur celle qui est apparente.
10c. *Détails corrects des doigts*. 1
Deux dimensions, la longueur plus grande que la largeur. S'il n'y a qu'une main, tirer les conclusions sur celle-ci.
10d. *Opposition du pouce*. 1
Nette différenciation entre le pouce et les doigts. La règle est stricte. Le point est accordé lorsque l'un des doigts lapereaux est nettement plus court que chacun des autres.
10e. *Mains distinctes des doigts et des bras* 1
11a. *Bras articulés aux épaules, aux coudes ou aux deux* 1
11b. *Articulation des jambes* aux genoux, aux hanches ou aux deux . . . 1
12a. *Proportion de la tête*. 1
Pas plus de la moitié du tronc, pas moins de 1/10 du tronc.
12b. *Proportion des bras* 1
Égaux à la longueur du tronc ou un peu plus long, mais en aucun cas n'atteignant les genoux.
12c. *Proportion des jambes*. 1
Pas moins longues que le tronc et pas plus que deux fois le tronc.
12d. *Proportion des pieds*. 1
Les pieds et les jambes doivent être vus en deux dimensions. Longueur du pied plus grande que la hauteur. Elle ne doit pas dépasser le tiers de la jambe ni avoir moins d'un dixième de la hauteur totale de la jambe.
12e. *Deux dimensions* 1
Les deux jambes et les deux bras ont deux dimensions.

13. *Présence du talon*. 1
14a. *Coordination motrice par le contour* 1
14b. *Coordination motrice* par les articulations. 1
14c. *Coordination motrice* par articulation de la tête. 1
14d. *Coordination motrice* des articulations du tronc. 1
14e. *Coordination motrice* des bras et des jambes 1
14f. *Coordination motrice* de la physionomie 1
15a. *Présence des oreilles*. 1
15b. *Présence des oreilles* avec bonnes proportions et positions 1
16a. *Détails des yeux*, cils, sourcils ou les deux 1
16b. *Détails des yeux*. Présence des pupilles. 1
16c. *Détails des yeux*. Proportions. 1
La longueur plus grande que la hauteur si les yeux sont vus de face. 1
16d. *Détails des yeux. Brillance* 1
17a. *Menton et front présents* 1
17b. *Menton nettement distinct* de la lèvre inférieure 1
18a. *Tête, tronc et pieds de profil*. 1
Une erreur peut être tolérée (transparence, position fausse de bras ou de jambes).
18b. *Profil parfait* sans les erreurs tolérées précédemment 1

ANNEXE H : Conservation (CONS)

4.C Conservation numérique (2 items) → GSM/3M période 2 et supérieur

Faites passer systématiquement tous les items.

Est-ce que c'est toi qui as le plus de jetons, est-ce moi qui en ai le plus ou bien avons-nous tous les deux le même nombre de jetons ?

Est-ce que tu peux m'expliquer comment tu sais que …

Et maintenant, est-ce que c'est toi qui as le plus de jetons, est-ce moi qui en ai le plus ou bien avons-nous tous les deux le même nombre de jetons ?

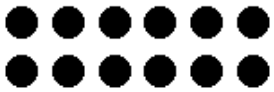
	4.C.1				4.C.2			
	Equivalence des deux rangées		Elargissement d'une rangée		Equivalence des deux rangées		Jetons en tas	
Qui a le plus de jetons ? (1ère essai)	Moi ❑	Toi ❑ = ❑	Moi ❑	Toi ❑ = ❑	Moi ❑	Toi ❑ = ❑	Moi ❑	Toi ❑ = ❑
Qui a le plus de jetons ? (2ème essai)	Moi ❑	Toi ❑ = ❑	Moi ❑	Toi ❑ = ❑	Moi ❑	Toi ❑ = ❑	Moi ❑	Toi ❑ = ❑
Pourquoi ?								
	Justification empirique		❑ recomptage ❑ mise en correspondance ❑ autre :		**Justification empirique**		❑ recomptage ❑ mise en correspondance ❑ autre :	
	Justification logique		❑ invariance de la quantité ❑ réversibilité ❑ autre :		**Justification logique**		❑ invariance de la quantité ❑ réversibilité ❑ autre :	
	Notation		2 - 1 - 0		**Notation**		2 - 1 - 0	

Additionnez les scores des sous-épreuves 4.C.1 et 4.C.2 pour obtenir le score total de l'épreuve 4.C : Conservation numérique.

Total 4.C _____

Représentations des conditions :

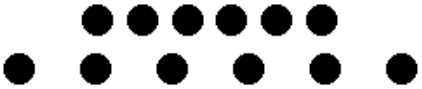
Équivalence des deux rangées :



Rangée de l'enfant

Rangée de l'examinateur

Élargissement d'une rangée :



Rangée de l'enfant

Rangée de l'examinateur

Jetons en tas :



Rangée de l'enfant



Rangée de l'examinateur

EFFETS D'UN ENTRAÎNEMENT SUR LES COMPÉTENCES ARITHMÉTIQUES D'ENFANTS DE GRANDE SECTION DE MATERNELLE

L'objectif de notre recherche était d'améliorer les compétences arithmétiques des enfants de Grande Section de Maternelle et notamment de faciliter l'autonomisation des quantités discrètes par rapport aux quantités continues de façon implicite et ludique. Nous avons donc créé un jeu de bataille auquel jouait notre groupe expérimental (BAT). Un premier groupe contrôle recevant un entraînement digital (DOI) et un second groupe contrôle non entraîné poursuivant les activités scolaires habituelles (CON) ont été constitués. La comparaison de leurs performances avant et après les entraînements, grâce au test Khi-deux, a permis d'observer l'amélioration significative des performances du groupe BAT uniquement en dénombrement par rapport aux groupes CON et DOI. Ainsi, le jeu de bataille n'a pas permis l'automatisation du dénombrement car nous n'avons pas noté d'amélioration en conservation. L'efficacité de ce jeu reste à démontrer. Toutefois, cette étude serait à reproduire sur une plus grande population afin de confirmer nos résultats.
Mots-clés : compétences arithmétiques, enfants, entraînements, dénombrement, conservation.

The purpose of our research was to design a card game in order to improve kindergarten children's arithmetic performance, particularly the dissociation between perceptual variables and numerosity. Unselected children were subdivided into three groups: a control group (CON), a group receiving digital training (DOI) and a group playing with our card game (BAT). To start with, all children were submitted to the ANOVA test to confirm they had similar levels of competence. We then used the nonparametric chi-squared test to compare their performance on three sets of tests : a pre-test (before training), a post-test 1 (immediate) and a post-test 2 (delayed). Results to the chi-squared test show no significant difference between performance in the control group and in the trained groups. The BAT group however achieves significantly better in the enumeration test compared to the CON and DOI groups. To conclude, our card game does enhance enumeration skills but not really the numerosity-perception interference. A larger scale study is now needed to confirm our results.
Keywords : arithmetic skills, children, trainings, counting, conservation.

Nombre de pages : 60 pages rédactionnelles et 20 pages d'annexes
Nombre de références bibliographiques : 68