



HAL
open science

Impact d'un entraînement en maternelle des praxies digitales et de la ligne numérique sur le développement des compétences liées au nombre

Floriane Le Scanf

► To cite this version:

Floriane Le Scanf. Impact d'un entraînement en maternelle des praxies digitales et de la ligne numérique sur le développement des compétences liées au nombre. Médecine humaine et pathologie. 2018. dumas-01828940

HAL Id: dumas-01828940

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01828940>

Submitted on 3 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRE DE RECHERCHE présenté en vue de l'obtention du
**CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE
ET DU GRADE DE MASTER 2 D'ORTHOPHONIE**

Présenté et soutenu le 21 juin 2018 par

LE SCANF Floriane

Née le 12 avril 1992 à Kourou (Guyane française)

**IMPACT D'UN ENTRAINEMENT EN MATERNELLE
DES PRAXIES DIGITALES ET DE LA LIGNE NUMERIQUE
SUR LE DEVELOPPEMENT DES COMPETENCES LIEES AU
NOMBRE**

Directeur de Mémoire : **THUBE-POLI Isabelle,**

Orthophoniste

Co-directeur de Mémoire : **SCHON Ghislaine,**

Orthophoniste

Nice

2018

MÉMOIRE DE RECHERCHE présenté en vue de l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE
ET DU GRADE DE MASTER 2 D'ORTHOPHONIE

Présenté et soutenu le 21 juin 2018 par

LE SCANF Floriane

Née le 12 avril 1992 à Kourou (Guyane française)

IMPACT D'UN ENTRAÎNEMENT EN MATERNELLE
DES PRAXIES DIGITALES ET DE LA LIGNE NUMERIQUE
SUR LE DEVELOPPEMENT DES COMPETENCES LIEES AU
NOMBRE

Directeur de Mémoire : **THUBE-POLI Isabelle,**

Orthophoniste

Co-directeur de Mémoire : **SCHON Ghislaine,**

Orthophoniste

Nice

2018

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ma directrice de mémoire, Mme THUBE-POLI, orthophoniste et professeure à l'école d'orthophonie de Nice, pour avoir aiguillé mes recherches, m'avoir encouragée et soutenue dans mon travail.

Je remercie également ma co-directrice, Mme SCHON, orthophoniste et professeure à l'école d'orthophonie de Nice, plus particulièrement pour ses cours qui ont participé à l'élaboration de mon mémoire.

Je tiens à remercier les personnes suivantes :

- Mes professeurs qui ont enrichi mes connaissances de leurs cours et de leurs grandes expériences cliniques tout au long de ces cinq années d'études.
- Mmes LEBEL et MORTREUX, pour leur gentillesse, leur bienveillance et leurs conseils avisés.
- Mme GARCIA et ses excellents conseils pour planifier ce mémoire.
- Mmes Stéphanie GENESTOUX et Gaëlle LOTTIER, enseignantes des deux classes sur lesquelles porte ce mémoire, et leurs classes respectives, pour l'intérêt porté à mon travail et leur investissement sans faille, ainsi que l'équipe éducative.
- Les enfants de cette étude : Asmaty, Atem, Fayna, Imrane, Lima, Melika, Malek et Mathéo, pour leur implication dans les longues évaluations qu'ils ont passées.

Je remercie mes camarades et surtout Alixia, Camille, Caroline, Céline, Pauline, Marie-Alix et Lauriane pour leur soutien, leur gentillesse et leur amitié.

Je remercie tous mes proches pour leurs encouragements, leur soutien, leur bienveillance et leur indéfectible confiance, et tout particulièrement mes grands-parents.

Je remercie Hervé, mon parrain, dont le courage et la force incroyables m'ont beaucoup appris et m'ont enseigné la persévérance.

Je remercie enfin, mes parents qui, malgré la grande distance nous séparant, ont toujours été présents. Je n'ai que ce mot pour leur dire tout mon respect, ma tendresse et ma reconnaissance : Merci.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS..... | 3 |
| SOMMAIRE | 4 |
| INTRODUCTION..... | 8 |
| PARTIE THEORIQUE | 10 |
| I.LES NOMBRES : UNE REPRESENTATION LINEAIRE | 11 |
| 1. LE MODELE DU TRIPLE CODE DE DEHAENE ET LES LIENS NEURO-ANATOMIQUES | 11 |
| a. <i>Une triple représentation du nombre</i> | 11 |
| b. <i>... aux substrats neuronaux définis</i> | 12 |
| c. <i>Des capacités communes exploitées différemment : la distinction des cultures</i> | 13 |
| 2. LA QUANTITE : UNE REPRESENTATION ANALOGIQUE | 14 |
| a. <i>L'espace dans les nombres</i> | 14 |
| b. <i>La ligne numérique mentale : une construction évolutive</i> | 15 |
| c. <i>Les caractéristiques de la construction d'une ligne numérique linéaire</i> | 17 |
| d. <i>Les entraînements : tremplin aux performances de la ligne numérique et des compétences mathématiques</i> | 19 |
| II.LA CORRELATION ENTRE LES DOIGTS ET LES NOMBRES | 21 |
| 1. POSTULATS DES LIENS ENTRE DOIGTS ET NOMBRES | 21 |
| a. <i>Hypothèses passées</i> | 21 |
| b. <i>Nouvelles théories</i> | 22 |
| 2. LE ROLE DES DOIGTS DANS LE DEVELOPPEMENT DE LA COGNITION MATHEMATIQUE | 22 |
| a. <i>L'importance des sensations : les perceptions tactiles</i> | 22 |
| b. <i>Les doigts : un outil de représentation analogique du système décimal</i> | 23 |
| c. <i>Un outil visuel utile mais non indispensable</i> | 24 |
| 3. UN SOUTIEN MNESIQUE CHEZ L'ENFANT ET CHEZ L'ADULTE QU'IL CONVIENDRAIT D'UTILISER | 26 |
| PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES | 28 |
| I..... PROBLEMATIQUE | 29 |
| II.HYPOTHESE GENERALE | 30 |
| III.HYPOTHESES SECONDAIRES | 30 |
| PARTIE EXPERIMENTALE | 31 |

| I.METHODE | EXPERIMENTALE | ET | POPULATION |
|------------------|---|-----------|-------------------|
| | | | 32 |
| 1. | CRITERES D'INCLUSIONS | | 33 |
| 2. | CRITERES DE NON-INCLUSION | | 33 |
| 3. | CRITERES D'EXCLUSION | | 33 |
| II. | | | MATERIEL |
| | | | 34 |
| 1. | LES EPREUVES LIEES AUX ENTRAINEMENTS | | 35 |
| a. | <i>Les épreuves d'estimation linéaire (chronométrées)</i> | | 35 |
| b. | <i>Les épreuves d'identification et comparaisons digitales (chronométrées)</i> | | 36 |
| c. | <i>L'épreuve de production d'un nombre digital</i> | | 37 |
| d. | <i>L'épreuve d'imitation digitale</i> | | 38 |
| e. | <i>L'épreuve de comptage sur les doigts</i> | | 38 |
| f. | <i>L'épreuve de gnosies digitales</i> | | 38 |
| 2. | LES EPREUVES INDIRECTEMENT LIEES AUX ENTRAINEMENTS | | 39 |
| a. | <i>L'épreuve de coordination doigts-pouce</i> | | 39 |
| b. | <i>L'épreuve de séquence de Luria</i> | | 39 |
| c. | <i>L'épreuve de rythme</i> | | 39 |
| d. | <i>L'épreuve de fonctionnalité du nombre</i> | | 40 |
| e. | <i>L'épreuve de comparaisons de collections de points et de symboles indo-arabes (chronométrée)</i> 40 | | 40 |
| f. | <i>L'épreuve de comptage oral</i> | | 41 |
| g. | <i>L'épreuve de copie de chiffres et de nombres (chronométrée)</i> | | 41 |
| h. | <i>L'épreuve de copie de figures géométriques (chronométrée)</i> | | 42 |
| i. | <i>L'épreuve de reconnaissance immédiate de collections : subitizing</i> | | 42 |
| j. | <i>L'épreuve d'estimations de collections</i> | | 42 |
| k. | <i>L'épreuve de dénombrement</i> | | 43 |
| l. | <i>L'épreuve de comparaisons de collections</i> | | 44 |
| m. | <i>L'épreuve de comptage erroné</i> | | 44 |
| n. | <i>Les épreuves de logique : classification et sériation</i> | | 44 |
| o. | <i>Les épreuves de transcodages</i> | | 45 |
| p. | <i>L'épreuve d'opérations</i> | | 47 |
| q. | <i>L'épreuve de problèmes</i> | | 47 |
| 3. | LES EPREUVES MNESIQUES | | 48 |
| 4. | L'EPREUVE « CONTROLE » : LEXIQUE EN PRODUCTION ET RECEPTION | | 49 |
| 5. | LE MATERIEL D'ENTRAINEMENT | | 49 |
| a. | <i>L'entraînement digital</i> | | 49 |
| b. | <i>L'entraînement de la ligne numérique</i> | | 49 |

| | | |
|-----------------------------------|---|-----------|
| III. | PROCEDURE | 51 |
| 1. | EPREUVES | 51 |
| 2. | ENTRAINEMENTS | 52 |
| a. | <i>Entrainement digital</i> | 52 |
| b. | <i>Entrainement de la ligne numérique</i> | 54 |
| PRESENTATION DES RESULTATS | | 56 |
| I. | ANALYSE DES PERFORMANCES GLOBALES | 57 |
| II. | ANALYSE DES PERFORMANCES PAR EPREUVES | 60 |
| 1. | LES GAINS AUX EPREUVES MATHEMATIQUES | 60 |
| 2. | LES EPREUVES LIEES AUX ENTRAINEMENTS | 61 |
| 3. | LES EPREUVES INDIRECTEMENT CONCERNEES PAR LES ENTRAINEMENTS | 63 |
| 4. | PROGRESSION DE LA CHAINE NUMERIQUE VERBALE | 64 |
| 5. | L'EVOLUTION DES TEMPS D'EXECUTION | 65 |
| 6. | LES EPREUVES MNESIQUES | 65 |
| 7. | L'EPREUVE CONTROLE : LEXIQUE EN RECEPTION ET PRODUCTION | 67 |
| III. | PROGRESSION AU COURS DES TESTS DU GROUPE ENTRAINE | 68 |
| DISCUSSION DES RESULTATS | | 70 |
| I. | INTERPRETATION DES RESULTATS EN LIEN AVEC LES HYPOTHESES DE RECHERCHE | 71 |
| 1. | EFFET DES ENTRAINEMENTS SUR LES PERFORMANCES GLOBALES | 71 |
| 2. | LES EPREUVES LIEES AUX ENTRAINEMENTS | 72 |
| a. | <i>Effet des entrainements sur les performances à l'épreuve d'estimation linéaire</i> | 72 |
| b. | <i>Effet des entrainements sur les performances digitales</i> | 73 |
| 3. | LES EPREUVES INDIRECTEMENT LIEES AUX ENTRAINEMENTS | 74 |
| 4. | LA PROGRESSION DES NOTES | 75 |
| 5. | L'EVOLUTION A L'EPREUVE LEXICALE | 75 |
| 6. | DURABILITE DES ENTRAINEMENTS | 75 |
| 7. | DISCUSSION SUR L'HYPOTHESE GENERALE | 76 |
| 8. | LA FONCTIONNALITE DU NOMBRE | 76 |
| II. | ANALYSE QUALITATIVE | 76 |
| 1. | LES COMPORTEMENTS | 76 |
| 2. | LES EFFETS SUR LES ENTRAINEMENTS ET LES PERFORMANCES | 77 |
| III. | LIMITES DE L'ETUDE | 79 |
| 1. | HYPOTHESE ET PROBLEMATIQUE | 79 |
| 2. | POPULATION | 80 |
| 3. | METHODE EXPERIMENTALE : LES ENTRAINEMENTS | 80 |
| 4. | | 82 |
| 5. | MATERIEL : LES EPREUVES | 83 |

| | | |
|--------------------------------------|-----------|------------------|
| IV.APPORTS | DE | L'ETUDE |
| | | 84 |
| 1. APPORTS PERSONNELS | | 84 |
| 2. APPORTS POUR LA PROFESSION | | 84 |
| V.PERSPECTIVES | DE | RECHERCHE |
| | | 86 |
| CONCLUSION | | 88 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 89 |
| TABLE DES ILLUSTRATIONS | | 95 |
| ANNEXES | | 97 |

INTRODUCTION

Les mathématiques, vaste domaine d'appréhension du monde, à la fois intuitives et réglementées, ne cessent d'interroger et surprendre. Traversant le temps et l'histoire des cultures et civilisations, elles ont structuré –et continuent de le faire- le monde et la pensée humaine. Enseignées à l'école, dès le plus jeune âge, pour contribuer à une maturation de logique, de raisonnement et d'outils nécessaires au quotidien, elles sont devenues indispensables.

Malgré tous ses efforts, cependant, la France déplore des résultats en baisse, au fil des années, quant aux performances de ses élèves dans ce domaine. Le Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves (PISA) révèle des résultats inquiétants en terme de performances en mathématiques. L'étude TIMSS (Trends In Mathematics and Science Study), de la même manière, a révélé en 2015 un décrochage alarmant. La France obtient ainsi la dernière place en mathématiques au sein de l'Union européenne et guère davantage sur l'International.

De nombreuses suppositions pouvant expliquer ceci ont été proposées : la mise en place anticipée de notions trop avancées pour des jeunes cerveaux en maturation, les différences de parité et socio-culturelles, le manque de concret de la matière, le désintérêt général, le manque de moyens et l'impuissance des enseignants face aux élèves en difficulté, etc. Néanmoins aucune de ces théories ni d'éventuelles solutions ne font consensus.

Cependant, il est admis que l'intérêt pour les mathématiques doit être sollicité au plus tôt et que la manipulation et l'expérimentation sont des atouts de premier ordre pour appréhender ce domaine.

En cabinet orthophonique, les demandes de bilan et de rééducation de la cognition mathématique s'avèrent tardives. Or, les dyscalculies dites primaires ou secondaires seraient liées à un déficit du sens du nombre et/ou des liens entre les représentations analogique, symbolique verbale et symbolique visuelle. Les systèmes numériques précis (SNP) et approximatifs (SNA) seraient selon les chercheurs innés mais leur précision s'enrichirait avec l'âge et le développement des représentations symboliques.

Des déficits pourraient ainsi être repérés très tôt, bien en amont des demandes actuelles.

Face aux enseignants parfois dépassés, l'utilisation d'un outil, intensif pour tenter d'augmenter les performances en mathématiques, éviter certains retards et difficultés dans ce domaine, pourrait ainsi s'avérer intéressant.

Dans cette optique la création d'un entraînement que pourrait dispenser des enseignants (orthophonistes et parents également) à des enfants de maternelle afin de stimuler intensivement

leur sens du nombre et améliorer les performances mathématiques semble pertinent. L'idée d'entraîner les compétences mathématiques de manière systématique, en groupe, permettrait notamment de réduire les écarts dus aux inégalités de stimulation, d'homogénéiser les performances collectives et individuelles. Ceci vise à faciliter la compréhension arithmétique et plus particulièrement des outils indispensables à la progression en classe de primaire. Les apprentissages futurs pourraient ainsi être favorisés et les décrochages en mathématiques pourraient s'en trouver réduits. De plus, les entraînements pourraient permettre aux enseignants de repérer les élèves les plus en difficultés et de se centrer davantage sur eux dès les petites classes. Cette attention plus focalisée pourrait également favoriser le dépistage d'enfants porteurs de troubles dès la maternelle pour optimiser, par la suite, une prise en charge orthophonique, si elle s'avère nécessaire.

Dans une première partie seront ainsi développées les bases théoriques sur le nombre, sa compréhension et son utilisation et sur l'intérêt que des entraînements de type ludique (plateaux de jeu, stimulations digitales, explorations tactilo-kinesthésiques) pourraient apporter au « sens du nombre » et son utilisation.

Par la suite, le protocole expérimental puis les résultats obtenus et leur discussion seront exposés.

Partie I
PARTIE THEORIQUE

Concernant l'apprentissage de la numération et du système numérique, un consensus semble établi entre les chercheurs. Ainsi l'enfant, au fil du temps et de sa confrontation aux nombres construirait une « ligne numérique mentale », base nécessaire à l'appréhension de l'arithmétique. L'outil visuel qu'offrent les doigts fournirait de plus un soutien naturel à la numération en base 10, renforçant les liens entre codes analogique et symbolique (indo-arabe et verbal). Orienté par ce courant de pensée, ce mémoire a pour visée l'amélioration des performances mathématiques d'enfants de grande section de maternelle par des entraînements ciblés, réguliers mais attrayants. Il s'inspire de l'excellent travail de mémoire réalisé par Gendre Nathalie et Pautonnier Lisa sur le même sujet et une population nombreuse en s'appuyant sur les mêmes bases théoriques (Gendre et Pautonnier, 2012).

I. Les nombres : une représentation linéaire

1. Le Modèle du Triple Code de Dehaene et les liens neuro-anatomiques

a. Une triple représentation du nombre...

En 1992, Dehaene émet l'hypothèse de la triple représentation du nombre qui permettrait toutes les manipulations arithmétiques nécessaires à la cognition mathématique (Dehaene, 1992). Son modèle s'appuie ainsi sur trois modules distincts qu'il nomme « codes » :

- Le code analogique des quantités est le plus primaire, répandu à travers le monde dans toutes les cultures mais aussi chez les différentes espèces animales dans sa forme instinctive. C'est dans ce code que se retrouveraient toutes les capacités d'approximations, d'estimations, de comparaisons de quantités, ainsi que le subitizing (reconnaissance immédiate de petites quantités)
- Le code verbal est la représentation phonologique du nombre. Il s'agit des mots-nombres intrinsèques aux différentes langues et cultures. Aussi nommé « représentation auditivo-verbale » ce code est le substrat des faits arithmétiques et du comptage par le biais de la chaîne numérique verbale, stable, l'un des principes fondamentaux du dénombrement (Gelman, 1983).
- Le code symbolique qui utilise les signes indo-arabes de 0 à 9 et permet une représentation visuelle plus largement partagée. Ces symboles sont nécessaires au jugement de parité et aux opérations mathématiques.

Des liens entre ces différents codes sont également établis et permettraient les correspondances sémantiques des différentes représentations.

Les modules symboliques verbal et visuel indo-arabe possèdent respectivement leur syntaxe et lexicale permettant ainsi d'établir des liens stables et propres à l'échange dans une même population, et ainsi d'appréhender et représenter significativement une représentation sémantique abstraite (du code analogique) (McCloskey, 1992).

Primordial pour appréhender le nombre dans sa forme instinctive par la reconnaissance de stimulus et la comparaison de quantités, le code analogique serait le berceau du « sens du nombre ». Indépendante du langage et porteuse de la magnitude (quantité), cette représentation serait nécessaire à la construction de la ligne numérique mentale.

Si le code analogique semble primitif mais sensible à la stimulation de l'expérience, les deux autres sont propres à l'humain et nécessitent une construction, notamment par l'éducation.

Les trois représentations sont cependant nécessaires pour la bonne appréhension du nombre et son utilisation au quotidien selon les populations.

b. ... aux substrats neuronaux définis

De manière synthétique, il est admis que les zones cérébrales en lien avec les modules du triple code seraient les suivantes (Dehaene et Cohen, 1995), (Fias et Pesenti, 2004) :

- Aires périsylviennes gauches (gyrus frontal inférieur et temporal supérieur) pour le code auditivo-verbal, en lien avec les régions du langage (Broca)
- Aires occipito-temporales gauches et droites pour le code visuel indo-arabe, en lien avec les zones de représentations visuelles
- Aires pariétales inférieures gauches et droites pour le code analogique en lien avec les notions d'espace.

Le recours aux nombres et à leurs différentes représentations, ainsi qu'aux liens entre elles, activeraient ainsi des circuits neuronaux distincts selon la cible. Ceci a été confirmé au fil du temps par les études des dissociations et des lésions touchant ces zones.

Ainsi des études de cas de lésions consécutives à des AVC dans les zones postérieures gauches ont montré une conservation des procédures de calculs tandis que les signes arithmétiques étaient atteints, montrant une atteinte du symbolique (Seron et Lochy, 2003).

Une dissociation est réalisée entre les faits arithmétiques (multiplications), mémorisés et stockés dans les aires langagières (intrapariétale gauche) et la soustraction nécessitant une manipulation mentale et des procédures (sillon intrapariétal bilatéral) (Chochon et al. 1999).

L'effondrement des performances mathématiques de Signora Gaddi suite à une atteinte spécifique du lobe pariétal s'est traduit par une incapacité totale à dénombrer et manipuler les quantités au-delà du subitizing, malgré une conservation langagière et du raisonnement logico-mathématique. A contrario les atteintes dégénératives handicapant M. Bell ont réduit considérablement son langage et ses représentations auditivo-verbales. Cependant l'apparente conservation de son lobe pariétal lui permettait de garder des raisonnements de calculs et des stratégies notamment par la gestion des quantités. Cette double dissociation (Butterworth, 1999), soutient l'idée d'autonomie des différents traitements du nombre par rapport au langage, différenciant les régions responsables des représentations verbales et analogiques.

Les cas des patients « anarithmétiques » (Dehaen et Cohen, 1997), ont confirmé la prédisposition intuitive numérique par le code analogique ainsi que les différenciations cérébrales sus-citées.

c. Des capacités communes exploitées différemment : la distinction des cultures

Pica et al. En 2004 et 2006 se sont intéressés à la dissociation existant entre l'approximation numérique et le langage. Ainsi, l'étude du peuple amazonien Mundurucus permit de mettre à jour des représentations auditivo-verbales sous la forme d'un lexique, restreint, d'environ 5 mots distincts et l'absence d'un code symbolique. L'étude portée sur des calculs précis prouva la difficulté de réponses efficaces et ainsi de l'implication du langage et de symboles dans ce cadre de précision. Cependant les Mundurucus démontrèrent d'excellentes capacités d'approximations et de comparaisons des quantités par la manipulation de grandes quantités numériques et leur perception dans l'espace. Ces capacités s'avèrent comparables à celles de la culture occidentale et de sa plus grande richesse lexicale des mots-nombres.

Ces études confirmèrent ainsi d'une part la prédisposition humaine pour l'approximation et la comparaison des quantités, compétences primaires développées par l'expérience, indépendante du développement langagier. D'autre part, elles mirent en avant la nécessité du code symbolique, variable selon les cultures, -et des liens entre les différentes représentations suggérées dans le modèle de Dehaene- concernant la précision du calcul.

2. La quantité : une représentation analogique

a. L'espace dans les nombres

Espace et nombres sont inter-connectés. Dans la culture occidentale, les recherches ont montré, le recours naturel à une visualisation spatiale dans les calculs, voire dans la simple évocation mentale d'un nombre (Dehaene et al., 2005).

L'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) est l'appellation donnée au phénomène de visualisation des petits nombres sur un espace mentalement défini situé à gauche tandis que les grands nombres seraient visualisés sur la droite (Dehaene et al. 1993). Cet effet s'observe dans les tâches de jugement de parité ou de comparaison à un nombre cible. Il existerait quelle que soit la latéralité et serait une construction culturelle et éducationnelle.

De plus les représentations numériques et spatiales auraient toutes deux une activation neurale dans la région pariétale ce qui en ferait des voisines neuronales sur le plan anatomo-fonctionnel (Tudusciuc et Nieder, 2007). Les liens entre nombres et espace seraient donc naturels. Néanmoins l'éducation et la culture vont déterminer et séquencer ce découpage de l'espace et ce balayage de la gauche vers la droite dans la quantification du nombre. En occident, l'enfant est très tôt soumis à des stimuli visuels encourageant ce découpage en le modélisant pour lui : réglettes, ligne numérique au dessus du tableau, clavier d'ordinateurs ou de tablettes, etc. Même le balayage passif de la lecture, plus tardif, va encourager ce découpage de l'espace. Les expériences de dénombrement avec le soutien de l'adulte, en répétition par l'organisation du système visuel et la coordination du pointage et de l'énonciation du mot-nombre, auraient également un rôle fondamental dans cette construction. Les cinq principes du dénombrement (Gelman, 1983) font intervenir les pré-requis nécessaires à l'efficacité de cette activité dont notamment la coordination du pointage oculomoteur et de l'énonciation du mot-nombre. La non-pertinence de l'ordre est nécessaire pour parler de dénombrement réussi. Cependant par cette stimulation culturelle et éducationnelle il est communément admis que l'enfant dénombre de la gauche vers la droite ou du plus proche vers le plus lointain, opérant ainsi dans son espace proximale et distale en attribuant une distanciation consécutive à la cardinalité évoquée.

De plus, dans le dénombrement, les processus cognitifs intervenant dans la visualisation des nombres dans l'espace et de pointage (lien aux doigts) font intervenir des activations cérébrales voisines (partie supérieure et postérieure du lobe pariétale) (Opfer et al. 2010), justifiant les liens espace-nombres et les connexions entre représentations anatomo-fonctionnelles.

Dans les premiers temps du développement un recours au lobe frontal serait nécessaire puis s'amenuiserait par plasticité cérébrale et habitude ce qui libérerait les capacités d'action et favoriserait les temps de réponse (Opfer et al. 2010) (Ansari et al. Cités par Dehaene, 2015).

b. La ligne numérique mentale : une construction évolutive

1. Définition et mise en place chez l'enfant

Décrite par différents auteurs (Moyer et Landauer, 1967 puis Restle, 1970 cité par Camos, 1999), le concept de « ligne numérique mentale » est aujourd'hui communément utilisé. Elle serait un support mentalisé aidant l'estimation et la comparaison de quantités, faisant appel au concept d'espace entre les nombres précédemment cité. Elle se déroulerait ainsi dans une conception visuo-spatiale mentale de la gauche (les petits nombres, en partant de 0) vers la droite (les grands nombres) dans un déroulé évolutif.

Cette ligne numérique mentale associerait ainsi des quantités (analogiques) de plus en plus grandes dans un déplacement vers la droite, créant des liens avec un lexique numérique (chaîne numérique) et des symboles (indo-arabes).

Dès 5-6 ans, dans un développement normal et avec des stimulus appropriés, les enfants développent ce concept intuitivement. Les études ont d'ailleurs montré dans le placement sur des segments délimités de 1 à 10 qu'ils ont ces capacités de découpage de l'espace et une estimation quantitative selon leur estimation spatiale (Chillier, 2002 cité par Gendre et Pautonnier, 2012). La précision et justesse de cet exercice viendrait cependant avec le temps et l'expérience par la capacité d'ajuster l'étalon visuel dans la compréhension de la cardinalité.

2. Evolution au fil du temps : logarithmique puis linéaire

Ainsi, si les enfants de cet âge sont capables d'agir sur un segment numérique et d'opérer une compréhension, leurs résultats ne sont pas précis. Plus l'enfant est jeune ou peu stimulé, plus les petits nombres tendent à s'étaler sur l'espace délimité. Il ne reste alors que peu d'espace pour les plus grands nombres qui sont compressés sur la droite. Cependant cette manipulation apparaît logique à l'enfant. En effet, la ligne numérique mentale est tout d'abord logarithmique. Suivant la représentation analogique et le système d'estimation l'enfant est capable de reconnaître et d'estimer des petites quantités, de leur donner une grande importance tandis que les quantités supérieures sont approximatives et ainsi moins faciles à identifier et manipuler mentalement. Selon ce principe la différenciation des nombres plus grands est ainsi beaucoup plus floue. L'espace mental entre 1 et 2 est certes le même qu'entre 8 et 9 ou qu'entre 49 et 50 mais il n'est

pas perçu comme tel et ainsi le fractionnement de l'espace délimité ne se fait pas selon le même étalon. Les recherches ont mis à jour cette ligne logarithmique sur des segments de 0 à 100 mais également sur ceux de 1 à 10 pour les enfants les plus jeunes (Bertelleti et al. 2010). Cette étude portant sur des enfants de 3 ans et demi à 6 ans confirme l'évolution de la ligne numérique mentale qui n'est pas intuitivement linéaire, mais primitivement logarithmique, mais se construit et se précise au cours du temps par la maturation cérébrale, la stimulation et l'éducation.

L'étude de Siegler et de ses confrères, concernant des enfants de 5 à 8 ans, a montré sur des segments de 1 à 100 et de 1 à 1000 que cette ligne numérique mentale est évolutive. L'enfant n'évoluerait pas par stade ou palier mais bien dans un continuum de maturation. Ainsi avec le temps et la manipulation sa ligne numérique mentale serait de plus en plus précise et de plus en plus linéaire. La conception logarithmique ne disparaîtrait pas au profit de celle linéaire dans un stade mais continuerait d'exister pour les nombres les plus grands et donc les moins manipulés mentalement. Les deux conceptions existeraient ainsi en simultanée, la ligne linéaire concernant les plus petits nombres et linéarisant les représentations numériques au fil du temps tandis que la logarithmique continuerait d'exister pour des quantités plus abstraites (Siegler et Opfer, 2003 ; Siegler et Booth. 2004). Cette co-existence a été confirmée dans l'étude plus récente de Bertelli et ses confrères (Bertelli et al. 2010).

En 2003 Siegler et Opfer avaient expliqué cette conception logarithmique par la loi Weber-Fechner. Elle reprend les différents effets existant sur la ligne numérique :

- L'effet de distance, non spécifique à la ligne numérique démontre cependant le caractère analogique de celle-ci (Moyer et Landauer, 1967)
- L'effet de rapport est la capacité de discrimination de deux numérosités proportionnellement abaissée lorsque le rapport se rapproche de « 1 ».
- L'effet de taille est la difficulté à discriminer deux nombres, ayant un même écart au fur et à mesure que ceux-ci augmentent.
- L'effet SNARC, précédemment cité, est l'association entre la représentation numérique et l'espace.

Ainsi selon cette loi, les enfants établiraient un ratio différent entre les petites et les grandes quantités. Celui entre 10 et 20 serait de cette manière différent de celui entre 90 et 100 selon les chercheurs ce qui entraînerait irrémédiablement cette compression des grands nombres (Siegler et Opfer, 2003). Cette différence de ratio existerait également pour des plus petits nombres dont la perception se linéariserait ainsi avec le temps et l'expérience.

La ligne numérique mentale serait donc à la fois linéaire et logarithmique. Elle continue d'ailleurs de l'être à l'âge adulte avec les grands nombres. Les grandes quantités continueraient ainsi d'être

compressées dans un espace mental à mesure que leur taille augmenterait. Si cette perception de ligne développée dans l'espace est universelle, elle varie et évolue dans le temps selon l'âge des enfants mais également selon la culture et l'éducation. L'utilisation de signes pour symboliser le nombre aiderait notamment à la linéariser.

c. Les caractéristiques de la construction d'une ligne numérique linéaire

1. L'éducation : un rôle formateur

Les expériences réalisées auprès du peuple amazonien Mundurucus, en 2008, sur des placements de nombres (en présentation lexicale orale de la culture et en représentation analogique) sur des segments délimités ont mis à jour l'intuitivité de la ligne numérique. En effet, les Mundurucus étaient en mesure de réaliser l'exercice en l'absence d'une représentation symbolique et présentaient des capacités de mise en lien d'espace et quantité. Ceci confirme donc l'existence primitive de la ligne numérique mentale par une perception de la magnitude dans l'espace. Cependant, les résultats obtenus, peu importe l'âge des sujets, concordaient avec ceux d'enfants occidentaux bien plus jeunes, signant ainsi une représentation logarithmique de ces quantités chez ce peuple. Ainsi si la représentation linéaire de la ligne numérique mentale apparaît comme intuitive en occident c'est celle logarithmique qui serait universelle. Elle tendrait ainsi à se préciser et à se linéariser non par la simple expérience -puisque les adultes Mundurucus obtenaient les mêmes résultats que les enfants- mais par l'apprentissage au sein d'une culture et serait ainsi le fruit de l'éducation. La représentation logarithmique continuerait d'exister dans la mentalisation adulte pour les grandes quantités mais par la scolarisation et son lent travail répétitif elle serait linéaire pour les quantités plus petites et/ou manipulables (Izard et al. 2008).

La représentation numérique linéaire serait donc une construction culturelle. Or l'une des différences les plus importantes dans le domaine des nombres entre le peuple Mundurucus et celui occidental, est l'absence d'une des représentations piliers du triple code de Dehaene : les symboles numériques.

2. Les symboles numériques : une convention culturelle

Le fonctionnement des liens entre les nombres, des liens entre leurs représentations et des processus cognitifs qu'ils permettent sont complexes et encore peu identifiés. Il est admis qu'ils se construisent et se renforcent les uns par rapport aux autres par l'acquisition et la manipulation des « codes » du modèle de Dehaene. La quantification par la représentation analogique, la plus primitive, s'élabore et se précise avec le temps et l'expérience. Basée sur la perception et

l'organisation dans un espace, elle se coordonne avec le temps par les autres représentations symboliques. La plus précoce est celle auditivo-verbale qui à une quantité donnée va faire correspondre un lexique défini, partagé par la langue d'une culture. La chaîne numérique verbale, est un pré-requis mais ne suffit pas à la linéarité de la ligne numérique. Ce sont tous deux des outils de construction et de maturation de la quantification. Les mots-nombres énoncés comme une comptine dans un premier temps ne sont pas immédiatement perçus comme des quantités et il faut le temps et l'expérience pour que l'enfant admette que le dernier terme utilisé représente à la fois la quantité totale (cardinalité) mais contient également tous les précédents mots-nombres (inclusion) et donc précédentes quantités. Ceci aide à structurer progressivement et plus clairement la régularité de l'espace entre les nombres. Le recours aux symboles indo-arabes est indéniablement un soutien visuel libérateur de la mémoire de travail, même s'il nécessite un important apprentissage, puisque contenant une signification quantitative et une signification verbale. L'ordination des symboles dans le temps et l'espace permettrait de structurer et visualiser la ligne numérique mentale (Berteletti et al. 2010).

Enfin si la convention culturelle des symboles numériques qu'ils soient verbaux et surtout indo-arabes aide à structurer la ligne numérique mentale et semble participer à sa linéarité, tous les liens et représentations continuent de co-exister. Le recours à ces symboles permettrait ainsi l'accès à des processus cognitifs plus précis, notamment de calculs, l'utilisation de faits arithmétiques ainsi qu'une activation de plus en plus rapide de ces capacités à mesure de la libération de la mémoire de travail et des fonctions exécutives (libération de l'activité frontale) (Dehaene, 2008) (Ansari et al. Cités par Dehaene, 2015).

Néanmoins l'adulte continue de faire appel à la représentation analogique : dans son système d'approximation mais également pour l'intuition précise des petites quantités (Dehaene, 1997). Ainsi l'éducation et le recours à des codes construits culturellement aiderait à structurer la ligne mentale intuitive des représentations numériques par ces liens constants entre représentations. Les codes en eux-mêmes continueraient d'exister et d'être activés plus sélectivement selon les tâches que nous entreprenons au quotidien. Le code analogique notamment resterait, malgré son apparence primitive, un outil de construction et d'appréhension du réel et du monde du nombre à travers l'intuition mathématique qu'il engendre dès le plus jeune âge et qui subsiste au quotidien.

d. Les entraînements : tremplin aux performances de la ligne numérique et des compétences mathématiques

Si la scolarisation aide à structurer progressivement les mathématiques et la ligne numérique mentale, des entraînements plus ciblés permettraient un renforcement de celle-ci, favorisant une maturation cérébrale. Ces entraînements pourraient également permettre à des enfants en décalage par rapport à leurs pairs de combler les « retards » accumulés par manque de stimulation.

Des études sont réalisées en 2008 et 2009 sur des enfants entre 4 et 5 ans, issus de milieux socio-culturels défavorisés. Le manque de stimulation numérique et notamment de l'usage de jeux de plateau de ces enfants entraînent en corrélation avec des résultats significativement plus faibles du « sens du nombre ». Cependant, un entraînement ciblé sur un jeu de plateau linéaire, de quatre séances de 15 minutes de jeu, fut proposé par la suite et montra une amélioration significative des performances. Le plateau réalisé en 10 cases numérotées de 1 à 10 permettait un découpage de l'espace, requerrait l'itération, faisait appel au code visuel-arabe et au code analogique par le lien avec la distance et établissait des liens entre la quantité (le cardinal du dé) et les déplacements itératifs associés. Cet entraînement permit à ces enfants plus faibles en approximation numérique d'homogénéiser leurs performances par rapport à des enfants issus de milieux plus favorisés. De plus le contrôle d'un groupe d'enfant stimulé par un jeu de plateau sans symboles numériques mais avec des couleurs prouva la nécessité d'une stimulation par un support symbolique indo-arabe pour augmenter les performances du sens du nombre. Il semblerait en effet que le plateau de jeu de couleur ne requiert qu'une correspondance terme à terme et n'aboutisse ainsi qu'à une stimulation visuo-spatiale sans lien avec la notion de nombre ou de quantité (Siegler et Ramani 2008, 2009).

Il fut par la suite établi que les performances étaient d'autant plus augmentées que le plateau prenait une forme linéaire. Les jeux circulaires en effet ne permettaient pas autant cette conception de déplacement dans l'espace et de renforcement de la ligne numérique mentale croissante de la gauche vers la droite (Siegler, 2009). Les améliorations de ces enfants touchaient de manière générale à la compréhension du nombre et de son rôle et plus spécifiquement aux capacités de corrélation nombre-espace (nécessaire à la ligne numérique linéaire), le comptage et donc le dénombrement (par améliorations des principes de Gelman), les liens symboles-cardinalité-magnitude, la comparaison de deux quantités et l'estimation sur une ligne numérique du placement de nombres. Les bénéfices d'un entraînement très ciblé semblaient donc extrêmement porteurs et étaient conservés dans le temps. Il fut également prouvé que ces

bénéfices étaient d'autant plus importants que le niveau initial était bas au pré-test. Ceci irait selon les auteurs dans le sens, une fois de plus, d'un manque de stimulation aux supports numériques et à leur linéarité (surtout pour les enfants de milieux défavorisés) et justifierait selon eux l'importance des jeux de plateau dans l'apprentissage de l'arithmétique. Les jeux de plateau seraient ainsi un support excellent et formateur du « sens du nombre » et de la linéarité de la ligne numérique mentale, permettraient un renforcement pour chacun de ces jeunes enfants et homogénéiserait les performances (Siegler et Ramani, 2011). Les améliorations touchant des domaines nécessaires à la bonne appréhension et utilisation des mathématiques, ces études fournissent un outil d'amélioration des performances numériques qu'il conviendrait de diffuser. De plus le jeu avec un dé renforçait la perception de certaines configurations spatiales et la reconnaissance de celles-ci. Il permettait de consolider la reconnaissance des configurations canoniques, favorisant les automatismes dans les perceptions spatiales de 1 à 6. La reconnaissance de la configuration (avec ou sans énonciation du mot-nombre) et les déplacements sur le plateau linéaire incitaient ainsi un renforcement des représentations spatiales par flexibilité (multiplicité des présentations) et encourageait les liens entre les codes.

Ainsi le nombre, dans la culture occidentale, existerait à travers une triple représentation et les liens établis entre ces codes : analogique, auditivo-verbal et symbolique indo-arabe.

Si les deux derniers codes sont culturels et se construisent par l'éducation et au cours de la scolarisation, se renforçant avec le temps et la stimulation de supports numériques, le code analogique, intuitif est bien antérieur. A l'origine du « sens du nombre » et permettant le développement d'une ligne numérique mentale tout d'abord logarithmique puis linéaire, ce code se renforcerait par le biais des deux autres et de leur organisation, aidant à dérouler plus précisément cette ligne mentale.

Des études ont prouvé les possibilités de renforcements et d'améliorations pérennes des performances arithmétiques et de la compréhension et de l'utilisation du nombre par le biais d'entraînement ciblés de plateaux de jeu linéaires.

L'utilisation d'un tel entraînement pourrait ainsi contribuer à l'amélioration du « sens du nombre » d'enfants de grande section de maternelle.

Des recherches se sont également penchées sur d'autres modalités d'entraînements susceptibles d'améliorer les performances arithmétiques. Portées sur la corrélation cérébrale importante existant entre doigts et nombres elles se sont intéressées à la stimulation tactile et le rôle de la manipulation dans l'appréhension du monde mathématique.

II. La corrélation entre les doigts et les nombres

1. Postulats des liens entre doigts et nombres

a. Hypothèses passées

Deux grandes hypothèses ont amené des explications sur le lien existant entre les doigts et les nombres : localisationniste (Gertsman, 1940) et fonctionnaliste (Butterworth, 1999).

L'hypothèse localisationniste s'est construite autour des travaux de Gertsman et du syndrome éponyme. L'expression clinique de celui-ci serait : une désorientation spatiale (droite-gauche), une agraphie, une acalculie et une agnosie digitale, issue d'une lésion supérieure-postérieure du lobe pariétal, région en lien avec la représentation analogique du nombre et du calcul. Ce syndrome mit à jour le lien apparent entre les gnosies digitales et les calculs par l'atteinte de ces capacités due à des lésions neuronales de centres d'activités proches. Cette théorie fut discutée en raison de l'absence de pureté du tableau clinique. Si elles ne peuvent être prises comme une généralité en raison de la plasticité cérébrale et des différences d'activation entre enfant et adulte, les recherches portées sur cette double atteinte dans le cadre développemental suggèrent des liens étroits entre gnosies digitales et développement des capacités numériques (Kinsbourne et Warrington, 1963). Toujours dans un cadre développemental les recherches de Noël sur des enfants normo-apprenants suggèrent que les performances de gnosies digitales et numériques seraient étroitement liées et que les premières pourraient même prédire les secondes. (Noël, 2008).

L'hypothèse fonctionnaliste s'intéresse aux comportements des populations et à l'utilisation des doigts dans les nombres. En effet, malgré des langues et cultures différentes, la ligne numérique mentale semble universelle et le recours à des représentations analogiques le serait donc également. Or, l'être humain possède naturellement un support de représentation analogique manipulable : les doigts, qu'il peut abaisser ou relever pour établir des correspondances terme-à-terme et exprimer une cardinalité. L'homme aurait donc cet outil naturel pour calculer, représenter mais aussi manipuler, pointer, dénombrer et donc agir sur le nombre et avec lui par l'usage des doigts. Selon cette théorie, ce serait donc l'usage de cet outil de représentation, évolutif de l'espèce mais aussi individuel, qui établirait ce lien étroit entre nombres et doigts (Penner-Wilger et Anderson, 2008) (Noël, 2005).

b. Nouvelles théories

Deux autres théories apparaissent grâce aux techniques d'imagerie dans les recherches sur le lien entre doigts et nombres.

L'hypothèse du « redéploiement massif » (Massive redeployment Hypothesis) réfute le localisationnisme et postule tout d'abord la possible réutilisation d'un substrat neuronal par une autre fonction (Penner-Wilger et Anderson, 2008). Cependant ces chercheurs soutiennent que cette activation neuronale pour une autre activité ne serait pas issue du développement de pointage et de dénombrement par l'utilisation conjointe du nombre et des doigts. Selon eux, ce serait davantage une utilisation plus large du même substrat neuronal sans lien obligatoire. En effet, si les manipulations digitales (hypothèse fonctionnaliste) étaient nécessaires pour le développement des capacités numériques alors les enfants porteurs d'atteintes motrices des membres supérieurs ne pourraient pas développer de compétences arithmétiques. Or il s'avère que ces enfants y parviennent et que leurs gnosies sont majoritairement conservées. Le lien entre gnosies et nombres serait donc effectivement étroit mais la manipulation, bien qu'utile à ces constructions (facilitant et accélérant la maturation et la précision), ne serait pas nécessaire.

L'hypothèse de recyclage neuronal (NRH) s'intéresse davantage aux connexions neuronales, leurs activations et l'important rôle joué par la plasticité cérébrale (Cohen et Dehaene, 2007). Selon ces chercheurs l'évolution et la plasticité cérébrale réutiliseraient ainsi des connexions neuronales et circuits cérébraux primitifs pour l'utilisation de la numération en base 10. La fonction initiale assurée par lesdits circuits serait alors progressivement remplacée par celle nécessaire à notre culture et ses systèmes de représentations des nombres, proposant ainsi une théorie au lien étroit entre doigts et nombres.

2. Le rôle des doigts dans le développement de la cognition mathématique

a. L'importance des sensations : les perceptions tactiles

Des recherches portées sur les gnosies digitales ont montré que ces dernières prédisaient les performances arithmétiques au cours de la scolarisation des enfants de maternelle (Fayol et al. 1998 et 2001). Ces études montrèrent une prévision significative à un an et partielle jusqu'à trois ans de distance. Ainsi il semblerait que les capacités de perception et d'identification par le sens du toucher, directement par stimulation digital, soient en lien avec des performances numériques ultérieures du fait de leur lente maturation.

Les recherches de Noël confirmèrent ceci par l'analyse de tests neuropsychologiques auprès d'enfants de 5 à 7 ans (Noël, 2005). Plus prédictives que l'âge développemental et le niveau scolaire associé de l'enfant, les gnosies digitales démontraient les performances futures de ces sujets dans les activités digitales (identifications et reconnaissances de configurations) mais également dans des tâches de quantification et faisant appel à la représentation analogique. Les temps de réponse et la précision se révélèrent, de plus, meilleurs dans le cadre de présentations conventionnelles. Ceci suggère que l'enfant mettrait en place une construction mentale entre configurations digitales et quantités, automatisant des présentations et la cardinalité associée. Ceci perdurerait à l'âge adulte, affirmant les liens entre représentations digitales et représentations du triple code (Di Luca et Pesenti, 2008).

L'intérêt des approches multi-sensorielles a également été prouvé pour l'imprégnation des mathématiques. Ainsi, en 2013, un entraînement comparant un apprentissage classique scolaire à un autre tactilo-kinesthésique, auprès d'enfants de 5 à 6 ans, montra l'apport du toucher et de l'exploration sensitive dans l'appréhension des symboles numériques indo-arabe et leur tracé (Gimbert et al. 2013). L'exploration kinesthésique par les doigts et les mains pourrait ainsi être une entrée sensitive supplémentaire pouvant aider la consolidation de la représentation symbolique visuo-arabe et ses liens avec les deux autres codes.

b. Les doigts : un outil de représentation analogique du système décimal

A partir d'un cas présenté par Descoedres en 1921, Brissiaud s'interrogea sur le rôle des doigts dans l'apprentissage du dénombrement (Brissiaud, 1991). La chaîne numérique verbale (représentation auditivo-verbale) étant une construction culturelle elle nécessite du temps pour que l'enfant la construise, la stabilise et l'utilise dans son sens conventionnel. L'enfant, jeune, construirait donc progressivement une capacité de dénombrement basée sur l'attribution d'un numéral (mot-nombre) à chaque objet pointé. Dans les principes du dénombrement la compréhension de la cardinalité joue un rôle primordial (Gelman, 1983). L'enfant doit comprendre que le nombre possède un double aspect, à la fois ordinal et cardinal. Dans son pointage et son énumération il numérote les objets et le dernier nommé représente l'ensemble de la collection, incluant toutes les quantités précédentes. Si l'enfant est capable d'énumérer son lexique numérique verbal le principe de cardinalité met du temps à se construire.

Cependant il peut pallier, naturellement, l'instabilité de sa chaîne numérique et cette incompréhension de la cardinalité en représentant, de manière analogique, la collection qui lui

est proposée. Par le biais de la correspondance terme à terme d'un « témoin doigt » à chaque objet l'enfant pourrait ainsi, très tôt et sans langage, représenter la quantité présentée : visuellement ou oralement. Il s'agirait donc de deux formes de quantifications, l'une faisant appel au verbal en production et l'autre à la représentation analogique. Les avantages de la seconde seraient une libération de la charge verbale alors investie dans la précision, une compréhension plus intuitive de la cardinalité puisque l'ensemble digital représenté correspondrait à l'ensemble de la collection et une meilleure intuition sur le principe de non-pertinence de l'ordre du dénombrement (par la multiplicité des présentations digitales) (Gelman, 1983).

Fasciné par cette découverte Brissiaud favorisa cette seconde approche auprès de son fils. Selon lui, elle permettrait notamment des entrées multi-sensorielles favorables aux constructions numériques. L'enfant ayant pour lui les stimulations visuelles et kinesthésiques (praxies et gnosies) il multiplierait les canaux d'acquisition et de représentations.

Brissiaud remarqua un intérêt augmenté dans la représentation analogique du numéral entendu. Ce transcodage nécessitant des praxies digitales stimulerait la compréhension de la cardinalité du nombre, permettrait d'établir des liens entre les représentations du triple code et faciliterait l'intégration des principes de dénombrement.

Si les configurations digitales et le recours à la « collection-témoin » doigts semblent pertinents pour comprendre les opérations et les réaliser, libérant la surcharge exécutive, il n'observa pas d'utilisation spontanée de son fils dans cette activité. Cependant les difficultés d'exécution pour les opérations de type « $7 + 3$ » par rapport à « $5 + 4$ » suggèrent que l'enfant fait appel à une image mentale des configurations digitales et ainsi d'une représentation analogique. Le travail des opérations sur les doigts ne serait donc pas vain mais faciliterait la compréhension des calculs et les représentations analogiques des petites quantités.

Les doigts seraient ainsi selon Brissiaud un outil pertinent pour représenter le nombre et augmenter les performances arithmétiques. Utiles pour soutenir la base 10 de notre système décimal en intégrant l'additivité des deux bases 5 de chaque main (Ménissier, 1999), ils seraient un support multi-sensoriel non négligeable et leur utilisation devrait être encouragées à l'école afin de multiplier les représentations et liens entre celles-ci.

c. Un outil visuel utile mais non indispensable

Concernant la ligne numérique mentale, les études ont suggéré l'utilisation primaire et instinctive du code analogique. Il serait instinctif, universel, utilisé par tous les êtres humains mais également les animaux qui sont capables de reconnaître de petites quantités et/ou de faire

des comparaisons approximatives (Barber et Wright, 2001). Les recherches ont montré que très tôt, le bébé fait appel aux représentations analogiques et à de petits processus de manipulations (calculs simples) et ainsi que ce code et son utilisation seraient un développement primaire bien antérieur aux autres représentations (symboliques verbale et indo-arabe) (Starkey et Cooper, 1980) (Antell et Keating, 1983) (Wynn, 1992). Ces constructions pré-numériques autour du code analogique se mettraient progressivement en place grâce aux capacités attentionnelles et visuo-spatiales dans la discrimination des objets (Simon, 1999). Suite à la représentation analogique se développeraient la représentation verbale à travers l'acquisition d'un lexique (la chaîne numérique et ses stades) puis la représentation symbolique indo-arabe. Or les enfants utilisent dans un premier temps une chaîne numérique instable, non conventionnelle et le dénombrement n'est ainsi pas efficient. Les doigts semblent donc être, comme l'avança Brissiaud avec le cas de son fils, une alternative à la chaîne numérique. Cet outil digital pourrait ainsi être une alternative entre l'utilisation du code analogique et ses intuitions et les réponses verbales. Ebauche à la représentation numérique verbale il serait un premier transcodage, une manipulation de représentation du réel par une activité motrice. Les doigts faisant office d'un lien, appelé « missing link » seraient ainsi un support d'intuition, de transcodage, de construction et de compréhension du « sens du nombre » (Fayol et Seron, 2005).

Si les doigts semblent donc jouer un rôle utile pour les constructions numériques les recherches ont montré que leur utilisation n'était cependant pas indispensable. En effet, les enfants présentant des troubles moteurs et ne pouvant donc pas avoir recours aux praxies digitales et manipulations finissent par construire leurs représentations numériques (Penner-Wilger et Anderson, 2008). De même les enfants aveugles ont moins recours au comptage digital et à l'utilisation spontanée des doigts dans les activités numériques. Ceci suggérerait donc que le recours à l'outil digital serait davantage issu de l'observation-imitation que d'une utilisation spontanée et nécessaire à l'acquisition numérique (Crollen et al. 2011).

L'apprentissage scolaire et le rôle du langage, dans notre société, faciliteraient davantage le recours et l'utilisation de la représentation verbale, même imparfaite, par l'expérimentation active et passive répétée. Ainsi, selon ces chercheurs, entre 2 et 5 ans le langage prenant une place importante dans le développement de l'enfant les mots-nombres seraient mieux appréhendés que les configurations digitales même si l'acquisition des principes de dénombrement est moins facilitée par ce type d'apprentissage.

En conclusion les doigts seraient un support visuel d'apprentissage utile, facilitant certaines acquisitions et la compréhension des principes de dénombrement ainsi que l'automatisation des

représentations numériques mais ils ne seraient pas indispensables au développement de celles-ci. Il conviendrait cependant de favoriser et encourager leur utilisation à l'école, notamment pour augmenter leur recours spontané dans les tâches de calculs. Leur utilisation permettrait de renforcer les liens entre les différentes représentations et favoriser les acquisitions. Cela permettrait une libération de l'activité frontale et de la surcharge cognitive en mémoire de travail, favoriserait une meilleure automatisation des tâches et un investissement augmenté pour le raisonnement et la compréhension (Opfer et al. 2010) (Ansari et al. Cités par Dehaene, 2015).

3. Un soutien mnésique chez l'enfant et chez l'adulte qu'il conviendrait d'utiliser

La mémoire de travail se constituerait de quatre éléments : l'administrateur central (ou système central exécutif), la boucle phonologique (ou espace d'auto-répétition mental), le calepin visuo-spatial (manipulant les informations visuelles et spatiales) et le buffer épisodique (facilitant l'intégration des deux autres composantes) (Baddeley, 2000). Des recherches ont montré son importance dans les capacités cognitives et notamment dans les activités arithmétiques complexes. Les performances obtenues pour le calepin visuo-spatial seraient prédictives de celles en arithmétiques au même titre que les gnosies digitales (De Smedt et al. 2009). Ainsi au début de la scolarité l'enfant privilégie les activités visuo-spatiales et motrices. Or, il semblerait que les enfants présentant un trouble de ce calepin visuo-spatial présentent de plus grandes difficultés dans la compréhension de l'arithmétique, voire une latence augmentée (Anderson, 2010). Les entrées visuelles, en rapport avec le code analogique, auraient donc un effet formateur dans les performances arithmétiques. Par le soutien visuel et manipulable des doigts, l'enfant privilégierait donc ces entrées et ces activations ce qui serait bénéfique à ses apprentissages. En ayant cette collection digitale accessible en continu, l'enfant offrirait un support à sa mémoire de travail et ainsi favoriserait et renforcerait ses capacités, automatisant les manipulations et les intégrant mentalement. La mémoire de travail, libérée de sa charge cognitive, servirait ainsi plus largement à des activités de raisonnement. La réalisation de tâches arithmétiques serait alors plus aisée et rapide, tendant vers une automatisation. (Ansari et al. Cités par Dehaene, 2015).

L'utilité du support digital ne se cantonne pas à l'enfant. En effet selon Di Luca et Pesenti, les adultes auraient recours aux mêmes stratégies de visualisations et d'apprentissage des configurations digitales. Les résultats des adultes à ces tâches d'identification ont en effet montré des réponses plus rapides en faveur des présentations conventionnelles. Ces dernières étant facilitées par l'apprentissage et l'utilisation au cours du cursus scolaire formeraient un

automatisme du même ordre que le subitizing ou les configurations canoniques (Di Luca et Pesenti, 2008). Le support digital continuerait donc, même chez l'adulte, d'être utile pour des opérations, pour libérer la mémoire de travail dans des tâches arithmétiques plus complexes ou pour identifier des quantités et créer des représentations entre les trois codes.

En conclusion, le débat sur l'importance de l'utilisation des doigts dans les tâches numériques demeure ouvert. Les recherches ont cependant montré une utilité de ce support dans les performances arithmétiques.

A la faveur de ces conclusions un entraînement des praxies digitales et des manipulations des doigts semble donc pertinent pour renforcer les performances mathématiques d'enfants de grande section de maternelle. Un entraînement de ce type pourrait ainsi améliorer la représentation analogique par de meilleurs résultats aux identifications et comparaisons de configurations digitales, aux tâches d'opérations (et de compréhension de celles-ci), de dénombrement et des principes soutenant le dénombrement.

Un mémoire a été réalisé en 2012, en accord avec les études citées, dans le cadre de l'obtention du certificat d'orthophonie (Gendre et Pautonnier, 2012). L'entraînement proposé sur un jeu de plateau linéaire et de manipulations digitales, sur un grand échantillon, a donné des résultats très prometteurs, ce qui confirme l'intérêt de cette approche. Le but du mémoire suivant est de tenter de contourner ses biais, de multiplier l'intérêt des enfants et l'aspect ludique des activités, d'augmenter la fréquence des entraînements et leur impact sur des tâches numériques et plus largement sur la cognition mathématique.

Partie II
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

Au regard de la loi Jardé, n° 2012-300 du 5 mars 2012 (dernière modification 31 décembre 2016) relative aux recherches impliquant la personne humaine, le nombre de sujets autorisés pour un travail expérimental de type mémoire se porte à 10 maximum.

Notre étude est un suivi longitudinal sur 5 mois d'enfants de grande section de maternelle évalués en bilan initial et final pour tous les participants et en tests post-entraînement pour le groupe entraîné. Les entraînements proposés étaient : un entraînement digital de praxies et manipulations et un entraînement de la ligne numérique mentale par un jeu de plateau linéaire et différents supports. Un groupe a suivi les deux entraînements, entrecoupés des tests et des vacances scolaires tandis que le groupe contrôle ne recevait que l'enseignement scolaire habituel. Il s'agissait de montrer l'effet additionnel des deux entraînements sur les performances arithmétiques et leur constance dans le temps tout en ayant la possibilité d'observer leur évolution en fin de chaque stimulation.

I. Problématique

La ligne numérique mentale, d'enfants entre 4 et 5 ans, pourrait s'améliorer par l'utilisation d'un jeu de plateau linéaire aux cases numérotées et à l'espace découpé uniformément (Siegler et Ramani, 2008). L'utilisation multi-sensorielle répétée de supports ludiques améliorerait les représentations symboliques indo-arabes et les liens avec les autres codes (Gimbert et al. 2013). Enfin, les doigts et leur utilisation comme support visuel et de manipulation pourraient renforcer les performances arithmétiques.

Dans cette optique, nous avons élaboré, pour des enfants de grande section de maternelle entre 4 et 6 ans, des entraînements : le premier digital pour renforcer les perceptions analogiques et la manipulation et le second sur la stimulation de la ligne numérique mentale à partir de supports ludiques et multi-sensoriels pour renforcer les représentations et leurs liens du Triple Code de Dehaene (Dehaene, 1992).

Les performances des enfants seront quantifiées en terme de progression, en étude de cas par comparaison interindividuelle, par rapport à leurs camarades et par comparaison du groupe entraîné versus groupe contrôle.

Nous nous intéresserons aux résultats des épreuves stimulées directement par les entraînements (estimation linéaire, comparaisons des représentations digitales, productions digitales) mais aussi aux épreuves influencées par les constructions arithmétiques de l'enfant (fonctionnalité du nombre, dénombrement, opérations, etc.) ainsi qu'aux épreuves lexicales de contrôle.

II. Hypothèse générale

Nous supposons que le groupe d'enfants de grande section de maternelle, de 4 à 6 ans, entraîné sur des praxies digitales, l'utilisation d'un plateau de jeu et de supports multi-sensoriels ludiques améliorera davantage ses compétences liées au nombre, aux épreuves proposées, que le groupe non-entraîné.

III. Hypothèses secondaires

Nous subodorons que les enfants du groupe entraîné augmenteront davantage leurs performances mathématiques aux épreuves directement liées aux entraînements (estimation linéaire, comparaisons de représentations digitales, production d'un nombre digital, imitations des praxies digitales et gnosies digitales) que le groupe contrôle.

Nous supposons que les enfants entraînés présenteront de meilleures performances aux épreuves non-spécifiquement stimulées par l'entraînement que les enfants du groupe contrôle.

Nous supposons que si leurs performances évoluent, les deux groupes ne présenteront qu'une évolution minimale à l'épreuve lexicale non mathématique.

Nous supposons enfin que le développement des compétences des enfants entraînés se maintiendront dans le temps.

Partie III
PARTIE EXPERIMENTALE

I. Méthode expérimentale et population

Afin de vérifier nos hypothèses nous avons mené une étude longitudinale de 5 mois auprès de huit enfants de Grande Section de Maternelle âgés en moyenne de 5 ans 2 mois au début de l'expérience et de 5 ans 7 mois en fin d'expérimentation. Nous avons choisi l'école Maternelle Bon Voyage Mixte 2, à Nice, car nous pensions que le niveau socio-culturel bas permettrait d'objectiver des différences de performances, grâce aux entraînements, plus importantes.

Pour choisir les sujets, deux classes de grande section ont été retenues dans cet établissement. Ces deux classes étaient encadrées par deux enseignantes différentes mais aux méthodes de travail similaires afin de minimiser le biais d'enseignements scolaires divergents.

Les enfants entraînés ont été sélectionnés dans l'une des classes (Classe G) et les enfants non-entraînés dans l'autre (Classe S). L'intérêt de procéder ainsi était que l'entraînement puisse être dispensé à toute la classe, par groupes, sans privilégier les enfants sélectionnés au détriment des autres. Ceci permettait également une gestion logistique plus aisée. Parmi tous ces enfants entraînés et non-entraînés, une pré-sélection a été réalisée à l'aide d'une enquête préalable et des critères d'inclusion et de non-inclusion. Un tirage au sort a finalement déterminé la sélection finale.

En novembre a eu lieu la rencontre avec les élèves et les sélections progressives des sujets, suivies des bilans initiaux. Les enfants de la classe G ont été testés en priorité afin de pouvoir commencer les entraînements pendant les bilans initiaux de la classe S. Les entraînements étaient constitués d'une stimulation trois fois par jour en moyenne, tout au long de la semaine de classe (4 jours par semaine), durant trois semaines. A l'issue du premier entraînement a eu lieu le premier test post-entraînement pour le groupe entraîné, suivi des vacances de Noël. En janvier s'est déroulé le second entraînement de trois semaines, suivi du second test post-entraînement du groupe de la classe G. Une période de latence de deux mois a été fixée afin d'observer la pérennité des acquis. En fin mars et avril les bilans finaux pour les enfants des classes G et S ont ainsi été réalisés.

En accord avec la loi Jardé, l'échantillon initial s'est constitué de 10 enfants : 5 de chaque classe. Une enfant du groupe entraîné (classe G), déjà testée, ayant été retirée de l'école courant décembre, le nombre de sujets a été ramené à 8 pour avoir des groupes homogènes dans chaque classe. Les groupes étaient alors constitués de 2 filles et 2 garçons pour le groupe entraîné et de 3 filles et 1 garçon pour le groupe non-entraîné. Les enfants entraînés sont : Melika, Imrane, Fayna et Atem. Les enfants non-entraînés se prénomment : Asmaty, Malek, Lima et Mathéo

Pour sélectionner les enfants entraînés et non-entraînés des classes G et S nous avons passé, en premier lieu, quelques jours dans ces classes afin de se faire connaître des enfants et de réduire le biais de l'inconnu et de l'inquiétude durant les tests. Les discussions avec les maitresses étaient essentielles afin de suivre les critères d'inclusion et de non-inclusion.

1. Critères d'inclusions

Les enfants devaient être en grande section de maternelle, présenter une assiduité scolaire (présence) afin de suivre l'enseignement scolaire général pour les deux classes et les entraînements pour la classe G et devaient parler français à l'école et avec au moins un parent à la maison.

2. Critères de non-inclusion

Afin de réduire au maximum les biais, les enfants ne devaient pas avoir de troubles visuels, ceux porteurs de lunettes n'étaient donc pas inclus. Ils ne devaient pas avoir de trouble praxique dans la manipulation des outils scolaires. Ces troubles étaient questionnés en enquête préalable auprès des maitresses et recherchés durant les quelques jours d'intégration au sein de la classe. Les enfants ne devaient pas être suivis en rééducation orthophonique ou ayant reçu un diagnostic orthophonique. Ils ne devaient pas présenter de trouble de la compréhension orale pouvant impacter la réussite aux épreuves proposées. Enfin ils ne devaient pas avoir redoublé.

3. Critères d'exclusion

Le retrait de l'école de l'une des enfants du groupe entraîné ayant eu lieu au cours du premier entraînement, elle a été exclue de l'étude.

Un enfant du groupe contrôle ayant présenté des troubles de la compréhension, non repérés initialement, a également été retiré de l'expérimentation.

L'effectif général est ainsi passé de 10 à 8 enfants : 4 par groupe.

| | Novembre 2017 | Novembre à Décembre | Décembre 2017 | Janvier-février 2018 | Février 2018 | Mars-Avril 2018 |
|----------------------------------|---|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Enfants entraînés de la classe G | Rencontre Sélection Bilan initial | Entraînement digital | Test post-entraînement 1 | Entraînement de la ligne numérique | Test post-entraînement 2 | Bilan final et enquête |
| Enfants contrôle de la classe S | Rencontre Sélection Bilan initial | | | | | Bilan final et enquête |

Tableau 1. Récapitulatif du calendrier expérimental

II. Matériel

Pour tester les compétences des enfants entraînés et non-entraînés et objectiver les différentes progressions obtenues au cours du temps et des entraînements, il était nécessaire d'avoir recours à des épreuves.

Comme notre échantillon était restreint (10 enfants maximum), nous avons choisi de réaliser davantage d'épreuves et de tester plus sensiblement et précisément les différents domaines de compétences afin de nous assurer des progressions objectivées. Cette réflexion était basée sur la pratique orthophonique et les bilans observés et réalisés au cours des stages. Puisque nous ne pouvions pas montrer de différences significatives par ce faible échantillon et que notre expérimentation était davantage une étude de cas, réaliser un testing de type bilan de cognition mathématique nous apparaissait plus pertinent.

Pour cette raison, nous nous sommes intéressées aux épreuves réalisables pour des enfants de grande section de maternelle. S'il existe des bilans de logico-mathématique, peu s'adressent à cette population et/ou ne sont pas normés. N'ayant pas la possibilité de recourir à des tests existants normés, nous avons donc choisi de nous inspirer de ce que nous connaissions pour créer des épreuves destinées à notre échantillon. Evidemment, il ne nous était pas possible de comparer les résultats obtenus à une norme nationale. Notre but était alors de réaliser suffisamment d'épreuves afin que les enfants soient comparés les uns aux autres et par rapport à eux-mêmes au cours du temps.

Nous nous sommes inspirés de bilans existants tels que la BLM, EVALO, le Numérical, le Zareki, reprenant leurs différentes épreuves en les adaptant, en augmentant le nombre d'items, etc.

Réaliser ces livrets d'épreuves, de consignes et de cotation a nécessité un temps important de préparation et de réflexion. L'idée générale était de s'approcher de ce que nous pourrions proposer dans le cadre d'un bilan logico-mathématique pour les enfants de cet âge. Notre

orientation était donc orthophonique malgré un but pédagogique pour la mise en place d'un entraînement pouvant être utilisé en milieu scolaire.

Chaque épreuve de ce bilan a été testée auprès d'un enfant de grande section de maternelle de notre entourage. Le cadre de passation s'est avéré moins strict mais n'avait pour but que de vérifier la pertinence des épreuves réalisées. Nous souhaitons notamment vérifier la compréhension des consignes, l'aspect ludique de nos épreuves ainsi que leur sensibilité afin d'éviter que les épreuves soient saturées dès la première passation. Ce testing nous a permis notamment de rajouter des items, de modifier nos consignes et d'améliorer nos épreuves préalables.

Les livrets présentant un grand nombre d'items et de pages il n'est pas possible de les présenter en annexe de cette étude. Ils pourront cependant être proposés à part.

Certaines épreuves sont directement liées aux entraînements, nous pensions ainsi qu'elles seraient enrichies par ceux-ci. Elles sont décrites sous cette appellation.

Les autres épreuves en sont distantes mais nous supposons la réutilisation des compétences acquises grâce aux entraînements.

Des épreuves mnésiques testées par les empans ont également été ajoutées. Nous avons intégré une épreuve « contrôle » qui ne devait pas être influencée par les entraînements ou très peu : l'épreuve lexicale.

Nous présentons ces épreuves dans l'ordre général de placement au sein du livret.

Notre bilan renferme le contenu total du livret et ainsi toutes les épreuves décrites ci-dessous. Il est utilisé en relevé initial (bilan 1) et final (bilan 2) pour les enfants entraînés et non-entraînés.

Le test post-entraînement est une version réduite de ce bilan. Il ne contient pas les épreuves suivantes : Coordination doigts-pouce (a), séquence de Luria (b), Rythmes (c), copie de chiffres (g), copie de figures géométriques (h), logique : classification et sériation (n), transcodages : dictée, lecture, analogique en symbolique et symbolique en analogique (o en partie), opérations (p), problèmes (q), lexique (ELO).

1. Les épreuves liées aux entraînements

a. Les épreuves d'estimation linéaire (chronométrées)

Nous nous sommes inspiré des épreuves de Siegler et Ramani (2008) mais également du Zareki (Von Aster et Dellatolas, 2006).

Pour cette épreuve des segments de 20 centimètres délimités par 0 et 10 ont été réalisés en format paysage dans le livret. L'estimation linéaire est déclinée en trois sous-épreuves :

- Placement d'une cible indo-arabe : à la gauche de chaque segment est placé un nombre de 1 à 9 en présentation symbolique indo-arabe que l'enfant énonce à voix haute (pour vérifier l'identification) et dont il indique, selon lui, le placement sur la ligne.
- Placement d'une cible auditivo-verbale : un mot-nombre, de 1 à 9, est énoncé à l'enfant pour chaque nouvelle ligne numérique. Il indique alors le placement le plus pertinent.
- Identification visuelle d'une cible analogique : un trait perpendiculaire à la ligne numérique indique la place d'un nombre. L'enfant oralise le mot-nombre le plus adapté pour ce placement puis l'écrit dans la case vide à la gauche de chaque ligne numérique.

Chacune des sous-épreuves comporte 5 lignes numériques. Le placement du trait est indiqué par l'enfant mais réalisé par l'examineur pour éviter des ratures approximatives.

Les trois épreuves sont déclinées en trois notes :

- Un score sur 10 optimisé par un calque déclinant une note de 2 à 0 entre la réponse de l'enfant et le placement attendu (ou nombre attendu)
- Un temps de réalisation de l'épreuve (chronométrée)
- Une note comptabilisant les écarts en centimètres entre la réponse donnée et celle attendue.

Par le calque l'enfant obtient 2 points pour un écart à la cible de +/- 0,4 cm, 1,5 points pour un écart de +/- 0,8 cm, 1 point pour un écart de +/- 1,4 cm, 0,5 point pour un écart de +/- 1,9 cm. Au delà de 1,9 cm l'enfant n'obtient aucun point. Annexe 1

Une note totale pour chacun des domaines : scores (sur 30), temps, centimètres est par la suite calculée.

b. Les épreuves d'identification et comparaisons digitales (chronométrées)

Toutes les épreuves digitales se basent sur l'étude de Noël, 2008, sur des observations personnelles et de remarques de professionnels : enseignants et orthophonistes.

L'épreuve d'identification (et comparaisons) digitales se décline en trois sous-épreuves :

- La comparaison de présentations conventionnelles : 6 items simples (une configuration vs une autre) et quatre items complexes (une double configuration vs un autre duo)
- La comparaison de présentations non conventionnelles : même nombre d'items et même ordination que les présentations conventionnelles

-
- La comparaison de présentations conventionnelles versus non conventionnelles : 5 items simples (une configuration conventionnelle vs une non conventionnelle) et quatre items complexes (une double configuration conventionnelle vs une double configuration non conventionnelle).

Pour réaliser cette épreuve, une banque d'images de configurations digitales a été réalisée en déclinant toutes les possibilités de présentations de 5, 4, 3, 2, 1 et 0 quantités pour les mains gauche et droite.

Les deux premières comparaisons sont notées sur 10 et la dernière sur 9.

Le total de l'épreuve se note sur 29.

Les sous-épreuves sont chronométrées et les temps sont rassemblés pour donner une indication temporelle totale de réalisation.

Chaque sous-épreuve est entrecoupée d'une pause avec récapitulation de la consigne en prévenant l'enfant du changement pour éviter les biais de sidération. Les trois sous-épreuves sont systématiquement réalisées en présentation simple (conventionnelle, non conventionnelle, conventionnelle vs non conventionnelle) puis en réalisation complexe (dans les trois modalités). Cet ordre de déroulement est nécessaire pour éviter une surcharge cognitive axée sur la flexibilité et non sur l'exercice.

Les enfants déterminent au cours de cette épreuve si les configurations confrontées sont « pareilles » ou « pas pareilles », « s'il y a donc même nombre de doigts ou pas même nombre », peu importe la manière dont les mains sont présentées. Pour cela il leur faut identifier le plus rapidement possible la quantité pour ensuite comparer les présentations. La compréhension des termes et de la consigne est systématiquement vérifiée en début d'épreuve par l'examineur présentant des exemples en dynamique de ses mains.

Nous nous attendions, en accord avec l'étude de 2008 (Noël, 2008), une meilleure réussite aux présentations conventionnelles par rapport aux deux autres.

c. L'épreuve de production d'un nombre digital

L'épreuve consiste à énoncer un mot-nombre à l'enfant qu'il représente avec ses doigts.

Il réalise une première production puis une autre pour le même terme mais avec une configuration différente, de son choix. Les items à produire sont : 2, 4 et 3 en présentation simple et 7, 6 et 8 en présentation complexe (à deux mains). Chaque production rapporte 1 point.

Il est accordé un point supplémentaire par mot-nombre réussi si l'exécution est rapide (temps de latence inférieur à 5 secondes).

d. L'épreuve d'imitation digitale

L'examineur réalise devant l'enfant 10 présentations digitales à une main. L'enfant reproduit chacune d'entre elles d'une main puis de l'autre. Chaque main est notée sur 30. Il est accordé 1 point par main pour chaque praxie réussie et 1 autre point en l'absence de feed back visuel ou de syncinésies. Un point supplémentaire est accordé si l'exécution est rapide : pour un temps de latence entre l'observation et la réalisation inférieur à 5 seconde.

e. L'épreuve de comptage sur les doigts

Cette épreuve consiste à vérifier la coordination motrice « lever de doigt » et « énonciation du mot-nombre ». L'enfant compte sur ses doigts jusqu'à 10 à deux reprises. Il obtient 2 points en cas de bonne coordination, 2 points supplémentaires si les deux comptages sont identiques, un seul point si la seconde présentation est meilleure que la première (gestion de l'impulsivité), mais aucun point supplémentaire si la seconde présentation se dégrade par rapport à la première.

f. L'épreuve de gnosies digitales

Les traces des deux mains de l'enfant sont au préalable réalisées sur une feuille blanche. Celle-ci est par la suite placée devant les mains de l'enfant posées à plat, et dans le même sens. L'enfant ferme les yeux et pour éviter un biais une feuille de couleur est systématiquement placée entre son visage et ses mains pendant la stimulation (par pression suffisante pour être ressentie) de l'examineur. Celui-ci touche les doigts du sujet qui indique sur le dessin de ses mains le(s) doigt(s) touché(s) et leur ordre de passage. L'épreuve augmente progressivement en difficulté. Tous les doigts sont touchés en isolé (sur 10 points), puis 6 doigts en isolé sont de nouveau stimulés (sur 6 points), puis deux doigts à la suite d'une même main dans 4 présentations différentes (1 point par doigt reconnu et 1 point pour l'ordre), puis trois doigts à la suite d'une même main sur 2 présentations différentes (1 point par doigt et 1 point pour l'ordre), puis trois doigts à la suite, de mains différentes (1 point par doigt, 1 point pour l'ordre, 1 point par respect de main) pour un score total de 46.

2. Les épreuves indirectement liées aux entraînements

a. L'épreuve de coordination doigts-pouce

Nous cherchons à vérifier la coordination des doigts ayant pour cible le pouce. L'enfant imprime une légère pression de ses quatre doigts restants sur son pouce dans un sens (index, majeur, annulaire, auriculaire) puis dans l'autre, pour chaque main.

Les 5 points pour chacune des mains sont obtenus quand l'enfant réalise parfaitement l'exercice, a peu recours au feed-back visuel et ne présente aucune syncinésie (main controlatérale et visage). Les scores sont dégressifs : 4 points pour un feed-back visuel léger et quelques syncinésies non systématiques, 3 points pour un feed-back modéré et des syncinésies systématiques, 2 points pour un feed-back, des syncinésies systématiques et une lenteur d'exécution, 1 point pour une réussite partielle et tous les signes précédents et 0 point en cas d'échec.

L'épreuve totale se note sur 10.

b. L'épreuve de séquence de Luria

La séquence de Luria : poing, tranche, paume est une séquence motrice issue de tests neuropsychologique. Elle est présentée par l'examineur à l'enfant-observateur à trois reprises. Le sujet la réalise ensuite avec l'examineur, en duo, deux fois de suite puis trois fois seul.

L'épreuve se note sur 16 points. L'enfant reçoit 2 points en présentation simple s'il observe et patiente durant les trois représentations (capacités d'inhibition de l'action). Chaque présentation réussie en duo avec l'examineur est gratifiée d'un point (total sur 2). Chacune des présentations de l'enfant seul est notée sur 3 points : 3 points si les trois gestes sont dans l'ordre, 2 points si deux gestes sont dans l'ordre ou deux gestes bien rappelés, 1 point si un seul geste est correctement rappelé, 0 en cas de présentation aléatoire ou approximative). En cas d'échec la présentation est de nouveau réalisée avec l'enfant et il continue seul. Il n'est alors noté que sur 3 points. En cas de réussite aux items précédents ces 3 points sont automatiquement accordés.

c. L'épreuve de rythme

Il s'agit des rythmes de Maria Stamback (Stamback, 1951). Nous observons les capacités d'écoute, d'attention, de contrôle et de reproduction rythmique de l'enfant. Le rythme est un prérequis important pour les apprentissages (notamment la lecture) qu'il convient de tester.

L'examineur et l'enfant ont chacun un stylo (le même pour chaque enfant) avec lequel ce dernier reproduit sur la table les rythmes tapotés qui lui sont présentés. Vingt-et-un rythmes à la

complexité progressive sont enchainés. Le point n'est accordé qu'en cas de reproduction rythmique identique. L'épreuve totale se note sur 21 points.

d. L'épreuve de fonctionnalité du nombre

Nous nous sommes inspirées des épreuves de fonctionnalité du nombre de la BLM. Nous avons créé et plastifié le matériel suivant : une douzaine de marguerites (cœur jaune, pétales blancs), une douzaine de tiges vertes comportant des feuilles, une douzaine de pots de fleur orange. Le but de cette épreuve est d'évaluer si l'enfant recourt spontanément au nombre pour un exercice dans lequel le dénombrement ne lui est pas spécifiquement demandé.

Sept fleurs sont déposées devant lui alors qu'il est questionné sur son dernier week-end. L'examineur demande ensuite de « chercher juste ce qu'il faut de tiges de fleurs (tiges préalablement montrées) pour que chaque fleur ait sa tige, pas plus, pas moins, juste ce qu'il faut » (en précisant qu'il ne peut faire qu'un seul voyage). Or l'enfant ne peut réaliser de correspondant terme à terme, les éléments de recherche étant placés préalablement à l'autre bout de la pièce. Durant son déplacement, les fleurs recouvertes d'une feuille de papier pour éviter les biais de regard. Les mêmes consignes sont données pour les pots.

Chaque recherche se note sur 5 points. L'enfant reçoit deux points s'il rapporte le nombre juste et aucun en cas d'erreur. Deux points supplémentaires sont accordés pour les justifications et pour la métacognition. Un seul point est accordé si l'explication émerge mais demeure approximative (mal formulée). En cas d'échec s'il fait preuve d'un raisonnement spontané un point est accordé et 0,5 point pour un raisonnement induit. Il n'est pas accordé de point si aucun raisonnement n'émerge malgré les questions. En cas de réussite le point du raisonnement spontané est automatiquement accordé. L'épreuve totale se note sur 10 points.

e. L'épreuve de comparaisons de collections de points et de symboles indo-arabes (chronométrée)

Nous avons eu recours au Numeracy Screener (feuillet et consignes). L'enfant compare deux présentations et détermine le plus rapidement possible celle représentant « le plus » en la barrant. L'épreuve se décline en deux sous-épreuves : une comparaison de symboles indo-arabes puis une comparaison de collections de points (analogique) dans la version A et en ordre inversé dans la version B. Les collections de points ne sont pas dénombrées, mais estimées visuellement. Elles se composent de 56 paires chacune. En maternelle l'enfant dispose

de 2 minutes pour réaliser le maximum possible de comparaison. Une pause est réalisée entre chaque sous-épreuve pour favoriser la récupération et la flexibilité mentale.

L'examineur comptabilise les bonnes réponses et y soustrait les erreurs. Tous les items non réalisés durant les 2 minutes sont considérés échoués. Le score obtenu sur 56 est ensuite reporté sur la plateforme du Numeracy Screener (numeracyscreener.org) par rapport à la classe (Senior Kindergarten) et en précisant l'âge de l'enfant en années et mois ainsi que sa localisation. Les résultats sont donnés en pourcentage de réussite par rapport à la norme attendue québécoise.

Cette épreuve permet d'appréhender la représentation analogique (comparaison brute de quantité) et les liens entre représentation visuelle indo-arabe et représentation analogique (le sens – ou la quantité- mis derrière le symbole numérique).

f. L'épreuve de comptage oral

L'enfant compte au maximum de ses connaissances, à deux reprises, à son rythme, afin de vérifier la stabilité de sa production. Il lui est également demandé de compter à rebours en partant de 10 et en partant de 20 si la première production est réussie.

L'examineur note l'épreuve sur 3 points : 1 point si les deux comptages sont similaires (stabilité), 1 point pour l'aspect conventionnel de la chaîne numérique (respect de l'ordre des mots-nombres) et 1 dernier point s'il parvient à compter à rebours (chaîne bidirectionnelle en partant de 10).

Il est noté en qualitatif jusqu'à quel nombre la chaîne numérique respecte ces règles.

Ainsi un enfant peut obtenir une note de 2/3 (s'il ne peut compter à rebours) s'il compte de manière stable jusqu'à 16 et de manière instable ou non conventionnelle au-delà. De même qu'un autre peut avoir 2/3 en comptant jusqu'à 30. Le score brut est le même mais en performance de comptage le second enfant est plus performant que le premier.

Il est cependant attendu par l'éducation nationale qu'en fin de grande section l'enfant sache compter et dénombrer jusqu'à 30.

g. L'épreuve de copie de chiffres et de nombres (chronométrée)

L'enfant recopie, au crayon à papier, le plus rapidement et le plus précisément possible les chiffres et nombres donnés dans le livret, à côté de chaque item.

Les chiffres à copier sont : 8, 6, 3, 1, 2, 0, 9, 7, 5, 4.

Les nombres à copier sont : 10, 21, 32, 17, 29, 45, 55, 63, 12, 25.

Le modèle est en police 46. Deux items sont présentés par ligne avec un espace suffisant pour permettre la réalisation de l'enfant, petite ou grande selon sa dextérité graphique.

Concernant les nombres, l'enfant est évalué sur sa capacité à appréhender la présentation comme un groupe indissociable (29 ne peut être écrit 2 et bien plus loin 9, c'est un ensemble). Chaque item reconnaissable rapporte 3 points : 1 point pour le sens de copie respecté pour chaque chiffre (l'examineur réalise une croix sous le nombre pour une notation postérieure). Un point supplémentaire est accordé pour les nombres lorsque l'ordre de copie est respecté (pour 32, 3 puis 2). L'épreuve est notée sur 100 points et est chronométrée.

h. L'épreuve de copie de figures géométriques (chronométrée)

L'enfant reproduit chacune des figures géométriques présentées en modèle dans le livret : un rond, un rectangle, un carré et un triangle isocèle incliné en figures simples, une croix (en X), un carré et ses diagonales et une autre croix en orientation différente (en +) en figures complexes. L'examineur accorde 2 points pour les figures reconnaissables, un seul point en cas de figure reconnaissable mais disproportionnée par rapport au modèle, aucun point si la figure n'est pas identifiable. Deux points sont accordés par orientation concordante de la figure (+ 2 points pour les diagonales du carré complexe), un seul point pour une orientation approximative, aucun si elle est arbitraire. L'épreuve totale est notée sur 30 et est chronométrée.

i. L'épreuve de reconnaissance immédiate de collections : subitizing

Nous avons réalisé et plastifiées 12 cartes comportant des collections de 1 à 4 points bleus de 1 centimètre de diamètre, à raison de 3 présentations chacune. Nous les avons alphabétisées pour conserver le même ordre de présentation : 2, 1, 3, 2, 1, 3, 4, 4, 3, 2, 1, 4.

L'examineur lève la carte et la cache aussitôt (ordre de présentation d'une seconde). L'enfant oralise la quantité qu'il a perçue. Nous cherchons ainsi à vérifier la faculté de reconnaissance immédiate des petites quantités du code analogique. Deux points sont attribués par réponse juste, aucun aux réponses fausses. L'épreuve totale est notée sur 24.

j. L'épreuve d'estimations de collections

Nous avons utilisé le support powerpoint de l'excellent travail de mémoire de Clara Polledri (Polledri, 2015). Il s'agit d'une présentation rapide de petites formes géométriques, réparties sur la surface de la page, dont l'enfant estime la quantité. Il est expliqué la nécessité de donner une réponse, même imprécise. Suite à l'exemple, l'enfant réalise 12 estimations. Chaque diapositive

est reprise dans sa présentation avec association du nombre indo-arabe correspondant pour fournir un auto-ajustement à l'enfant. Nous avons cependant apporté une modification au matériel par ajout de pages blanches entre la présentation 1 et la présentation réponse. Un test préalable auprès d'enfants d'un autre établissement a révélé un temps de latence trop important entre la présentation et l'énonciation, pouvant suggérer un dénombrement. L'examineur présente donc la page cible durant 3 à 4 secondes, puis la page blanche pour laisser à l'enfant le temps de formuler une réponse, suivie de la page auto-correctrice, etc.

Les quantités à estimer sont les suivantes : 5, 7, 13, 22, 18, 15, 20, 37, 13, 15, 55 et 9.

Toutes les réponses sont acceptées. Le score se calcule par la somme des écarts par rapport à la cible (ex : cible à 12, réponse 15, écart de 3). Plus la somme des écarts est réduite plus l'enfant fait preuve de bonnes capacités d'estimations (quantification approximative).

k. L'épreuve de dénombrement

L'enfant dénombre des jetons disposés devant lui selon des présentations et quantités différentes : 10 en ligne, 5 en dôme, 9 en rectangle ouvert (4 jetons, 1 jeton, 4 jetons), 8 en carré et 14 en ligne. Il lui est demandé « combien » de jetons sont disposés devant lui pour chaque item et de répéter la cardinalité après sa réponse pour vérifier qu'il associe bien le dernier mot-nombre à la quantité ou s'il lui est nécessaire de recompter. Cette partie est notée sur 5 points, 1 par bonne réponse.

La deuxième partie consiste à lui donner 10 jetons et à effectuer des traitements autour de cette collection. L'enfant répond aux questions posées en les justifiant, avant d'effectuer sa manipulation. Les jetons sont restitués entre chaque manipulation pour travailler sur la même collection. Il lui est demandé s'il a suffisamment de jetons pour donner à l'examineur : 5, 8, 10, 11 et enfin 13 jetons. Pour chacun des trois premiers items il est accordé 2 points s'il justifie et réalise correctement les manipulations et 1 point supplémentaire s'il donne tous les jetons sans compter pour la question sur les 10. Pour les deux derniers items, l'examineur accorde 1 point pour la réponse, 1 point pour l'absence de manipulation et 2 points pour l'explication.

En troisième partie d'épreuve, dix jetons sont alignés. L'enfant pointe le numéral donné oralement par l'examineur : le 3^{ème}, le 5^{ème}, le 10^{ème}. Il n'est pas tenu compte de l'ordre dans lequel l'enfant déroule sa ligne. S'il commence par la droite, les points (1 par bonne réponse) sont accordés tant qu'il conserve la même stratégie au cours de l'épreuve.

L'enfant est noté sur un total de 23 points.

l. L'épreuve de comparaisons de collections

Une ligne de 7 jetons est placée devant l'enfant, tout en discutant avec lui pour l'empêcher de dénombrer. Le même nombre de jetons bleus est installé en correspondance terme-à-terme. Nous cherchons à vérifier ses capacités de raisonnement et de conservation à travers des questionnements. Il lui est tout d'abord demandé si les collections sont pareilles ou non (même nombre) en justifiant sa réponse.

Après vérification et/ou induction du raisonnement les jetons bleus sont rassemblés et réorganisés en « ronde » sans ajout ni retrait. La même question est posée, orientée vers la capacité de conservation. L'enfant replace les jetons en ligne (présentation initiale) en correspondance. S'ensuivent des manipulations de l'examineur systématiquement accompagnées du même questionnement et de demande de justification et manipulation pour redonner une équivalence. Le support retrouve sa forme initiale avant chaque nouvelle manipulation. L'enfant justifie ses réponses avant de manipuler une banque de jetons disponible.

Les modifications réalisées par l'examineur sont : l'ajout de deux bleus, le retrait d'un rouge, l'ajout de trois bleus (un en bout de ligne, les deux autres à l'autre bout). L'épreuve est notée sur 13 points : 1 point par réponse pertinente, 1 point par justification et 1 point pour les manipulations justes.

m. L'épreuve de comptage erroné

Une ligne de 12 jetons est placée devant l'enfant. Il lui est demandé d'être attentif pour juger de la qualité du comptage. L'examineur dénombre les jetons en coordonnant mot-nombre et pointage mais supprime volontaire le « cinq » dans son énumération, donnant ainsi une quantité finale de 13. Un point est accordé si l'enfant repère une erreur, un point de plus est obtenu s'il peut la situer. Un autre point est accordé s'il peut l'expliquer (raisonnement) et il obtient un dernier point s'il effectue un comptage de correction juste. L'épreuve se cote sur 4 points.

n. Les épreuves de logique : classification et sériation

Nous nous sommes basées sur les épreuves de la BLM pour nous intéresser aux structures logiques nécessaires dans les raisonnements mathématiques.

L'épreuve de classification est réalisée par le rangement des items donnés. Elle se divise en trois sous-parties. L'enfant reçoit tout d'abord des dominos colorés. L'examineur réalise des

appariements en modèle, les défait et lui demande de « ranger ensemble ce qui va bien ensemble ». Deux intrus sont en modèles uniques et ne peuvent être classés. La deuxième tâche est l'appariement d'animaux (parent et bébé), sans modèle. Deux intrus « animaux » sont également présents (poney et truie). Enfin des représentations de figures géométriques vertes plastifiées, grandes et petites sont proposées : triangle, rectangle, carré, rond. Pour celle-ci, l'examineur garde de côté le grand rectangle et le petit triangle. A la fin du classement de l'enfant les deux figures restantes lui sont données pour observer s'il peut modifier sa réponse. Deux points sont accordés pour chaque sous-épreuve. L'enfant obtient deux points supplémentaires pour le dernier item s'il manipule immédiatement les figures ajoutées pour modifier son classement. L'épreuve totale est notée sur 14.

L'épreuve de sériation se réalise à partir de ronds de papier plastifiés de différentes tailles, en désordre, que l'enfant doit « ranger ». Si aucune sériation spontanée n'émerge, le modèle est initié devant lui puis défait pour qu'il reproduise et continue la tâche. L'enfant obtient ainsi 5 points s'il réussit seul, 3 points s'il réussit après l'ébauche de l'examineur, 2 points s'il reproduit le modèle vu en entier, 1 point s'il coordonne deux items, 0 point en cas d'échec. En amont des tests, l'épreuve a été réalisé auprès d'autres enfants avec les bandes à sérier. L'échec étant systématique alors que les ronds étaient partiellement réussis, ces derniers ont été conservés pour cette épreuve.

o. Les épreuves de transcodages

1. Les épreuves d'associations code analogique et code symbolique visuel

Nous avons constitué une banque d'images, en libre accès sur internet pour réaliser nos items. Le but est d'explorer les capacités de transcodages de l'enfant et ainsi son passage d'un code à l'autre : ici les liens entre les codes analogique et symbolique.

L'épreuve d'association « fruits et légumes » se constitue de 5 items respectivement de 3, 8, 6, 2 et 5 dessins. A chacun est associé un rectangle contenant plusieurs réponses symboliques indo-arabe. L'enfant dénombre, énonce la quantité de chaque item, la retrouve dans le rectangle et l'entoure. Un point est accordé pour le dénombrement, un autre pour la cardinalité annoncée et un dernier quand le symbole cible est bien retrouvé. Cette épreuve se cote sur 15 points.

L'épreuve d'association « animaux » se constitue de 5 cases regroupant des quantités différentes d'animaux : 11, 6, 10, 5 et 11. L'intérêt de présenter à deux reprises la quantité 11 est

d'observer si une difficulté pour transcoder le premier, étayée par la correction, permet d'ajuster la réponse suivante. De plus, les animaux étant regroupés sur un espace restreint l'enfant doit adopter des stratégies de comptage (ordre, barrage, etc.).

L'enfant dénombre les animaux (1 point) et énonce le cardinal (1 point). Les rectangles de réponses ne présentent pas de choix mais un espace vide pour la réponse symbolique indo-arabe de l'enfant. Un point est accordé pour l'écriture des bons symboles, ainsi qu'un point supplémentaire si le sens de l'écriture est respecté, pour une épreuve sur 20 points.

L'épreuve totale de transcodage se note sur 35 points.

2. L'épreuve de dictée

Elle consiste à dicter à l'enfant des chiffres et des nombres à transcrire sur une feuille à part : 8, 6, 3, 1, 2, 0, 9, 5, 4, 7, 10, 12, 15, 13, 11, 14, 17, 19, 16, 18 et 20. Ils sont énoncés l'un après l'autre sans contrainte de temps pour l'enfant. Un point est accordé par nombre correspondant au lexique oral énoncé, un point de plus s'il est transcrit dans le sens conventionnel. En cas d'absence de réponse, 0,5 point sont accordés pour chaque item dont l'enfant sait et exprime son incapacité à répondre (preuve de métacognition). Aucun point n'est accordé si l'enfant transcrit au hasard. L'épreuve totale se porte sur 42 points.

3. L'épreuve de lecture

La tâche consiste à lire les nombres présentés en grand format (police 30) sur le livret : 7, 5, 3, 9, 4, 2, 6, 1, 8, 0, 10, 15, 11, 17, 19, 12, 18, 14, 16, 13, 23, 25, 28, 22, 21, 26, 24, 29, 27, 20. Un point est accordé par item correctement lus et 0,5 point en métacognition si l'enfant peut exprimer son incapacité. Aucun point n'est accordé en cas d'absence de réponse ou d'explication de l'enfant.

4. Les épreuves du code oral à analogique et du code symbolique à analogique

La première tâche consiste à énoncer des mots-nombres à l'enfant. Pour chaque terme entendu il est attendu une représentation par des barres (bâtons), qu'il entoure en fin de production. Un exemple est donné avec 3. Les items sont : 8, 2, 9, 6, 10, 12.

Un point est accordé pour la reconnaissance, identification ou répétition du mot-nombre et un autre point pour la correspondance analogique (maîtrise de l'impulsivité, respect des consignes).

La seconde épreuve consiste à associer une représentation analogique en bâtons entourés (comme précédemment) aux symboles indo-arabes transcrits pour l'enfant : 1, 4, 7, 5, 15, 20.

Un point est accordé pour la lecture du nombre et un point pour la correspondance analogique. Chaque épreuve est notée sur 12 points.

p. L'épreuve d'opérations

Cette épreuve se décline en trois sous-parties : 1) manipulations et indications orales, 2) manipulations simples, 3) indications orales simples. Le matériel nécessaire pour la réaliser est une boîte opaque et des jetons.

Dans la première sous-épreuve (1), l'examineur réalise les manipulations (opérations additives) devant l'enfant en faisant tomber les jetons un-à-un dans la boîte, appuyant ses explications de propos et des termes mathématiques adéquats. Il marque une pause entre le premier « émiettage » de jetons et le second. Ex : « Je mets 3 jetons dans la boîte. Et je mets deux autres jetons dans la boîte. Je fais $3 + 2$. Combien j'ai de jetons dans la boîte ? » (tout en réalisant les gestes).

Les opérations réalisées sont : $3+2$, $2+2$, $4+2$, $7+2$, $5+3$.

Dans la deuxième sous-épreuve (2), l'examineur réalise les manipulations sans indications orales. C'est à l'enfant de mettre en place une stratégie pour réaliser l'opération et répondre à la question « Combien ? » à la fin. Les opérations réalisées sont : $3+1$, $4+2$, $3+3$, $2+2$, $5+1$.

Dans la troisième sous-épreuve (3), l'examineur demande à l'enfant d'imaginer que les manipulations avec les jetons sont réalisées. Il ne donne que les indications orales et questionne par « Combien ? » en fin d'indication. Les opérations réalisées sont : $2+2$, $5+4$, $7+1$, $3+3$, $4+2$.

Chaque opération réussie rapporte 2 points. Si l'enfant récapitule ou répète les informations il gagne 1 point supplémentaire. Chaque série est ainsi notée sur 15 et l'épreuve totale se cote sur 45 points.

Durant cette épreuve, les stratégies de l'enfant sont observées (recours aux doigts, répétition des éléments, etc.).

q. L'épreuve de problèmes

Trois problèmes, sous la forme de courtes histoires, sont racontés à l'enfant.

Le premier consiste en une addition de bons points ($3+2$). Le deuxième est une addition de billes ($5+3$). Le troisième est un partage d'une pomme entre deux enfants. Il n'est pas attendu que

l'enfant fasse une division mais qu'il raisonne à partir d'une situation réelle : « comment tu découpes la pomme pour que chacun ait pareil à manger ? »

Pour chaque problème le terme « combien » n'est pas évoqué.

Deux points sont accordés pour le calcul lorsqu'il est juste et deux points pour le raisonnement (capacités de récapitulation des informations et explications).

L'épreuve totale est notée sur 12 points.

3. Les épreuves mnésiques

Les capacités mnésiques jouent un rôle important dans la cognition mathématique. La mémoire de travail et notamment le calepin visuo-spatial seraient ainsi prédictifs des performances arithmétiques (De Smedt, 2009). Pour cette raison nous avons intégré au livret Bilan des épreuves mnésiques de deux types : phonologiques et visuo-spatiales.

Nous cherchons à mesurer les empan mnésiques endroit et envers des enfants testés.

L'épreuve d'empan phonologique se réalise à partir de tableaux de listes de chiffres de plus en plus longues énoncés par l'examineur avec un ordre de présentation lent et régulier. Pour chaque difficulté (longueur) l'enfant a trois chances (3 listes de 3, 3 listes de 4, etc.). Il répète, dans l'ordre, les mots-nombres entendus. En cas d'échec à deux items consécutifs l'épreuve s'arrête. En cas de réussite, la liste du niveau supérieure est proposée. L'épreuve commence à 3 chiffres puis 4, 5 et 6.

L'épreuve phonologique envers est ensuite proposée. Elle est soigneusement expliquée à l'enfant et illustrée de deux exemples. Elle consiste à répéter les mots-nombres dans le sens inverse à celui entendu. L'enfant doit garder l'information en stock et la manipuler mentalement pour répondre.

Les deux épreuves sont poursuivies jusqu'à échec consécutif à deux listes.

L'épreuve d'empan visuo-spatiale est celle des cubes de Corsi (Corsi, 1972). Des cubes numérotés côté examinateur sont fixés sur une planche en carton.

Pour l'empan endroit l'examineur pointe des cubes, en suivant les grilles de consignes. L'enfant répète, dans l'ordre, la même opération. Il s'agit d'une mémorisation de séquences de localisations spatiales.

Pour l'empan envers l'enfant a recours à sa mémoire de travail pour restituer la séquence dans l'ordre inverse à celui observé. Pour chaque niveau, l'enfant possède deux chances. La réussite à l'une permet d'accéder au niveau supérieur. Deux échecs consécutifs arrêtent l'épreuve.

Il ne s'agit pas de notes mais de scores, attribués pour qualifier la mémoire verbale et non verbale de ces enfants. Il n'existe pas de normes établies pour les enfants de maternelle mais les scores attendus pour des enfants de 6 ans à l'épreuve de Corsi sont de 4,33 (+/- 1,21 écart-type) pour l'empan endroit et de 3,17 (+/- 1,60 écart-type) pour l'empan envers.

4. L'épreuve « contrôle » : lexique en production et réception

Nous avons souhaité intégrer une épreuve « contrôle » à ce mémoire. Il s'agit de l'exploration du lexique en production et réception de la ELO, les entraînements proposés ne concernant pas le langage hors celui mathématique.

Nous avons pour cette épreuve repris les livrets de passation de la ELO : réception et production. L'examineur réalise toute l'épreuve de lexique en réception (note sur 20). Il poursuit avec le lexique en production sur 20 (niveau grande section de maternel) pour les « qu'est ce que c'est » et les 10 items de « qu'est ce qu'il fait » pour une note globale sur 30. Les résultats sont reportés sur les graphiques pour juger de leur caractère (moyenne, faiblesse, pathologie). Cependant c'est davantage l'évolution lexicale et donc la progression des scores qui nous intéressent dans cette épreuve. Il est attendu que le lexique progresse légèrement grâce à la stimulation scolaire.

5. Le matériel d'entraînement

a. L'entraînement digital

Cet entraînement se réalise par le support digital. Il repose sur les exercices suivants :

- Comptage sur les doigts
- Configurations digitales à identifier et imiter
- Imitations des différentes représentations possibles pour un même nombre
- Comparaisons digitales

Pour réaliser l'entraînement un tableau scolaire est utile pour écrire les symboles indo-arabes à associer aux configurations présentées.

b. L'entraînement de la ligne numérique

Il se réalise avec divers matériels réalisés pour ce mémoire. Leur création s'appuie sur les études de Siegler et Ramani de 2008, s'inspire du travail de mémoire réalisé sur le sujet (Gendre et Pautonier, 2012), d'observations personnelles, de discussions avec les enseignants et des

professeurs. Pour augmenter la part ludique de l'entraînement et inciter davantage les enfants à s'investir plusieurs supports ont été créés. Des activités de jeux sont associées à chacun. Leur taille variée a pour but d'optimiser la flexibilité mentale et d'ancrer le nombre dans la notion d'espace et de déplacements.

1. Le plateau de jeu

Ce plateau plastifié est construit en format A3 sur trois lignes de 10 cases mesurant 3 cm sur 5 cm. Il est numéroté de 1 à 30. La première ligne comporte les cases de 1 à 10, la deuxième de 11 à 20 et la troisième de 21 à 30. Chaque ligne est reliée à la suivante par un « toboggan » ou « cours d'eau » sur lequel l'enfant fait glisser son pion avant de poursuivre son avancée. Cette idée de représentation repose sur le renforcement de la numération en base 10 et de la manière dont les symboles numériques se répètent et changent. Cette stimulation visuelle, même passive, cherche à stimuler le code symbolique indo-arabe de l'enfant. Le plateau de jeu est numéroté de 1 à 30 en raison des recommandations gouvernementales de l'éducation nationale. Les dizaines sont représentées en rouge et les unités en bleu pour reprendre les enseignements scolaires. Les dés et pions (perles carrées) sont fournis avec le plateau. [Annexe 2](#)

2. La ligne numérique haptique

Cette ligne numérique reprend l'idée de segment découpé par les nombres, présente dans les épreuves d'estimations linéaires. Créé sur un support de tableau flexible, ce matériel mesure 150 sur 44,50 centimètres. Un segment découpé par plusieurs « traits » représente la ligne de 0 à 10 et est tracé au marqueur indélébile. Les symboles indo-arabes sont représentés en volume par des petites billes de polystyrène (ingérables) rassemblées à l'aide d'une colle autorisée en milieu scolaire. Ces symboles mesurent 15 cm en moyenne. Ce support est fixé à côté du tableau, parfaitement accessible aux enfants. Il sert de recours, de soutien visuel et de stimulation kinesthésique pour placer au tableau les nombres demandés par la maîtresse sur segments de longueurs variables. Il vise le découpage visuo-spatial d'un segment linéaire pour régulariser la ligne numérique.

[Annexe 3](#)

3. La ligne numérique géante et les chiffres en pâte Fimo

Il s'agit d'une présentation linéaire de 0 à 30 de la ligne numérique. Ce support réalisé sur une bande de tissu de 425 sur 64 cm se roule et déroule rapidement. Il peut symboliser le

déroulement mental des grands nombres sur la droite tandis que les petits nombres restent sur la gauche. Les délimitations sont réalisées en ourlets thermocollants pour éviter tout effilochage. La ligne numérique est construite sous le format de cases de 13 sur 26 cm en moyenne contenant les symboles indo-arabe. Adjacente à ce découpage, sont réalisées en correspondance terme à terme les cases contenant les représentations analogiques équivalentes. Les unités sont transcrites par dessin en bleu, tout comme les points analogiques. Le regroupement de la dizaine est matérialisé par un dessin de « sac » rouge dans lequel sont contenus 10 points bleus. Les dizaines symboliques sont également en rouge. [Annexe 4](#)

L'enfant se déplace le long de la ligne, matérialisant ainsi le déplacement sur la ligne numérique mentale par son propre corps.

Les déplacements ne se réalisent pas selon un dé mais à partir de symboles indo-arabes piochés dans un sac opaque. Des chiffres en pâte FIMO, double couleur, ont ainsi été réalisés pour cet entraînement. Ils mesurent en moyenne 5,4 cm pour tenir dans la main. Le chiffre 6 est différencié du 9 par une barre indiquant les sens de lecture. [Annexe 5](#)

III. Procédure

1. Epreuves

Pour réaliser les épreuves et optimiser les passations et observations, nous avons pris les enfants en passation individuelle, dans la salle de réunion des professeurs. La durée des examens était variable et respectait le rythme de chacun. Les épreuves étant nombreuses et nécessitant une importante concentration nous n'avons pris les enfants que par tranche de 30 à 45 minutes. Au bout de ce temps imparti l'enfant était ramené à sa classe et un camarade prenait sa place. Nous avons revu les enfants autant que nécessaire pour réaliser toutes les épreuves, respectant les rythmes interindividuels. Un livret a été imprimé pour chaque enfant et chaque période de test. Cependant nous ne le donnions pas directement à l'enfant et nous lui présentions les pages au fur et à mesure. L'effectif d'enfants étant restreint, nous avons pu optimiser cette interaction duelle. L'enfant réalisait son travail sans l'aide de l'examineur mais celui-ci restait présent pour réexpliquer, noter les résultats, etc. Nous écrivions ou cotions la majorité des épreuves directement sur le livret.

La seule épreuve limitée par le temps était celle du Numeracy Screener (comparaisons de collections de points et de chiffres) afin de suivre les consignes de ce test.

L'ordre de présentation des épreuves a été fixé ainsi pour éviter l'installation d'une lassitude ou d'un ennui au cours des passations et pour susciter l'intérêt des enfants. Cet ordre était le même pour les bilans et pour les tests post-entraînement (bilan réduit) afin d'éviter un biais de présentation.

2. Entraînements

Les entraînements ont été réalisés par l'enseignante de la classe G. Chacun s'est déroulé sur une période de 3 semaines, à raison de 4 jours par semaine (lundi, mardi, jeudi, vendredi) et de 3 à 4 stimulations par jour. Les entraînements digitaux duraient entre 10 et 15 minutes et se déroulaient au cours des temps de réunion : entrée en classe, avant la cantine, au retour de la cantine et/ou en fin de journée. Les temps de réunion ou de discussion habituels ont simplement été allongés pour contenir cette activité.

Les entraînements de la ligne numérique ayant une contrainte matérielle d'installation, de réunion par groupes d'élèves et de la surveillance, voire aide, de l'enseignante et de son Atsem, ils étaient fréquents mais plus longs. Durant les 3 semaines, la maitresse a en effet organisé son planning pour réaliser les ateliers à trois reprises par jour durant 20 à 30 minutes.

Ainsi chaque enfant passait dans chaque atelier une fois par jour, 4 fois par semaine et à 12 reprises au total.

Chaque procédure a été détaillée à l'enseignante par modélisation. Une feuille de consignes était également remise pour chaque entraînement.

a. Entraînement digital

Cet entraînement se déroule avec toute la classe réunie autour de la maitresse. Les enfants sont assis selon leur habitude sur les bancs ou le tapis dédiés à cet effet. Quatre activités sont présentées à chaque rassemblement afin de maximiser la présentation et la manipulation au cours de chacune. Le protocole d'entraînement est cadré afin d'être systématisé mais le contenu est laissé libre à la maitresse afin d'augmenter son intérêt et sa fluidité à l'utilisation.

1. Comptage sur les doigts

L'enseignant face aux élèves et dos au tableau compte sur ses doigts, les enfants agissant en chœur avec elle. Cet exercice a pour but de favoriser la précision de la coordination doigt et mot-nombre mais aussi de permettre un échauffement avant les activités suivantes. Ils comptent

ainsi ensemble, plusieurs fois jusqu'à 10. La maitresse se tourne sur le côté, visible par tous les enfants pour compter en partant de la main gauche vers la droite à chaque comptage.

2. Configurations digitales à identifier et imiter

Face aux enfants, la maitresse présente une configuration digitale qu'ils reproduisent. Quand chacun imite correctement, elle pose la question « combien ». Les enfants répondent le plus rapidement possible. La maitresse passe ensuite à une autre configuration, etc.

Pour cet exercice, des photographies de toutes les configurations possibles sont fournies à la maitresse (utilisables pour les autres exercices) afin de lui fournir des modèles. Cependant elle choisit les configurations sur le moment, afin de bénéficier de libertés de mise en place.

3. Imitation des différentes représentations possibles pour un même nombre

La maitresse écrit au tableau un symbole indo-arabe de son choix. Elle montre ce symbole aux enfants puis le représente avec ses doigts en demandant d'identifier ce à quoi il correspond. Elle demande alors s'il existe d'autres manières de le faire. Les enfants explorent toutes les possibilités pour représenter le nombre. La maitresse initie les autres positions et ils recherchent ensemble tous les possibles, les récapitulant à la fin. Les enfants imitent les différentes postures puis un nouveau nombre est abordé.

Le but est de renforcer les liens entre les codes et notamment la reconnaissance rapide des quantités sur la main, y compris les non-conventionnelles.

4. Comparaisons digitales

Deux enfants viennent devant leurs camarades, à côté de la maitresse. Cette dernière donne un nombre à l'oreille de chacun et s'assure qu'ils le représentent bien avec leurs mains.

Les deux enfants présentent ensuite les configurations devant leurs camarades. La maitresse peut alors interroger un enfant spécifiquement, tous les enfants, plusieurs enfants, selon son choix. Les questions sont toujours les mêmes : « qui a plus ? » « qui a moins ? », « combien a... ? », « combien a... ? ».

Suite à la réponse de leurs camarades, chaque enfant debout écrit son symbole indo-arabe au tableau. La maitresse demande alors « comment faire pour qu'il y ait pareil ». Deux solutions sont alors possibles : l'addition ou la soustraction.

Selon les réponses des enfants la maitresse replace les enfants, baisse les doigts de celui qui a « plus » ou relève les doigts indiqués de celui qui a moins.

La maitresse vérifie systématiquement l'accord général et peut faire intervenir un autre camarade pour réaliser « l'opération ». Elle présente les deux cas de figures possibles même si une seule réponse est donnée par les élèves afin de stimuler la réversibilité opératoire.

Elle change ensuite de nombres cibles.

b. Entraînement de la ligne numérique

Cet entraînement repose sur les trois supports présentés précédemment. Chaque support de jeu possède ses propres règles. La classe est divisée en trois groupes au début des entraînements. Ces groupes sont conservés tout au long des stimulations afin de tourner équitablement dans les ateliers : 7 à 8 enfants par support. Pour éviter les biais de stimulations, les enfants évalués sont placés dans le même groupe. Chaque groupe passe dans chaque atelier chaque jour.

1. Le plateau de jeu

Les enfants sont laissés en autonomie une fois les explications données. Aucun contrôle spécifique n'est utile.

A tour de rôle, les enfants lancent le dé en mousse (fourni avec le plateau) et avancent leurs pions (perles de couleur) d'autant de cases qu'indiqué sur le dé. Le but est simplement de parvenir le plus rapidement possible à la case arrivée. Lorsqu'ils arrivent à 10, ils glissent le long du toboggan (ou de la rivière selon l'appellation de chacun) et attendent devant la case 11. S'ils ont dépassé la case 10, ils glissent et continuent leur comptage après cette courte pause. Chacun surveille les actions de ses camarades ce qui permet une activité active et passive. Lorsque tout le monde parvient à l'arrivée, ils recommencent jusqu'à écoulement du temps dédié.

2. La ligne haptique

Cet atelier requiert la présence et l'intervention régulières de la maitresse.

L'activité est réalisée au tableau. La maitresse y trace des segments de différentes longueurs et délimités par 0 et 10. Un nombre, que les enfants devront placer en équipe, est écrit à côté de chaque segment. Quand le symbole indo-arabe est identifié et oralisé ils le touchent sur la ligne numérique haptique, essaient d'estimer sa position par rapport aux autres puis calquent leur perception sur le segment au tableau. Les segments étant d'une longueur différente du support haptique leur réponse doit être adaptée en conséquence. La réalisation nécessite l'accord de

chacun. La maitresse contrôle ensuite leur performance et l'ajuste pour leur donner un retour correctif immédiat. Ils poursuivent avec les autres segments et éventuellement de nouveaux jusqu'à la fin du délai imparti.

3. La ligne numérique géante et les chiffres en pâte FIMO

Ce support nécessitant un espace important il est réalisé dans la salle de classe après déplacement des tables ou dans le couloir sous la surveillance de l'Atsem.

Il reprend le même principe que celui du plateau de jeu. L'enfant se déplace, dans un espace beaucoup plus grand, sur une ligne totalement linéaire. Tous les enfants partent de 0 et doivent aller jusqu'à 30. Ils matérialisent leur avancée en se déplaçant eux-mêmes en crabe pour symboliser le déroulement de la gauche vers la droite puis déposent leur pion dans la case de fin de déplacement. Un dé n'est pas utilisé pour ce support. Les enfants utilisent les chiffres en pâte FIMO. Un enfant tire au hasard un chiffre dans le sac et le dépose, à l'endroit et dans le sens conventionnel, dans la main de l'enfant suivant. Celui-ci, yeux fermés, explore tactilement le chiffre et essaie de le deviner. Nous souhaitons faire stimuler la perception tactilo-kinesthésique. Il n'est pas attribué de bonus ou malus si l'enfant réussit ou se trompe. De même l'enfant arrivant le premier à 30 n'est pas considéré comme le gagnant, tout le groupe doit arriver à la fin pour qu'il y ait une victoire. Ceci a été décidé pour éviter que l'enfant piochant un nombre n'influence les déplacements. Après reconnaissance du chiffres pioché et/ou vérification de celui-ci l'enfant se déplace d'autant de cases. Le 0 ne tient pas lieu d'échec lorsqu'il est tiré. Une fois que l'enfant le reconnaît il le redonne à la pioche et en reçoit un autre. Sa présence est uniquement qualitative.

Annexe 6

Partie IV
PRESENTATION DES RESULTATS

Le nombre de sujet étant limité à 8 pour ce mémoire, les résultats trouvés ne peuvent être généralisés et traités par logiciel de statistique. Le but des analyses suivantes est d'objectiver les progressions des groupes l'un par rapport à l'autre et de comparer leurs différences. Il est également intéressant d'observer les progressions interindividuelles, notamment pour le groupe entraîné.

Les analyses portent sur les objectifs de montrer l'effet des entraînements sur :

- Les performances globales
- Les performances directement entraînées par les stimulations
- Les performances indirectement concernées par les stimulations

Nous nous sommes intéressées aux performances des groupes l'un par rapport à l'autre et aux performances des enfants au sein des groupes. Pour cela nous avons calculé les écarts entre le bilan initial et le bilan final (à distance des entraînements) pour pouvoir comparer le groupe entraîné au groupe contrôle.

Nous avons porté notre attention sur l'évolution des résultats au cours des entraînements en comparant le bilan initial aux tests post-entraînements et le dernier test post-entraînement au bilan final (bilan à distance) afin de vérifier la pérennité des acquisitions pour le groupe entraîné.

I. Analyse des performances globales

Notre hypothèse générale est que les deux entraînements proposés augmenteront de manière globale les performances arithmétiques des enfants entraînés par rapport au groupe contrôle. Pour mettre en place tous les calculs nécessaires à ces comparaisons nous avons cotés tous les bilans et tests selon les mêmes facteurs. Nous avons entré toutes les données recueillies dans des tableurs Excel afin d'y appliquer des calculs d'écarts, de moyenne de progression incluant toutes les données ou une partie d'entre elles.

Pour comparer le groupe entraîné et le groupe contrôle nous ne nous sommes intéressés qu'aux écarts entre les épreuves du bilan initial (1) et du bilan final (2), bilans communs aux deux groupes. Nous avons pour cela calculé les écarts entre les bilans 1 et 2 pour chaque épreuve et nous les avons ramenés en pourcentages. Nous avons par la suite calculé la moyenne de progression de chaque enfant. Nous avons établi deux moyennes de progression par enfant : la moyenne aux épreuves mathématiques globales et lexicales (excluant les temps et empan) et la moyenne aux épreuves uniquement mathématiques (hors lexique du ELO).

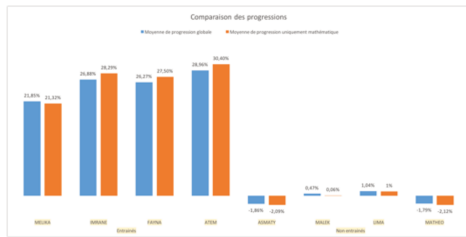


Figure 1. Comparaison des progressions globale et mathématiques selon les enfants et leur groupe (Annexe 7)

| | | Moyenne de progression globale | Moyenne de progression en mathématiques | Moyenne de progression des groupes en mathématiques | Moyenne de progression globale des groupes |
|---------------|--------|--------------------------------|---|---|--|
| Entrainés | Melika | 21,85% | 21,32% | 26,88% | 25,99% |
| | Imrane | 26,88% | 28,29% | | |
| | Fayna | 26,27% | 27,50% | | |
| | Atem | 28,96% | 30,40% | | |
| Non-entrainés | Asmaty | -1,86% | -2,09% | -0,79% | -0,54% |
| | Malek | 0,47% | 0,06% | | |
| | Lima | 1,04% | 1% | | |
| | Matheo | -1,79% | -2,12% | | |

Tableau 2. Progressions globales et en mathématiques de chaque enfant et moyenne générale de progression en mathématiques des groupes

Le tableau et le graphique retenus indiquent des différences importantes de progression entre les deux groupes. Le groupe entrainé augmente ainsi, en moyenne, ses performances mathématiques de **27,67%** de plus que le groupe non-entrainé (26,88%+0,79%). Il augmente également ses performances globales de **26,53%** de plus que le groupe non-entrainé (25,99+0,54).

Afin d'objectiver des différences concernant les scores obtenus en bilan initial et final selon les enfants et selon les groupes, une moyenne sur 20 a été réalisée. Elle tient compte des différentes épreuves et particulièrement des totaux de celles-ci mais exclue les résultats langagiers, mnésiques, les temps des différents tests, l'épreuve d'estimation de collections et tous les écarts en centimètres des estimations linéaires. Les résultats obtenus étaient divisés par la somme des scores des différentes épreuves (760) et ramenés sur 20. Les notes ont été arrondies au dixième.

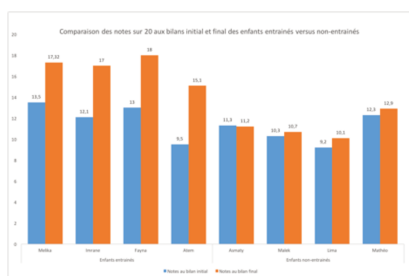


Figure 2. Comparaison des notes sur 20 obtenues aux bilans initial et final par les groupes entraînés et non-entraînés (Annexe 8)

Une moyenne des notes sur 20 des groupes entraînés versus non-entraînés aux deux bilans a également été calculée pour objectiver les différences. Une progression en pourcentage entre ces mesures a également été réalisée pour objectiver les différences de progressions entre les groupes.

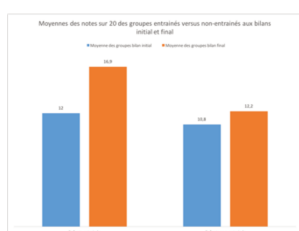


Figure 3. Comparaison des moyennes des notes sur 20 du groupe entraîné et du groupe non-entraîné aux bilan initial et final (Annexe 9)

Ce graphique objective une progression moyenne des notes de **4,9 points** pour le groupe entraîné contre **1,4 point** pour le groupe contrôle, donnant un écart de **3,5 points** sur 20 en faveur du groupe entraîné.

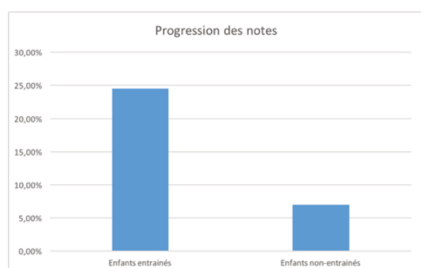


Figure 4. Comparaison des progressions des moyennes des notes entre le groupe entraîné et le groupe non-entraîné

En terme de pourcentage le groupe entraîné augmente ainsi ses notes de 24,5% tandis que le groupe contrôle ne progresse que de 7%, donnant un écart de progression de 17,5% en faveur du groupe contrôle concernant la moyenne de progression des notes.

Selon ces différents relevés et graphiques le groupe entraîné semble présenter des résultats bien supérieurs (+ tant en terme d'évolution des scores qu'en terme de progression que le groupe non-entraîné. Des disparités semblent exister entre enfants présentant ainsi des évolutions variables positives ou négatives. Les moyennes de progression permettent d'objectiver comment les enfants d'un même groupe évolue par rapport à la moyenne générale. Ainsi certains enfants

dépassent la moyenne de progression et de notes tandis que d'autres présentent des résultats inférieurs. Les pourcentages de progression concernant les épreuves uniquement mathématiques par rapport aux épreuves globales (incluant le langage) ne semblent pas présenter de différences significatives. Ils sont davantage développés dans la partie de l'épreuve contrôle.

II. Analyse des performances par épreuves

Nous nous intéressons aux différences de progressions pouvant exister entre les épreuves liées aux entraînements et les autres.

1. Les gains aux épreuves mathématiques

Nous avons établi des tableaux de résultats dont nous avons mesuré les écarts entre les bilans 1 et 2 afin d'observer les progressions de chaque enfant dans les différentes épreuves mathématiques. Nous avons de plus réalisé des moyennes de progression par groupe (entraîné vs contrôle) afin de comparer les gains du groupe entraîné par rapport au groupe contrôle.

Nous avons finalement rassemblé les résultats dans le tableau suivant miniaturisé (disponible en annexe).

| | Non-entraînés | | | | Entraînés | | | | Gains du Groupe E par rapport au groupe NE |
|--|---------------|----------|----------|---------|-----------|----------|----------|---------|--|
| | Activité | Maîtrise | Maîtrise | Moyenne | Maîtrise | Maîtrise | Maîtrise | Moyenne | |
| Classification des nombres entiers | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 20,00% | 20,00% | 20,00% | 20% | 20,00% |
| Moyenne de l'âge | -6,33% | 0,00% | 10,00% | 8,64% | 0,00% | 9,37% | 10,00% | 16,14% | 18,18% |
| Rayonnes | 4,34% | 0,00% | 10,00% | 10,00% | 6,33% | 10,00% | 14,29% | 4,76% | 13,33% |
| Formalisation du nombre | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 10,00% | 10,00% | 0,00% | 10,00% |
| Nombres entiers symbolique | 1,00% | 0,00% | 10,00% | 6,00% | 4,23% | 24,00% | 17,00% | 12,00% | 41,50% |
| Nombres entiers numériques | 1,00% | 10,00% | 1,00% | 2,00% | 20,00% | 40,00% | 10,00% | 10% | 40,00% |
| Charte numérique Score | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 33,33% | 33,33% | 33,33% | 0,00% | 25,00% |
| Opère des chiffres entiers | 2,00% | 0,00% | 0,00% | 2,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Opère des nombres entiers d'écrire | 4,33% | 4,33% | 16,67% | 4,17% | 1,66% | 41,67% | 21,00% | 12,50% | 26,00% |
| Estimation de la longueur des nombres d'écrire | 0,00% | 1,10% | 4,00% | 10,00% | 25,00% | 21,00% | 11,00% | 10,00% | 20,00% |
| Opère de la suite géométrique score | 0,00% | 0,00% | 3,33% | 0,00% | 0,00% | 11,11% | 21,11% | 40,00% | 10,11% |
| Estimation linéaire Table Score | 0,00% | 0,00% | -3,33% | -21,67% | -6,25% | 44,11% | 38,11% | 48,11% | 44,17% |
| Estimation linéaire Table Score part | 0,00% | 11,90% | 10,30% | -7,70% | -10,10% | 58,80% | 29,50% | 29,50% | 48,80% |
| Dénombrement | 4,34% | 4,35% | 0,00% | 0,00% | 3,17% | 30,43% | 20,00% | 20,00% | 27,17% |
| Dénombrement de collections | 7,69% | 15,38% | 0,00% | 0,00% | 3,85% | 38,46% | 11,90% | 21,90% | 29,69% |
| Comptage erreur | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 20,00% | 20,00% | 0,00% | 21% | 18,75% |
| Classification | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Association analogique -> Indir arabe Table | 0,00% | 0,67% | 3,33% | 0,00% | 2,00% | 40,00% | 21,33% | 20,00% | 28,33% |
| Identification des représentations digitales Table | 4,00% | 10,40% | 3,40% | 0,00% | -1,10% | 0,00% | 44,40% | 13,70% | 19,80% |
| Production d'un nombre digital | 0,00% | 0,33% | 0,00% | -3,33% | -1,67% | 0,00% | 8,33% | 6,67% | 13,33% |
| Injections France main gauche | 10,00% | 3,33% | 3,33% | 0,00% | 4,17% | 3,33% | 13,33% | 10,00% | 12,00% |
| Injections France main droite | 4,67% | 3,33% | -3,33% | -3,33% | -1,67% | 0,00% | 16,67% | 20,00% | 13,33% |
| Comptage digital | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Groupes d'écriture | 4,33% | 2,17% | 4,33% | 2,17% | 1,00% | 8,33% | 19,17% | 2,17% | 11,67% |
| Opère | 4,33% | 3,33% | 3,33% | 1,10% | 1,00% | 20,17% | 12,67% | 10,17% | 17,33% |
| Opère | 3,33% | 0,00% | -6,67% | 6,67% | -0,83% | 3,33% | 23,33% | 30,33% | 20% |
| Transcrire oral en analogique | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 2,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 25,00% | 0,00% |
| Transcrire symbolique en analogique | 0,00% | 4,17% | 0,00% | 0,00% | 1,66% | 25,00% | 16,67% | 33,33% | 31,25% |
| Moyenne | 0,00% | 0,00% | 3,33% | 0,00% | 8,61% | 13,00% | 13,00% | 13,11% | 20,81% |
| Opération total | 2,22% | 2,22% | -2,22% | 0,00% | 0,56% | 48,89% | 60,00% | 33,33% | 64,61% |
| Problèmes total | 4,33% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | -2,68% | 75,00% | 58,33% | 42,67% | 62,50% |

Tableau 3. Récapitulatif des progressions de chaque enfant aux différentes épreuves mathématiques, des moyennes de progression des groupes et du gain du groupe entraîné (E) par rapport au groupe non-entraîné (NE) (Annexe 10)

Le groupe entraîné présente des gains positifs importants par rapport au groupe contrôle, excepté à l'épreuve de classification (-7,14%). Ce tableau permet d'objectiver les gains individuels des enfants aux différentes épreuves mathématiques liées aux entraînements et indirectement concernées par les entraînements. Il n'est pas tenu compte des temps, des empan, ni du détail épreuves d'estimation linéaire ainsi que d'identification (et comparaison) des représentations digitales.

2. Les épreuves liées aux entraînements

Les épreuves liées aux entraînements sont : l'estimation linéaire (score et centimètre), l'identification digitale (et les comparaisons), la production digitale, l'imitation des praxies digitales, le comptage sur les doigts et les gnosies digitales. Nous avons repris les progressions de chaque enfant entraîné et non-entraîné afin d'établir des graphiques permettant de comparer leurs performances.

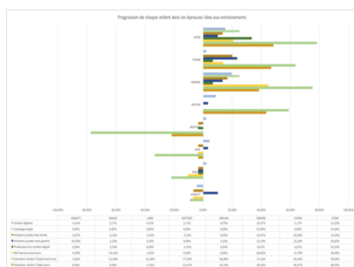


Figure 5. Progression de chaque enfant entraîné et non-entraîné dans les épreuves directement liées aux entraînements (Annexe 11)

Cependant les items étant particulièrement nombreux nous nous sommes intéressées à la moyenne de progression de chaque enfant pour ce groupe d'épreuves.

Nous avons par la suite établi un graphique permettant d'objectiver les différences entre la moyenne de progression aux épreuves liées aux entraînements par rapport aux épreuves mathématiques plus générales.



Figure 6. Comparaison des moyennes de progression aux épreuves directement liées aux entraînements des enfants non-entraînés et entraînés (Annexe 11)

La moyenne de progression du groupe entraîné est ainsi de **24,18%** alors que celle du groupe contrôle est de **-6,13%**, montrant un écart de **30,31%** en faveur du groupe entraîné.



Figure 7. Comparaison des moyennes de progressions entre épreuves directement liées aux entraînements et épreuves mathématiques générales (Annexe 13)

Les moyennes de progression établies aux épreuves directement liées aux entraînements démontrent une augmentation importante des performances des enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés. Les mesures indiquent cependant des progrès aussi bien concernant les épreuves liées aux entraînements qu'aux épreuves mathématiques générales.

Nous nous sommes intéressés plus précisément au détails des différentes épreuves liées aux entraînements selon les enfants. Les différents résultats sont présentés dans les graphiques ci-dessous.

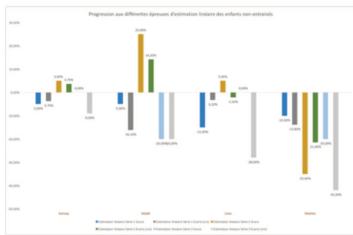


Figure 8. Détails des progressions des enfants non-entraînés aux épreuves d'estimation linéaire (Annexe 14)

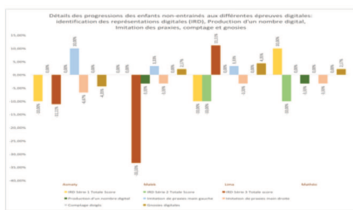


Figure 9. Détails des progressions des enfants non-entraînés aux différentes épreuves digitales (Annexe 15)

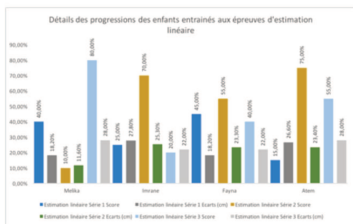


Figure 10. Détails des progressions des enfants entraînés aux épreuves d'estimation linéaire (Annexe 16)

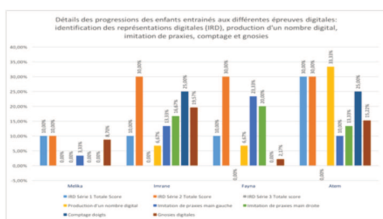


Figure 11. Détails des progressions des enfants entraînés aux différentes épreuves digitales (Annexe 17)

Ces graphiques objectivent, de nouveau, l'évolution positive du groupe entraîné par rapport au groupe non entraîné aux épreuves directement liées aux entraînements.

Les différences d'évolution montrent cependant que les enfants entraînés évoluent différemment au sein du même groupe.

3. Les épreuves indirectement concernées par les entraînements

Concernant les épreuves indirectement liées aux entraînements, les résultats des différents enfants ont été recueillis et traités comme précédemment afin de construire des graphiques de moyennes de progression.

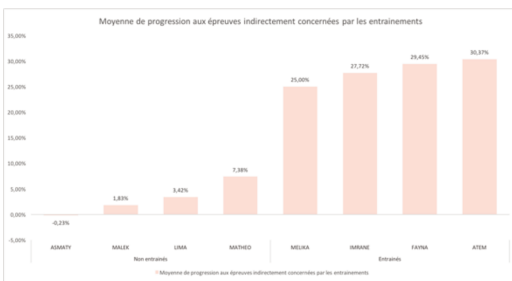


Figure 12. Moyenne des progressions des enfants entraînés et non-entraînés aux épreuves indirectement concernées par les entraînements (Annexe 18)

Ces mesures objectivent d'importants progrès pour le groupe entraîné par rapport au groupe contrôle quant aux épreuves indirectement liées aux entraînements, allant dans le sens de nos hypothèses secondaires. Les entraînements semblent avoir des effets généraux sur les performances arithmétiques. Le groupe entraîné progresse ainsi en moyenne de **28,14%** tandis que le groupe contrôle progresse de **3,1%**, donnant un écart de **25,04%** en faveur du groupe entraîné.

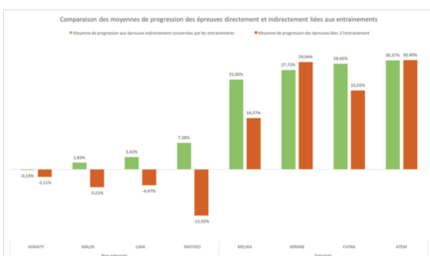


Figure 13. Comparaison des moyennes de progression des épreuves directement et indirectement liées aux entraînements des enfants entraînés et non-entraînés (Annexe 19)

Nous avons également réalisé un graphique détaillant les gains du groupe entraîné par rapport au groupe non-entraîné pour les épreuves indirectement liées aux entraînements.

Ce graphique montre l'augmentation des performances aux épreuves indirectement liées aux entraînements du groupe entraîné par rapport au groupe contrôle. Traduits en gains, ils témoignent d'une importante amélioration en faveur de l'entraînement.

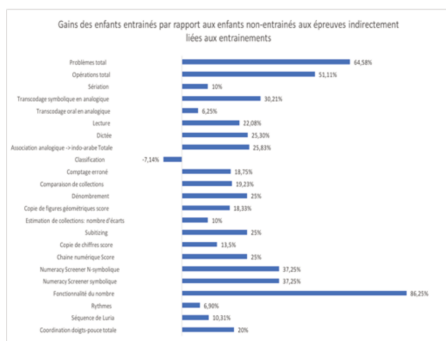


Figure 14. Gains des enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés aux épreuves indirectement liées aux entraînements (Annexe 20)

Seule l'épreuve de classification est négative pour le groupe entraîné (-7,14%). Elle s'explique par la progression plus importante du groupe non-entraîné à cette épreuve.

4. Progression de la chaîne numérique verbale

Une de nos épreuves portait sur la chaîne numérique verbale et ses niveaux. Nous nous sommes intéressées à l'évolution de la chaîne numérique au cours du temps et l'influence de l'entraînement sur sa construction. Voici les gains obtenus entre le bilan 1 et le bilan 2 :

| Entraînés | | | | Non-entraînés | | | |
|-----------|--------|-------|------|---------------|-------|------|--------|
| Melika | Imrane | Fayna | Atem | Asmaty | Malek | Lima | Mathéo |
| + 7 | + 12 | + 10 | + 17 | + 0 | + 0 | + 0 | + 0 |

Tableau 4. Récapitulatif des gains dans la chaîne numérique verbale des enfants entraînés et non-entraînés.

Les détails des chaînes numériques verbales respectives de ces enfants sont détaillés dans l'Annexe 21. Tous les enfants entraînés ont atteint et dépassé l'objectif de comptage jusqu'à 30 des recommandations de l'Education Nationale. Il semblerait que l'augmentation de la chaîne numérique ne concerne que les enfants entraînés.

5. L'évolution des temps d'exécution

Nous avons intégré des épreuves chronométrées dans cette étude afin d'observer s'il y avait une évolution des temps de réalisation des tâches entre les enfants entraînés et non-entraînés. Une moyenne des progressions des temps aux différentes épreuves (estimations linéaires, comparaisons et identification digitales, copie de chiffres et copie de figures) a été établie pour chaque enfant. Elle est comparée à la moyenne de progression aux épreuves liées aux entraînements. Ce graphique ne révèle aucune donnée probante quant aux performances temporelles. Il n'existe pas de différence significative entre le groupe entraîné et le groupe non-entraîné. Les progressions temporelles varient d'un enfant à l'autre au sein des groupes. Les enfants du groupe entraîné ne semblent donc pas plus rapides que ceux du groupe non-entraîné. Les entraînements ne semblent donc pas influencer le temps des productions.

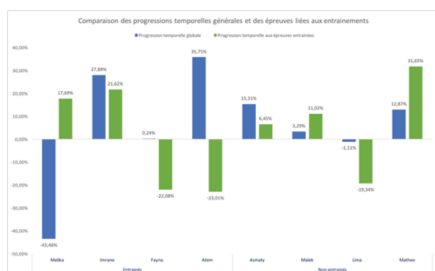


Figure 15. Comparaison des progressions temporelles des enfants entraînés et non-entraînés entre la moyenne des quatre épreuves chronométrées et celle des épreuves liées aux entraînements (Annexe 22)

Les temps semblent cependant varier davantage dans le groupe entraîné par rapport au groupe non-entraîné. En effet les enfants entraînés présentent de plus grandes variations tant en augmentation qu'en diminution du temps d'exécution des tâches. Ils diminuent le temps nécessaire aux exercices de manière importante à minime dans 3 cas sur 4. Un enfant néanmoins augmente énormément ses temps aux épreuves globales par rapport aux épreuves entraînées. Cependant aux épreuves entraînées 2 enfants sur 4 diminuent leur temps d'exécution tandis que les deux autres les augmentent jusqu'à 23%. De manière générale le groupe contrôle diminue ses temps d'exécution tant aux épreuves globales qu'aux épreuves entraînées (non-entraînées pour eux). Seul 1 enfant sur 4 présente une augmentation de ses temps.

6. Les épreuves mnésiques

Les épreuves des empanns phonologiques et visuels ont été ajoutées aux bilans que nous avons réalisés. La différence entre le bilan 2 et le bilan 1 a révélé une amélioration des performances mnésiques endroit et envers des enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés. Le tableau ci-dessous indique les empanns initiaux et les gains en couleur de chacun matérialisés par une addition.

| | Empan phonologique endroit | Empan phonologique envers | Empan visuel (Corsi) endroit | Empan visuel (Corsi) envers |
|--------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Melika | 4 + 0 | 0 + 3 | 3 + 1 | 2 + 1 |
| Imrane | 4 + 0 | 2 + 1 | 4 + 0 | 2 + 1 |
| Fayna | 3 + 1 | 2 + 2 | 3 + 1 | 2 + 1 |
| Atem | 4 + 0 | 0 + 3 | 2 + 2 | 0 + 2 |
| Asmaty | 3 + 0 | 2 + 0 | 2 + 0 | 2 + 0 |
| Malek | 3 + 0 | 0 + 0 | 3 + 0 | 0 + 0 |
| Lima | 4 + 0 | 0 + 0 | 2 + 0 | 2 + 0 |
| Mathéo | 3 + 0 | 2 + 0 | 2 + 0 | 2 + 0 |

Tableau 5. Empanns mnésiques endroit et envers phonologiques et visuels des enfants entraînés et non-entraînés et leurs gains à l'issue du bilan 2

Il semble selon les résultats obtenus que seuls les enfants entraînés progressent dans leurs empanns mnésiques. Aucune amélioration mnésique n'est constatée dans les résultats des enfants du groupe contrôle.

Nous avons établi les moyennes des empanns mnésiques du groupe entraîné par rapport au groupe non-entraîné.

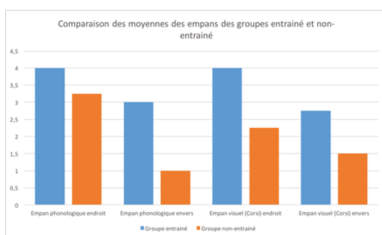


Figure 16. Comparaison des moyennes des empanns du groupe entraîné par rapport au groupe non-entraîné (Annexe 23)

Les résultats indiquent en fin de bilan 2 de meilleurs résultats du groupe entraîné par rapport au groupe contrôle.

7. L'épreuve contrôle : lexique en réception et production

L'épreuve de lexique en réception et production du ELO était selon nous une épreuve contrôle acceptable. Elle avait pour but de montrer que les entraînements n'avaient que peu d'incidence sur ces performances. Nous nous attendions à des variations légères dues aux enseignements scolaires très centrés autour de la langue et de la richesse lexicale en grande section de maternelle. Pour objectiver les évolutions au sein de cette épreuve, nous avons réalisé les différences entre les bilans 1 et 2 des épreuves de lexique en réception et progression pour chaque enfant et nous avons traduit ceci en pourcentage de progression.

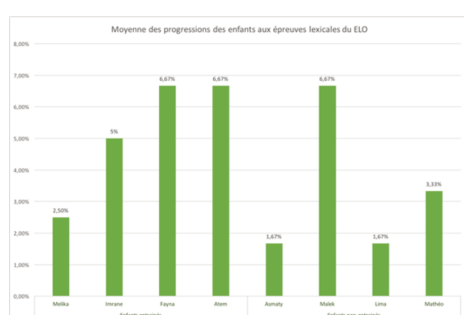
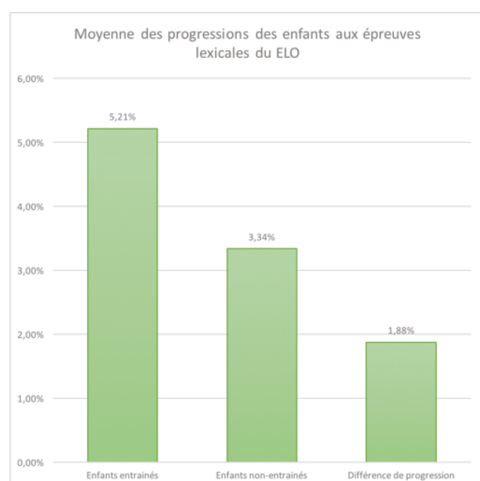


Figure 17. Comparaison des moyennes de progression des enfants aux épreuves lexicales du ELO (Annexe 24)

Nous avons également réalisé une moyenne de ces progressions en fonction des groupes et nous avons calculé la différence entre ces deux moyennes.



Ce graphique indique une différence de progression entre les deux groupes, cependant minimes (1,88%) par rapport aux différences en mathématiques (+27,67%).

Figure 18. Comparaison des moyennes de progression des groupes entraîné et non-entraîné aux épreuves lexicales du ELO

III. Progression au cours des tests du groupe entraîné

Nous nous sommes enfin intéressées à la progression au fil des entraînements. Pour cela, nous nous sommes centrés sur les enfants entraînés uniquement puisqu'ils sont les seuls à avoir bénéficié des tests post-entraînements. Nous nous avons relevé les résultats en ne prenant en compte que épreuves communes au bilan et à sa version réduite (test post-entraînement). Nous avons ainsi exclu de nos calculs les épreuves suivantes : les empans (uniquement abordés dans la partie dédiée), la coordination doigts-pouce, la séquence de Luria, les rythmes, les copies de chiffres et de figures, la classification et la sériation, les transcodages (lecture, dictée, analogique en symbolique et symbolique en analogique), les opérations et les problèmes.

Toutes ces épreuves étant abordées dans la comparaison globale, nous nous sommes focalisées sur les restantes pour établir des comparaisons de progression entre le bilan 1 et post-entraînement 1, entre le post-entraînement 1 et le post-entraînement 2, entre le post-entraînement 2 et le bilan final et entre le bilan 1 et le bilan final.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

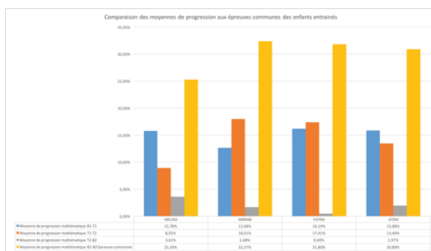


Figure 19. Comparaison des progressions des enfants entraînés au fil des entraînements (Annexe 25)

On remarque des disparités d'évolution selon les enfants.

Majoritairement il semble y avoir une importante progression entre le bilan initial et le post-entraînement 1 (entraînement digital), une augmentation des performances entre les deux post-entraînements (entraînement à la ligne numérique) et une faible évolution entre le post-entraînement 2 et le bilan final.

En moyenne entre le bilan 1 et le test post entraînement 1 (T1) les enfants progressent de **15,13%**.

Entre le test post-entraînement 1 (T1) et 2 (T2) ils progressent de **14,45%**.

Ils présentent une légère progression entre le post-entraînement 2 et le bilan final, de **1,94%**.

La progression moyenne des performances mathématiques communes entre les bilans 1 et 2 ne correspond pas à la somme des autres moyennes. En effet, s'y intègrent des données qualitatives (estimations de points et écarts en centimètres) pour lesquelles l'enfant varie par rapport à lui-même. Ceci entraîne des écarts de progression, positifs ou négatifs, qui impactent la moyenne de

progression. La progression moyenne des épreuves communes s'élève entre les bilans 1 et 2 à une augmentation de **30,09%**.

Globalement les enfants entraînés présentent des augmentations importantes (+ 15,13% et +14,45%) suite aux deux entraînements proposés.

| | Moyenne de progression des enfants entraînés | Moyenne de progression des enfants non-entraînés | Gains du groupe entraîné par rapport au groupe contrôle |
|---|--|--|---|
| Moyenne de progression globale | 25,99% | - 0,54% | 26,53% |
| Moyenne de progression aux épreuves mathématiques | 26,88% | -0,79% | 27,67% |
| Moyenne d'augmentation des notes | 24,5% | 7% | 17,5% |
| Moyenne de progression des épreuves liées aux entraînements | 24,18% | -6,13% | 30,31% |
| Moyenne de progression des épreuves indirectement liées aux entraînements | 28,14% | 3,1% | 25,04% |
| Moyenne de progression à l'épreuve contrôle : lexique (ELO) | 5,21% | 3,34% | 1,88% |

Tableau 6. Récapitulatif des moyennes de progression aux différentes épreuves des enfants entraînés et non-entraînés et des gains du groupe stimulé par rapport au groupe contrôle

Les différentes analyses réalisées semblent aller dans le sens d'une progression générale des enfants entraînés, très importante, par rapport aux enfants non-entraînés.

Partie V
DISCCUSION DES RESULTATS

Notre étude s'intéresse à l'impact d'entraînements digital et de la ligne numérique sur les compétences liées au nombre d'enfants de grande section de maternelle, entre 4 et 6 ans. Nous cherchions à montrer qu'une pratique intensive sur une courte période de ces deux entraînements pouvait augmenter les capacités de représentations numériques, plus particulièrement analogiques, et les compétences requérant ces représentations du nombre. En créant nos épreuves de bilans, nous nous attendions à ce que les enfants progressent plus spécifiquement dans les tâches liées aux entraînements. Nous pensions que l'effet des entraînements pourrait être en partie généralisé par les enfants et qu'ils pourraient ainsi enrichir leurs compétences générales. Cependant, nous ne pouvions émettre aucune prédiction sur la valeur de ces progressions. Les entraînements ont été dispensés auprès d'une classe entière (G) dont un échantillon a été sélectionné pour être testé. Un groupe contrôle sélectionné à partir d'une autre classe (S) n'a bénéficié d'aucun entraînement. Les deux groupes ont été soumis aux mêmes bilans initial et final tandis que le groupe entraîné était testé en fin de chaque entraînement. Le bilan final a été dispensé à distance de 2 mois du dernier entraînement afin d'observer si les performances du groupe entraîné étaient pérennes et de comparer leurs acquisitions au groupe non-entraîné.

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

1. Effet des entraînements sur les performances globales

Notre première hypothèse secondaire était que le groupe entraîné augmenterait davantage ses performances arithmétiques globales que le groupe contrôle. Conformément à nos attentes les performances des enfants entraînés sont nettement supérieures à celles des enfants non-entraînés. Il semble exister une variabilité de progression qui s'observe dans les graphiques. Les enfants n'obtiennent pas les mêmes gains et gravitent autour de la moyenne de leur groupe.

Ces résultats semblent confirmer notre hypothèse.

Il ne nous est pas possible de dissocier l'effet des deux entraînements car nous avons procédé à leur application sur le même groupe à la suite. Nous ne pouvons donc pas affirmer si notre entraînement linéaire objective le même type de résultat que Siegler et Ramani (Siegler et Ramani, 2008).

Si nous nous intéressons aux résultats obtenus en ciblant les épreuves communes aux bilans et tests post-entraînements nous remarquons une amélioration des scores de toutes les tâches mathématiques dès la fin du premier entraînement, y compris aux épreuves de dénombrement et d'estimation linéaire.

Nous ne pouvons donc établir de corolaire avec cette étude car nos résultats sont biaisés par l'utilisation du précédent entraînement. Pour observer l'effet plus significatif d'un entraînement de la ligne numérique sur tous ces domaines de cognition mathématique et tenter de trouver des résultats plus proches à ceux de Siegler et Ramani, il nous aurait fallu commencer par l'entraînement de la ligne numérique et ne pas avoir recours aux autres supports créés à cet effet. Cependant le but de notre étude n'était pas de valoriser un support plutôt qu'un autre mais de stimuler au maximum les performances des enfants entraînés à travers des supports ludiques.

Les performances globales nettement supérieures des enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés nous poussent cependant à nous interroger sur notre méthodologie et les biais possibles des épreuves que nous avons utilisées.

Nos résultats semblent confirmer une amélioration des différentes représentations du triple code de Dehaene (Dehaene, 1992). La représentation analogique apparaît plus performante en regard des épreuves de subitizing, d'estimations de collection mais également de comparaisons de collection du Numeracy Screener. La représentation auditivo-verbale paraît meilleure à travers les épreuves de comptage. La représentation symbolique indo-arabe ne peut être testée purement car elle fait appel à la représentation analogique. Tous les liens entre les différentes représentations semblent se renforcer à travers l'amélioration de toutes les épreuves : dénombrement, transcodages, estimation linéaire, comparaisons symboliques, etc. Les entraînements semblent donc influencer positivement les performances des systèmes de représentations et plus généralement les compétences arithmétiques les utilisant.

2. Les épreuves liées aux entraînements

a. Effet des entraînements sur les performances à l'épreuve d'estimation linéaire

La moyenne de progression entre le bilan 1 et le bilan 2 permet d'objectiver les importants progrès réalisés par le groupe entraîné dans les épreuves d'estimation linéaire tant en score qu'en centimètre. Ces résultats montrent une amélioration de la précision des enfants dans cette épreuve. Les scores augmentés traduisent un meilleur découpage de l'espace de la ligne numérique, tendant ainsi vers une représentation plus linéaire qu'au bilan initial. La diminution des écarts en centimètres objective plus finement cette précision et démontre une meilleure appréhension de l'espace visuel et des actions sur celui-ci.

Nos résultats tendent ainsi vers un réel effet des entraînements sur l'estimation linéaire. Nous observons néanmoins des disparités de progression dans le groupe entraîné. En effet, les enfants n'augmentent par leurs scores de la même façon, objectivant une évolution interindividuelle. Ainsi il semblerait que Melika ait davantage progressé sur la troisième épreuve, pour le placement déterminé des nombres, tandis que ses camarades progressaient davantage dans le placement d'un nombre auditivo-verbale. Ceci pourrait s'expliquer par la connaissance plus pointue de sa chaîne numérique et des discriminations des nombres que semblait posséder Melika par rapport à ses camarades. Cependant nous n'en avons aucune certitude. S'il était intéressant d'intégrer les trois modalités à l'épreuve d'estimation linéaire, nous ne pouvons établir de conclusion réelle. Il semblerait que les enfants progressent davantage pour les domaines dans lesquels ils sont les plus faibles. Cependant les trois épreuves d'estimation linéaire étant extrêmement liées, c'est davantage le recours aux différents codes qui serait en jeu. Selon cette théorie Melika renforcerait préférentiellement son code analogique par rapport à ses camarades davantage dans le lien entre auditivo-verbal et analogique.

Les trois épreuves imbriquant les différents codes nous ne pouvons donner d'affirmation à ce propos.

b. Effet des entraînements sur les performances digitales

Les différents graphiques réalisés à partir des progressions de chaque enfant permettent d'objectiver des différences d'évolution. De nouveau les progressions sont très variables et chacun semble surtout augmenter ses compétences dans les domaines où leurs scores initiaux sont plus faibles. Nous supposons qu'il s'agit là de marges de progression propres à chacun et dépendant des capacités initialement disponibles. Cependant, certaines épreuves étant presque saturées, les enfants ne pouvaient montrer une évolution plus importante.

Les enfants entraînés progressent beaucoup aux épreuves digitales par rapport aux enfants non-entraînés. Mais Melika progresse bien moins que ses camarades aux épreuves d'imitations de praxies. Ceci s'explique probablement par le fait qu'ayant une mère sourde et signant pour communiquer avec celle-ci, Melika a de très bonnes représentations digitales mentales. Ses erreurs sont d'ailleurs davantage à mettre sur le compte de ce bilinguisme car il lui arrivait de représenter initialement des configurations signantes et/ou d'avoir besoin d'un contrôle visuel plus important pour vérifier son imitation. Cette caractéristique constitue un biais dans notre étude puisqu'il n'était pas possible de la prendre en compte pour ses notations. Ceci est notamment valable pour toutes les épreuves digitales. Melika pouvait être avantagée pour certains items mais une certaine impulsivité et la mentalisation des gestes signants entraînaient

également des erreurs. Cependant, sa progression dans les épreuves digitales, même si moins que ses camarades, montre l'impact positif des entraînements sur ce type de capacités.

Nous nous interrogeons cependant sur la pertinence de notre épreuve d'identification et de comparaison des représentations digitales. En effet, nous pensions que les enfants auraient recours à des reconnaissances rapides, en particulier après les entraînements, du même type que le subitizing ou les reconnaissances des configurations canoniques. Si ce recours s'est progressivement installé chez le groupe entraîné, il restait minime et constamment accompagné d'une vérification par le dénombrement. Ceci majorait grandement les temps de production ce qui rendait cet aspect peu pertinent. Nous nous réjouissons cependant des stratégies ayant émergé. Ces enfants ont progressivement mis en place un comptage systématique leur permettant des comparaisons fines dans nos épreuves mais aussi en salle de classe. Leur intérêt pour les nombres pourrait ainsi favoriser leurs acquisitions futures.

3. Les épreuves indirectement liées aux entraînements

Les résultats aux épreuves indirectement liées aux entraînements montrent une progression bien supérieure pour les enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés. Ceci confirme notre hypothèse selon laquelle les entraînements pourraient augmenter largement les compétences liées au nombre. Il semble que les enfants entraînés établissent un transfert des effets de leurs entraînements sur d'autres compétences, notamment le dénombrement, les opérations, les problèmes, les transcodages, etc. Nous nous sommes davantage intéressées aux gains moyens des enfants en fonction des épreuves afin de montrer l'apport généralisé de l'entraînement sur d'autres compétences.

Concernant le gain, du groupe entraîné sur le groupe contrôle, à l'épreuve de classification, nous avons obtenus un résultat négatif. Ceci s'explique par le manque de progression des enfants entraînés par rapport aux autres par saturation de l'épreuve. En effet, cette épreuve étant majoritairement saturée dès le bilan 1, la marge de progression était extrêmement réduite. Les scores des enfants entraînés restaient excellents mais leur marge de progression était ainsi très faible. Par comparaison au groupe contrôle ils ont ainsi obtenu un gain négatif. Celui-ci est donc à tempérer puisque ne reflétant pas les capacités réelles du groupe entraîné.

4. La progression des notes

La comparaison de l'augmentation des notes entre les bilans initial et final révèle de nouveau la disparité des évolutions. Les enfants entraînés progressent davantage que les enfants non-entraînés. Cependant les enfants entraînés n'augmentent pas leurs scores de la même manière. En effet, plus les scores initiaux sont élevés et moins ils évoluent. Ainsi Melika progresse le moins tandis qu'Atem, le plus faible du groupe augmente fortement ses scores, suggérant le comblement d'un retard par rapport aux autres. Ce constat intéressant semble confirmer nos réflexions sur la possibilité d'éviter ou de combler certains retards préjudiciables au développement des compétences mathématiques dans les plus grandes classes.

Le pourcentage de progression des notes objective davantage l'évolution des groupes l'un par rapport à l'autre et semble de nouveau confirmer notre hypothèse générale.

Cependant les notes ne sont obtenues qu'à partir des épreuves à scores. Les progressions sont donc à nuancer par rapport aux évolutions globales mais restent au demeurant très positives en faveur des enfants entraînés.

5. L'évolution à l'épreuve lexicale

La différence minime entre les deux groupes aux épreuves du ELO en réception et production semble confirmer une évolution par les enseignements scolaires. Nous concluons que cette épreuve a bien joué son rôle de contrôle et que les entraînements n'influent pas sur les performances lexicales.

6. Durabilité des entraînements

Le bilan 2 objective la pérennité des acquis concernant le groupe entraîné. Le groupe non-entraîné n'ayant pas été testé en dehors des bilans initial et final il nous est impossible de quantifier leur évolution au cours du temps.

Néanmoins, nos analyses portées sur les épreuves communes aux bilans et tests post-entraînements des enfants entraînés signent une progression importante dues aux entraînements et objectivable à chaque test-post-entraînement. Les progressions apparaissent régulières. De plus, les performances de ces enfants ne diminuent pas durant la période de latence de deux mois, imposée entre le post-entraînement 2 et le bilan final. Une légère progression, minime par rapport aux précédentes, est même remarquable. Il semble ainsi qu'une pérennité s'installe dans les acquisitions et que nos entraînements favorisent des progrès plus généraux.

Cependant il est à noter que les enfants continuaient leur cursus de maternelle. En fin d'entraînement ils ont ainsi poursuivi leurs acquisitions scolaires ce qui peut expliquer la conservation des acquis des entraînements et/ou l'augmentation de leurs performances.

7. Discussion sur l'hypothèse générale

Notre hypothèse que des enfants de grande section de maternelle entraînés à des stimulations digitales et de la ligne numérique progresseraient davantage que des enfants non-entraînés se valide en partie. En raison de notre faible échantillon il n'est pas possible de généraliser ces résultats et nous abordons plutôt ceux-ci comme ceux d'une étude de cas. Cependant il semblerait, dans cet échantillon, que les entraînements aient un effet, qui plus est durable, sur les compétences liées au nombre d'enfants de grande section. De plus, même si nous avons cherché à balayer assez largement les différents domaines mathématiques nous n'avons pu tous les aborder et il serait, notamment, intéressant de pousser davantage les analyses dans les opérations.

8. La fonctionnalité du nombre

Nous avons ajouté cette épreuve à nos bilans et tests car nous pensions qu'elle était nécessaire à l'évaluation des enfants. Dès le bilan initial il a été noté qu'aucun enfant n'avait cette capacité. Certains réussissaient partiellement l'épreuve, grâce à l'induction au raisonnement mais les notes restaient basses. L'impulsivité majeure des enfants face au matériel attrayant augmentait la part de mauvaises réponses.

Au cours du bilan 2, cependant, nous avons pu remarquer que tous les enfants entraînés, sans exception avaient développé cette capacité tandis qu'aucun enfant non-entraîné ne l'avait ne serait-ce qu'ébauchée. Nous pouvons exclure tout effet d'habituation à la tâche ou de mémorisation de l'épreuve puisque les mêmes conditions d'évaluation ont été imposées aux deux groupes. Plus largement, nos entraînements semblent ainsi avoir eu un impact majeur, bien qu'indirect, sur la capacité des enfants à recourir spontanément au monde des nombres et ainsi au dénombrement.

II. Analyse qualitative

1. Les comportements

En raison de notre faible échantillon, nous avons pu rencontrer les enfants en amont des tests afin de les observer, de réduire les risques de stress face à l'examineur et de commencer une pré-sélection. Nous avons noté des comportements en amont des tests et en aval, peu avant le

bilan final. Nous souhaitions notamment observer d'éventuels changements comportementaux au fil du temps sans être influencé par l'avis des maitresses, que nous demandions après note de nos observations.

Nous n'avons pas observé de changements particuliers dans le groupe contrôle. Les enfants semblaient un peu moins réservés pour certains.

Cependant concernant le groupe entraîné, les changements se sont révélés importants. Nous avons rapidement remarqué une cordialité augmentée entre les enfants, une meilleure entente, moins de disputes pour le partage des jeux au cours des différents ateliers scolaires. Les enfants semblaient plus calmes, plus posés, échangeaient entre eux et se montraient moins impulsifs. Cette gestion de l'impulsivité s'est également remarquée dans les épreuves au fil des tests et se remarque dans les variations des temps de chacun. Certains étaient particulièrement impulsifs pour répondre et agir en général, ce qui entraînait souvent des erreurs d'inattentions ou de mauvaise compréhension de la consigne.

Or dès le test post-entraînement 1, nous avons remarqué des changements de comportements des enfants entraînés. Ils étaient plus patients, plus appliqués, à l'écoute et attentif. Ceci explique peut-être également l'augmentation importante de leur progression. Ces enfants avaient vraisemblablement des capacités d'action, cependant gênées par une certaine impulsivité. Au fil des entraînements et des tests, ce changement s'est confirmé et généralisé.

La maitresse les encadrant nous a par la suite fait les mêmes remarques. Les enfants s'avéraient plus calmes en classe, plus patients, s'entre-aidaient davantage.

Nous pensons qu'à travers les entraînements qui nécessitaient concentration et investissement mais également à travers toutes les épreuves sérieuses et appliquées que nous leur avons fait passer, ces enfants gagnaient en maturité et en automatisation de certaines tâches autrefois fatigantes et chronophages.

2. Les effets sur les entraînements et les performances

Cette « amélioration comportementale » est probablement à l'origine, en partie, des résultats obtenus. En gérant leur impulsivité, les enfants entraînés ont pu augmenter leurs capacités à agir. Une libération de la surcharge cognitive frontale est peut-être également en jeu, favorisant de meilleurs automatismes. Il semblerait tout du moins qu'ils aient été particulièrement appliqués pour les entraînements, surtout celui sur les supports de lignes numériques.

Néanmoins, cette gestion de l'impulsivité explique probablement, grandement, les variations dans les évolutions des temps d'exécution des enfants. En effet en prenant davantage le temps pour « mieux agir » ils augmentaient de manière importante le temps de réalisation des

tâches. Cela se remarque tout particulièrement chez Atem. S'il n'est pas le plus jeune du groupe il en est le plus lent, surtout par rapport au caractère dynamique de ses camarades. Sa lenteur générale n'était cependant pas exempt d'instantanés d'impulsivité et de persévérations dans ses mauvaises réponses. Apprendre à gérer son impulsivité semble l'avoir un peu plus ralenti dans les tâches nécessitant précision et application, cependant ses résultats n'en sont que bien meilleurs. S'il obtenait la moyenne sur 20 la plus faible du groupe, il est celui à avoir le plus progressé. Ceci reprend la notion selon laquelle les enfants les plus en difficultés ont le plus de possibilité d'évolution.

Melika, la plus posée des quatre enfants est pourtant celle qui a le plus ralenti ses productions écrites avec le temps. Très impulsive, en particulier pour les figures géométriques du bilan 1, elle augmente drastiquement ses temps au bilan 2 ce qui explique ses scores en temps. La maîtresse nous révèle à ce propos qu'elle est entrée dans une phase de graphisme. Il semblerait que ce soit davantage l'influence de ceci qui explique la majoration de ses temps. Ses productions en sont néanmoins excellentes.

Fayna, la plus jeune du groupe, était la plus impactée par son impulsivité couplée à un caractère très dynamique. Au fil des tests elle a évolué et c'est davantage l'estimation linéaire et l'identification (ou comparaison) digitale qui l'impactent en temps, grandement dus à des vérifications quasi systématiques chronophages.

Nous avons également remarqué, au second bilan, l'utilisation spontanée des doigts chez les enfants entraînés aux épreuves d'opérations et de problèmes. Au cours du premier bilan aucun ne les utilisait spontanément d'où, probablement, les nombreuses erreurs. Concernant les enfants non-entraînés seule Lima les utilisait et ceci dès le bilan initial. Il semble donc y avoir une généralisation des acquisitions sur le plan comportemental par la réutilisation du support digital travaillé pour des tâches plus complexes.

Enfin cette gestion de l'impulsivité est probablement une des raisons de l'important gain aux empan des enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés. En effet, il semble que les entraînements aient un effet, indirect, sur les capacités mnésiques. La gestion du comportement ainsi qu'une meilleure appréhension des nombres peuvent en être responsables. L'empan phonologique fait appel au lexique numérique verbal. Les entraînements, en augmentant les performances des représentations du triple code, ont pu permettre une meilleure représentation des mots-nombres entendus et ainsi une meilleure rétention. De plus pour manipuler ces informations, pour l'empan envers, l'enfant fait appel à la mémoire de travail. Il doit pouvoir se représenter les informations évoquées pour les donner dans l'ordre inverse. Les enfants interrogés en qualitatif à ce propos disaient imaginer les chiffres écrits sur la table et

accompagnaient d'ailleurs leur énumération d'un mouvement de tête ou d'un pointage invisible. Or, aucun n'avait fait état de cette visualisation au premier bilan. Ils demeuraient incapables d'expliquer comment ils réussissaient l'exercice ou échouaient à celui-ci. Dans le groupe contrôle aucun enfant n'a fait état de cette visualisation ni au cours du bilan 1 ni au cours du bilan 2. Ceci pourrait expliquer notamment l'absence totale de gains en empan droit comme envers, de ce groupe.

III. Limites de l'étude

Au fil de notre étude nous nous sommes interrogées sur la construction de notre protocole et ses limites qu'il conviendrait d'améliorer.

1. Hypothèse et problématique

Tester largement les capacités mathématiques était probablement ambitieux et le recours à un test existant aurait pu éviter certains biais. Cependant, les tests concernant les grandes sections de maternelle étant peu nombreux, il nous est apparu opportun de créer ces épreuves. Elles n'ont cependant pas été testées au préalable et certaines ont été rapidement saturées : classification, et comptage sur les doigts, notamment, ce qui réduit la pertinence de nos résultats.

Ceci s'observe d'ailleurs dans la variabilité des augmentations des performances des enfants selon qu'on s'intéresse spécifiquement aux épreuves liées aux entraînements, aux épreuves mathématiques, aux épreuves indirectement liées aux entraînements ou aux épreuves communes aux quatre évaluations (pour les enfants entraînés).

Cependant le test du Numeracy Screener, utilisé dans nos épreuves, est un test québécois étalonné. Les résultats obtenus permettent donc de situer les enfants par rapport aux normes québécoises. Les gains sont bien meilleurs en faveur du groupe entraînés et témoignent de progrès réels très importants. Ceci conforte notre hypothèse d'impact des entraînements sur les performances mathématiques et notamment sur les représentations du nombre : ici la représentation analogique et les liens entre représentations symbolique indo-arabe et analogique. Il nous est cependant impossible de déterminer quel entraînement a eu le plus d'impact en absence de données croisées.

2. Population

Notre étude faisant l'objet de la loi Jardé, notre population est extrêmement restreinte et il s'agit davantage d'études de cas. Nous ne pouvons pas généraliser nos résultats et supposer la même efficacité des entraînements sur les enfants de grande section en général.

De plus, l'âge moyen des enfants n'était sensiblement pas le même selon le groupe. Ainsi l'âge moyen des enfants du groupe 1 au premier bilan était de 5 ans 3 mois et 5 ans 8 mois au bilan 2 tandis que le groupe 2 était davantage dans une moyenne de 5 ans 2 mois et 5 ans 7 mois au bilan 2. Cependant l'âge moyen du groupe 1 était abaissé par Fayna, la plus jeune, qui avait 4 ans 11 mois au début des tests et augmenté par Melika, la plus âgée et ses 5 ans 9 mois au début des tests. Ainsi si l'âge moyen des groupes semble relativement proche, à part Fayna qui reste la plus jeune, les enfants du groupe 1 étaient un peu plus âgés que ceux du groupe 2. Cette différence de quelques mois est cependant importante par rapport aux capacités d'évolution des enfants à cet âge. Nos résultats ont donc pu être influencés également par cette différence d'âge. Il est possible que si les groupes avaient été inversés, les résultats n'auraient pas été aussi probants.

Melika utilisant la langue des signes pour communiquer avec sa mère (le français avec le reste de la famille) ses évolutions, notamment pour les épreuves digitales sont à nuancer. Son bilinguisme peut donc biaiser les résultats obtenus.

Nous avons choisi d'écarter les enfants présentant un trouble praxique dans notre expérimentation. Les études sur les enfants handicapés moteurs (Penner-Wilger et Anderson, 2008) et sur les enfants aveugles (Crollen et al., 2011) ont démontré que les performances praxiques n'étaient pas nécessaires à l'acquisition du nombre et à son utilisation. Cependant ils ont observé des décalages d'apprentissage par rapport aux enfants sans troubles ainsi que des compétences parfois instables. Nous avons donc choisi d'écarter les enfants présentant des difficultés motrices et troubles visuels afin d'éviter les biais relatifs.

Nous supposons que nos entraînements pourraient être efficaces pour ces enfants mais que les résultats obtenus seraient probablement moins importants dans le temps imparti. Les entraînements pourraient ainsi être proposés sur une durée plus longue afin de favoriser les acquisitions dudit entraînement et des compétences associées.

3. Méthode expérimentale : les entraînements

Nous avons tenté de rendre les entraînements les plus attrayants et ludiques possibles pour les enfants. Cependant nous sommes conscientes qu'ils pouvaient être difficiles à mettre en place, en particulier sur le long terme. Il nous semblait plus pertinent de travailler sur l'intensivité des

entraînements, notamment pour éviter la lassitude des enfants. Pour cette raison nous avons réduits à trois semaines ce temps de stimulation mais en favorisant le recours pluriquotidien. Nous pensions que des fonctions stimulées intensivement pouvaient être davantage optimisées que si nous utilisions des entraînements plus éparpillés. Cependant nous ne pouvons confirmer cette théorie en l'absence de comparaison. Il aurait fallu pour cela recourir à un autre groupe entraîné moins souvent mais sur une plus longue période pour optimiser quel apport serait le plus stimulant pour les enfants.

Le retour de la maitresse a été favorable sur les deux entraînements. Elle avait recours, comme la seconde maitresse (du groupe contrôle) à des comptines sur les doigts lors des réunions d'entrée et de sortie. La mise en place du premier entraînement n'a donc que peu changé les habitudes des enfants. Elle note d'ailleurs leur enthousiasme, que nous avons également remarqué au cours de nos visites par une utilisation plus généralisée des doigts, des actions de comptages et de dénombrement.

Le deuxième entraînement nécessitait plus de temps et d'organisation et était probablement le plus difficile à mettre en place, notamment dans l'espace pour la ligne numérique géante. Cependant il a été le plus apprécié des enfants, interrogés à l'issue des entraînements, qui auraient souhaité le garder dans la classe. Il a été difficile notamment, pour l'utilisation dans les couloirs de la ligne numérique géante, d'éviter la curiosité des autres classes. Les enfants du groupe-contrôle étant justement dans la classe adjacente, étaient intéressés par le matériel et il a été douloureux pour les maitresses de contrer cet intérêt pour les mathématiques. Ceci met cependant en évidence l'attrait de nos supports. Nous avons décidé de mettre en place trois supports différents (+ les chiffres en pâte FIMO) afin d'éviter une certaine lassitude et un désintérêt de la part des enfants. Selon les retours des enfants et de la maitresse, il semble que ce biais ait été évité.

Nous avons ainsi créé un entraînement autour de deux modules : les stimulations digitales et celles par le biais de supports numériques. Dans le premier module la configuration des doigts suivait une organisation, celles des petites quantités sur la gauche, les grandes quantités sur la droite afin de reprendre la notion de ligne numérique mentale se déroulant sur la droite. Dans le second module étaient intégrés des stimulations tactilo-kinesthésiques par le biais des chiffres en pâte Fimo à explorer en aveugle et par la ligne numérique haptique (support en relief).

Nous avons volontairement lié ainsi les deux entraînements et leurs stimulations respectives car nous partions de l'hypothèse que l'un et l'autre allaient enrichir les compétences des enfants entraînés et qu'il était difficile, voire illusoire, de les isoler.

Nous ne cherchions pas à prouver l'efficacité supérieure d'un entraînement sur un autre mais plutôt à objectiver l'efficacité de ce double entraînement.

En raison des stimulations intriquées il nous est difficile de dire que le premier entraînement a le plus amélioré les compétences digitales. Il semblerait même que toutes les compétences aient suivi des évolutions propres à chaque enfant mais que ces entraînements les aient tous aidé à progresser. L'aspect multi-sensoriel avait, selon nous, un aspect ludique non négligeable qui s'est avéré plaisant pour les enfants.

L'intérêt pour nous de travailler autour des stimulations digitales était de favoriser l'utilisation de cet outil naturel chez les enfants. Nous cherchions à optimiser ce recours, tout particulièrement pour les épreuves d'opérations et de problèmes. Nous partions du principe qu'en augmentant ce recours, les enfants pourraient avoir un retour visuel sur leurs opérations et réussiraient davantage ces épreuves. Nous avons constaté au cours du bilan final qu'effectivement le recours au doigt était devenu systématique. Il était de plus utilisé pour d'autres épreuves telles que celle de fonctionnalité du nombre et de comptage erroné.

Les entraînements semblent également avoir eu un effet positif sur les gnosies digitales.

Les enfants montraient tout d'abord une meilleure concentration au fil du temps. Notre but n'était pas de développer une sensibilité accrue, ce qui n'aurait pas été possible dans un laps de temps si court mais plutôt de favoriser l'attention sur la tâche.

Or, améliorer les performances gnosiques semblaient pertinents pour favoriser les acquisitions numériques (Noël, 2008). Nous ne pouvons dire si de meilleures compétences gnosiques ont amélioré les compétences liées au nombre ou si ce sont ces dernières qui ont impacté les performances gnosiques. Les études ont montré qu'elles étaient étroitement liées et qu'il était nécessaire de s'y intéresser.

A notre sens toutes les épreuves que nous avons choisies, même distantes des entraînements demeurent liées. En mathématique quand une compétence émerge ou s'améliore, elle touche directement ou indirectement d'autres compétences et/ou domaines.

Nous nous attendions donc à de meilleurs résultats aux différentes épreuves grâce aux entraînements. Nous ne nous attendions cependant pas à des progressions aussi importantes.

Celles-ci montrent l'efficacité sur les 4 sujets entraînés de nos entraînements et l'intérêt de reproduire cette étude.

4.

5. Matériel : les épreuves

Nous avons souhaité proposer de nombreuses épreuves aux enfants de notre étude afin d'observer les évolutions des performances concernant les entraînements et celles distantes de ceux-ci. Si nous avons pu confirmer notre hypothèse en montrant les gains évidents des entraînements, des biais sont à prendre en considération. N'ayant pas testé au préalable la cotation de ces épreuves, nous n'avons observé qu'en cours de bilan leur manque de finesse. Certaines épreuves étaient en effet très rapidement saturées : classification, comptage, etc. Ceci entraînait un biais quant à la marge de progression des enfants.

Nous avons rajouté une variable temporelle à certaines : estimation linéaire, identification (et comparaison) de représentation digitale, copie de chiffres et nombres et copie de figures. Cette variable cependant s'est révélée non-pertinente. Les enfants sont en effet passés par des variations du temps d'exécution au fil des entraînements, non systématique. De plus les enseignements scolaires et le comportement général influent sur cette variable. L'augmentation du temps ne peut donc être considérée comme une augmentation de l'investissement, de l'auto-contrôle ou de la qualité générale dans l'action. De même, la diminution des temps d'exécution ne peut être généralisée comme une automatisation de la tâche. Cette variable n'était donc pas nécessaire. Elle pourrait cependant être intégrée selon le même principe que le Numeracy Screener en donnant un temps de travail imparti et en cotant les réalisations par rapport à l'écoulement de celui-ci. Il conviendrait cependant de tester ce temps au préalable afin de définir une norme.

De manière générale le bilan que nous avons créé, sans être complet, est extrêmement long, impossible à utiliser en une seule séance et nécessite un investissement attentionnel important de l'enfant. Il est pour cela indispensable de respecter les temps de concentration de chacun. Nous pensons avoir respecté au mieux ceux-ci, réalisant des séances parfois plus courtes, selon l'état de l'enfant.

Enfin, nous nous interrogeons sur la possible habitude à la tâche des enfants sur certaines épreuves et tout particulièrement les enfants entraînés, davantage confrontés au matériel évaluatif. Il s'agit d'un biais possible à prendre en compte. Cependant, le nombre important de nos épreuves et leurs différences ainsi que certaines sidérations passagères du groupe entraîné face à leur présentation, tempèrent nos inquiétudes quant à une possible mémorisation des épreuves.

Malgré notre testing préalable, il s'est avéré que certaines épreuves n'étaient pas les plus adaptées et/ou ont rapidement été saturées. En effet, nous les avons testées une seule fois sur un enfant unique avec ses particularités, ses différences d'apprentissage, etc. Ses faibles résultats pour

certaines épreuves, notamment de classification et de subitizing qui laissaient entrevoir une marge de progression importante n'ont pas été systématiquement retrouvés auprès des enfants de notre étude. Ceci peut donc expliquer le manque de sensibilité de certaines de nos épreuves. Cependant les résultats se sont avérés très variables entre le groupe entraîné et le groupe contrôle et si l'épreuve de classification a été rapidement saturée par le groupe entraîné, le groupe contrôle avait un plus grand retard, comblé par la suite. Ce retard pourrait notamment s'expliquer par l'âge moyen plus faible du groupe contrôle et donc une acquisition plus tardive de ces compétences.

IV. Apports de l'étude

1. Apports personnels

Sur le plan personnel cette étude nous aura fait découvrir les joies et difficultés du travail de chercheur. Nous avons pu conscientiser la charge importante de travail autour de la création des tests et des supports des entraînements par de nombreux essais-erreurs, et l'importance de la persévérance, apports utiles pour notre pratique professionnelle. Si nos résultats restent globalement homogènes et en faveur des entraînements nous avons conscience de l'impossibilité de les généraliser, constat frustrant aux vues de l'investissement fourni.

Nous avons également appris l'importance des normes et mesures initiales auxquelles se référer pour créer des épreuves les plus adaptées. En effet, notre manque de références psychométriques a entraîné la création d'épreuves trop rapidement saturées ou pas suffisamment pertinentes (classification, identification des représentations digitales, etc.).

Cependant notre étude nous aura permis d'acquérir des compétences quant aux tests de cognition mathématique, leur analyse, ainsi que des connaissances cliniques utiles à notre future pratique, venant compléter les supports théoriques issues de nos cours. Nous pensons avoir, de plus, développé, un meilleur regard diagnostique sur les compétences liées au nombre d'enfants entre 4 et 6 ans, notamment dans le cadre de dépistages.

2. Apports pour la profession

Les compétences logico-mathématiques font partie du champ d'expertise de l'orthophonie, ce qui est souvent mal connu du grand public. L'orthophoniste a également une mission importante de prévention et de dépistage, ce qui reste peu réalisable sur le terrain.

Nous nous sommes ainsi intéressées au domaine mathématique dans une optique de prévention auprès des enseignants. Nous souhaitons créer des entraînements susceptibles d'être utilisés par

l'équipe pédagogique afin d'homogénéiser les compétences de cognition mathématique entre élèves et, dans l'idéal, de les améliorer. Les recherches ont montré que des interventions précoces sur les compétences de jeunes enfants permettaient de réguler les retards de ces derniers (Siegler et Ramani, 2008). Ces mêmes auteurs ont également avancé que les performances de maternelle prédisent les difficultés arithmétiques futures, notamment en primaire (Siegler et Ramani, 2011). Une intervention le plus en amont possible pourrait ainsi concourir à réduire ces difficultés.

Dans le cadre de notre étude nous nous sommes intéressées à l'alliance entre thérapeute et enseignant, chacun enrichissant le savoir-faire de l'autre. Les échanges avec l'équipe éducative ont été très enrichissants tout au long de notre expérimentation et sont formateurs quant à la compréhension du monde pédagogique de l'enseignement. Le travail en collaboration avec la maitresse de la classe entraînée a permis d'affiner notre regard sur les élèves et nos observations en général. Les enrichissements ont été partagés et notre regard clinique a pu apporter des éclairages sur les questionnements quant aux troubles des apprentissages, souvent évoqués mais trop mal compris. Les conseils et avis des enseignants ont également permis d'affiner l'élaboration des épreuves (certaines étant jugées trop simples) ainsi que les supports d'entraînements, en regard également au mémoire de Gendre et Pautonnier (2012).

De manière générale les deux enseignantes sollicitées pour cette expérimentation ont été très enthousiastes et demandeuses d'informations sur les mathématiques. L'équipe pédagogique, plus largement, s'est montrée également très intéressée. Enfin, il nous apparaissait important de réaliser cette étude auprès de l'équipe mais également de l'enseignante nous ayant accueillies en première année de notre cursus.

Même si nos résultats ne peuvent être généralisés ils montrent un effet important que ce type d'entraînement peut avoir sur les compétences des élèves de grande section de maternelle. Nous pensons ainsi que ces supports et l'utilisation intensive de nos entraînements pourraient être d'une grande aide aux enseignants pour homogénéiser les performances de leurs élèves, réduire les retards et favoriser l'appréhension des mathématiques en classe de primaire. Nous sommes conscientes que le recours à nos évaluations serait impossible pour les équipes pédagogiques car elles ne peuvent être passées en groupe sous leur forme actuelle et nécessitent un trop long temps de passation. Cependant nos entraînements pourraient, à notre sens, éviter certains retards en mathématiques. Nous supposons que si leurs effets s'objectivent et s'avèrent généralisés, les décalages ou manques de progression de certains enfants par rapport à la majorité pourraient permettre un dépistage des porteurs de troubles logico-mathématiques, bien en amont de difficultés majeures.

Enfin, concernant l'orthophonie, nos résultats contribuent, en terme clinique, à la notion de mise en place d'entraînements systématiques et intensifs pour augmenter les performances d'enfants dans un domaine. Si notre étude s'est portée sur des enfants tout-venants, nous n'excluons pas les progrès que pourraient apporter nos entraînements sur des enfants porteurs de troubles. Nous ne sommes pas en mesure de conclure à une efficacité quelconque pour cette population mais ils pourraient contribuer aux rééducations entreprises. Ainsi, il nous semblait pertinent d'élaborer ces entraînements pour pouvoir les proposer, à terme, aux enseignants, aux orthophonistes mais également aux parents de patients afin de mettre en place des stimulations intensives, en particulier dans le cadre de la dyscalculie primaire.

Notre livret d'épreuves étant particulièrement long et contraignant, nous pensons que cette étude serait surtout intéressante si elle était reproduite auprès d'enfants pathologiques (dyscalculie primaire et secondaire). Un groupe d'orthophonistes pourrait ainsi se voir confier le matériel et les livrets de passation (améliorés) dans le cadre d'une étude sur l'efficacité de ces entraînements auprès d'une population pathologique. Recourir à plusieurs orthophonistes permettrait de multiplier les sujets d'études et d'appliquer plus largement les entraînements sans prendre en compte les âges et ou troubles. Les stimulations seraient alors à réaliser à la maison et reprises, discutées par les thérapeutes qui les contrôlèrent au cours des épreuves. Il serait également intéressant de prévoir un temps d'entraînement plus long et/ou de comparer différents temps d'entraînements selon l'importance de la pathologie.

V. Perspectives de recherche

Notre étude expérimentale a soulevé des questionnements pouvant donner suite à de nouveaux travaux de recherche sur les liens entre des entraînements ciblés et les performances arithmétiques.

Nos résultats pourraient-ils être généralisables ? Face aux excellents résultats que nous avons recueillis suite aux entraînements dispensés, nous nous interrogeons sur leur généralisation. Pour cela il faudrait reproduire cette expérience en la portant sur un large échantillon afin d'objectiver une significativité dans les résultats.

Quels effets chacun de ces entraînements apporte réellement aux performances arithmétiques ?

Il faudrait, pour y répondre, mettre en place une expérimentation en multipliant les groupes de population : un groupe uniquement entraîné à l'entraînement digital, un groupe à l'entraînement linéaire, deux groupes à ces deux entraînements mais de manière croisée et un groupe contrôle équivalent aux quatre autres. Ceci pourrait être intéressant notamment pour montrer quel entraînement il conviendrait d'utiliser en premier ou préférentiellement. Nous avons priorisé l'entraînement digital en pensant que ce support soutiendrait les stimulations de l'autre entraînement mais ceci demeure une intuition qu'il conviendrait de confirmer.

Nos épreuves pourraient pour cela être reprises et améliorées (réduction des biais et affinement des cotations) afin de servir d'outil d'évaluation.

Quels effets ces entraînements apporteraient à une population pathologique ? Nous nous interrogeons évidemment sur l'impact que pourraient avoir nos entraînements auprès d'enfants porteurs de troubles, en particulier sur les dyscalculies primaires et secondaires liées aux représentations numériques. Pour cela il conviendrait de reproduire l'étude réalisée auprès d'enfants dyscalculiques. Cette étude pourrait être réalisée à partir de la participation d'orthophonistes libérales réalisant les évaluations à leur cabinet et donnant le protocole des entraînements aux parents, à réaliser à domicile.

Enfin un outil de dépistage et/ou d'évaluation, élaboré à partir de nos épreuves, améliorées et normées sur un grand échantillon, pourrait être réalisé pour repérer au plus tôt les enfants fragiles et à risque.

CONCLUSION

Dans le cadre des différentes recherches réalisées sur la cognition mathématique, nous nous sommes intéressées à l'effet que pourraient avoir la combinaison de deux entraînements : digital et de la ligne numérique (et sa composante multi-sensorielle) sur les compétences liées au nombre d'enfants de grande section de maternelle.

Nous souhaitons obtenir un effet des entraînements sur des tâches numériques, que nous avons créées, faisant appel aux représentations du modèle de triple code de Dehaene. Nous avons pour cela proposé un protocole d'entraînement à partir de praxies digitales et de supports de la ligne numérique que nous avons créés spécifiquement.

L'analyse de nos résultats, portés sur une population réduite, montre une importante amélioration des compétences numériques des enfants entraînés par rapport au groupe contrôle. Nos résultats objectivent des gains majeurs en faveur du groupe entraîné pour les épreuves liées aux entraînements mais également sur celles indirectement concernées. Nos différentes hypothèses ont été confirmées au cours de notre étude. Ainsi les entraînements ciblés améliorent la cognition mathématique d'enfants de grande section de maternelle. Ces effets s'observent pour les épreuves spécifiques aux entraînements et se généralisent aux autres tâches numériques. Des améliorations mnésiques et de la mémoire de travail sont également objectivées. Les tâches lexicales non mathématiques évoluent peu et davantage en faveur de stimulations langagières scolaires. Ces gains d'acquisitions se pérennisent également à deux mois des derniers entraînements, objectivant une durabilité des impacts positifs.

En raison de notre faible échantillon, nos résultats ne sont cependant pas généralisables et nous ne pouvons juger de la significativité des gains obtenus.

Nos analyses et les réflexions sur notre méthode expérimentale nous ont permis de réfléchir aux moyens d'améliorer notre protocole et plus particulièrement nos épreuves. Des modifications notamment sur la sensibilité et pertinence de celles-ci serait intéressant pour affiner l'exploration des compétences mathématiques. Si le matériel d'entraînement a semblé ludique à notre population nous ne pouvons généraliser cet aspect au plus grand nombre.

En conclusion, notre travail permet d'apporter de nouvelles perspectives de recherche tant en pédagogie qu'en orthophonie. Il montre les impacts qu'un entraînement spécifique et intensif des praxies digitales et de la ligne numérique peut apporter à la cognition mathématique d'enfants de maternelle. Il est également une piste pour des entraînements systématiques dans le cadre de dyscalculies qu'il conviendrait d'explorer. Notre étude suit la mouvance des précédentes recherches et soutient la théorie des liens entre doigts et représentations numériques.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

Brissiaud, R. (1991). Un outil pour construire le nombre : les collections-témoins de doigts. Dans J. Bideaud, C. Meljac et J-P. Fisher (Eds), *Les chemins du Nombre* (p. 59- 90). Lille : Presses universitaires de Lille.

Chillier, L. (2002). La ligne numérique et le codage du nombre chez l'enfant. Dans J. Bideaud et H. Lehalle (dir.), *Le développement des activités numériques chez l'enfant* (p.129-149). Paris : Hermès Science. ISBN 10 : 2746204002

Dehaene, S. et Cohen, L. (1995). Towards an Anatomical and Functional Model of Number Processing. Dans Butterworth, B. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120. ISBN : 0-86377-418-0

Fias, W., & Pesenti, M. (2004). Le modèle du triple code de Dehaene. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *La cognition numérique* (pp. 69-94). Paris : Hermes Science. ISBN : 2-7462-0826-1 978-2746208261

Marinthe, C., Fayol, M. et Barrouillet, P. (2001). Gnosies digitales et développement des performances arithmétiques. Dans A. Van Hout et C. Meljac (eds), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (p. 239-254). Paris : Masson. ISBN : 2-294-01908-3

Seron X. et Lochy A. (2003). La neuropsychologie des troubles du calcul de l'adulte. Dans A. Van Hout, et C. Meljac (dir.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (p. 53-75). Paris: Masson. ISBN : 2-294-01908-3

Articles

Andersson, U. (2010). Skill development in different components of arithmetic and basic cognitive functions : findings from a 3-year longitudinal study of children with different types of learning difficulties. *Journal of educational psychology*, 102(1), 115-134. DOI :10.1037/a0016838

Antell, S.E., et Keating, D.P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54, 695-701. DOI : 10.2307/1130057

Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer. A new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 417-423. DOI : 10.1016/S1364-6613(00)01538-2

Barber, I. et Wright, H.A. (2001). How important are familiarity benefits to shoaling fish? *Animal Behaviour* , 61, 975-979. DOI : 10.1006/anbe.2000.1665

Berteletti, I., Lucangeli, D., Piazza, M., Dehaene, S. et Zorzi, M. (2010). Numerical Estimation in Preschoolers, *Developmental Psychology*, 46(2), 545-551. DOI : 10.1037/a0017887

Camos, V. (1999). Le dénombrement: une activité complexe à deux composantes. *Rééducation Orthophonique*, 199, 21-31. Commission paritaire : 61699

Chochon, F., Cohen, L., van de Moortele, P.F., & Dehaene, S. (1999). Differential Contributions of the Left and Right Inferior Parietal Lobules to Number Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 617-630. DOI : 10.1162/089892999563689

Crollen, V., Seron, X., et Noel, M-P. (2011). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities? *Frontiers in Psychology*, 2, 242. DOI : 10.3389/fpsyg.2011.00242

Dehaene, S. (1992). *Cognition*, 44, 1-42. DOI : org/10/1016/0010-0277(92)90049-N

Dehaene, S., Bossini, S. et Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General* 122, 371–396. DOI : 10.1371/journal.pone.0099499

Dehaene, S. et Cohen, L. (1997). Cerebral Pathways for calculation. Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic, *Cortex*, 33, 219-250. DOI : 10.1016/S0010-9452(08)700-9

Dehaene, S., Izard, V., Pica, P. et Spelke, E. (2006). Core knowledge of geometry in an Amazonian indigene group. *Science*, 311, 381-4. DOI : 10.1126/science.1121739

De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B. et Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: a longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of experimental child psychology*, 103, 186-201. DOI : 10.1016/j.jecp.2009.01.004

Di Luca, S. et Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Experimental Brain Research*, 185, 27–39.

Fayol, M., Barouillet, P. et Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuropsychological performance: a longitudinal study. *Cognition*, 68, B63-B70. DOI : 10.1016/S0010-0277(98)00046-8

Fayol, M. et Seron, X. (2005). About numerical representations: Insights from neuropsychological, experimental and developmental studies. J.I.D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition*, New York: Psychology Press, 3–22.

Gelman, R. (1983). Les bébés et le calcul. *La recherche*, (14) 149, 1382-1389.

Gentaz, E., Gimbert, F. et Mazens, K. (2013) Evaluations d'entraînements multisensoriels de préparation aux apprentissages numériques. *ANAE Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 2013, 123.

Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia, and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 1940 ; 44(2), 398-408. DOI : 10.1001/archneurpsyc.1940.02280080158009

Gracia-Bafalluy, M., Noël, M. P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex*, 44, issue 4, 368-375. DOI : 10.1016/j.cortex.2007.08.020

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

Izard, V., Pica, P., Spelke E. et Dehaene, S. (2008) Comment les nombres se répartissent dans l'espace. Une intuition originelle logarithmique. *Médecine/Sciences*, 24, 1014-1016. DOI : 10.1051/medsci/200824121014

Kinsbourne, M. et Warrington, E-K. (1963). The developmental Gerstmann's syndrome. *Archives of Neurolog*, 8, 490-501. DOI : 10.1001/archneur.1963.00460050040004

McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing : Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 107-157. DOI : 10.1016/0010-0277(92)90052-J

Menissier, A. (1999). Petites histoires sur l'histoire d'une grande invention : la numération. *Rééducation orthophonique*, 1999, 7-20. Commission paritaire : 61699

Moyer, R. S. et Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical equality. *Nature*, 225, 1519-1520. DOI : 10.1038/2151519a0

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

Opfer, J. E., Thompson, C.A. et Furlong, E.E. (2010). Early development of spatial- numeric associations: evidence from spatial and quantitative performance of preschoolers. *Developmental Science*, 13(5), 761-771. DOI : 10.1111/j.1467-7687.2009.00934.x

Penner-Wilger, M. et Anderson, M. L. (2008). An alternative view of the relation between finger gnosis and math ability: Redeployment of finger representations for the representation of number. *Proceedings of the 30th Annual Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V. et Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306, 499-503. DOI : 10.1126/science.1102085

Ramani, G. B. et Siegler, R. S. (2011). Reducing the gap in numerical knowledge between low- and middle-income preschoolers. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 32, 146-159. DOI : 10.1016/j.appdev.2011.02.005

Siegler, R. S. (2009). Improving the numerical understanding of children from low- income families. *Child Development Perspectives*, 3, 118-124. DOI : 10.1111/j.1750-8606.2009.00090.x

Siegler, R. S. et Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14, 237-250. DOI : 10.1111/1467-9280.02438

Siegler, R. S. et Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, 75, 428-444. DOI : 10.1111/j.1467-8624.2004.00684.x

Siegler, R. S. et Ramani, G. B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low-income children's numerical development. *Developmental Science*, 11, 655-661. DOI : 10.1111/j.1467-7687.2008.00714.x

Siegler, R. S. et Ramani, G. B. (2009). Playing linear number board games - but not circular ones - improves low-income preschoolers' numerical understanding. *Journal of Educational Psychology*, 101(3), 545-560. DOI : 10.1037/a0014239

Simon, T.J.(1999). The foundations of numerical thinking in a brain without numbers. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 363-364. DOI : 10.1016/S1364-6613(99)01383-2

Starkey, P., & Cooper, R.G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210, 1033-1035. DOI : 10.1126/science.7434014

Tudusciuc, O. et Nieder, A. (2007). Neuronal population coding of continuous and discrete quantity in the primate posterior parietal cortex. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(36), 14513-14518. DOI : 10.1073/pnas.0705495104

Vogel, S.E., Goffin, C. & Ansari, D. (2015). Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: An fMR adaptation study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 12, 61-73. DOI : 10.1016/j.dcn.2014.12.001

Wynn, K. (1992a). Addition and subtraction in human infants. *Nature*, 358,155-193. DOI : 10.1038/358749a0

Mémoires

Chillier, L. *Etude des représentations mentales analogiques et digitales des nombres chez l'enfant de 6 à 9 ans*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Genève, Genève.

Gendre, N. et Pautonnier, L. (2012). *Peut-on améliorer les performances arithmétiques par des entraînements aux configurations des doigts ou à un jeu de plateau linéaire ?* (Mémoire pour l'obtention du CCO). Université Claude Bernard, Lyon.

Polledri, C. (2015). *Intérêt d'un entraînement de l'estimation numérique dans les troubles logico-mathématiques*. (Mémoire pour l'obtention du CCO). Université Nice Sophia Antipolis, Nice.

Cours

Dehaene, S., (2008). *L'impact des symboles sur la cognition numérique. Fondements cognitifs de l'arithmétique élémentaire*. Cinquième Cours au Collège de France, Récupéré le 10 avril 2012 sur le site du Collège de France : podcastfichiers.college-de-france.fr/dehaene-20080212.pdf

Dehaene, S., (2015). *Fondements cognitifs de l'apprentissage des mathématiques*. Cours au collège de France, Récupéré le 10 mars 2017 sur le site du college de France : podcastvideo.college-de-France.fr/dehaene-20150303.mp4

Article d'études nationales

Colmant, M. et Le Cam, M. (2016). TIMSS 2015 mathématiques et science- Evaluation internationale des élèves de CM1. *Education.gouv.fr*, Récupéré en mars 2018 sur le site de education.gouv.fr

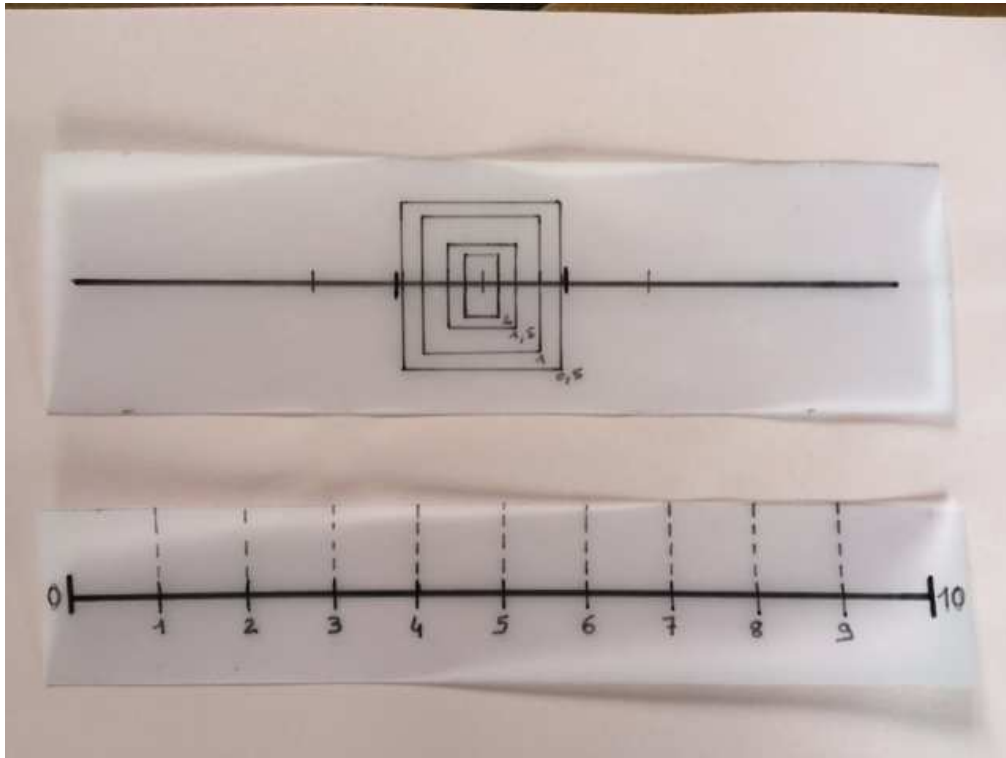
TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| Figure 1. Comparaison des progressions globale et mathématiques selon les enfants et leur groupe (Annexe VII) | 58 |
| Figure 2. Comparaison des notes sur 20 obtenues aux bilans initial et final par les groupes entraînés et non-entraînés | 59 |
| Figure 3. Comparaison des moyennes des notes sur 20 du groupe entraîné et du groupe non-entraîné aux bilans initial et final (Annexe IX) | 59 |
| Figure 4. Comparaison des progressions des moyennes des notes entre le groupe entraîné et le groupe non-entraîné | 59 |
| Figure 5. Progression de chaque enfant entraîné et non-entraîné dans les épreuves directement liées aux entraînements (Annexe XI)..... | 61 |
| Figure 6. Comparaison des moyennes de progression aux épreuves directement liées aux entraînements des enfants non-entraînés et entraînés (Annexe XII) | 61 |
| Figure 7. Comparaison des moyennes de progressions entre épreuves directement liées aux entraînements et épreuves mathématiques générales (Annexe XIII) | 61 |
| Figure 8. Détails des progressions des enfants non-entraînés aux épreuves d'estimation linéaire (Annexe XIV) | 62 |
| Figure 9. Détails des progressions des enfants non-entraînés aux différentes épreuves digitales (Annexe XV)..... | 62 |
| Figure 10. Détails des progressions des enfants entraînés aux épreuves d'estimation linéaire (Annexe XVI) | 62 |
| Figure 11. Détails des progressions des enfants entraînés aux différentes épreuves digitales (Annexe XVII) | 62 |
| Figure 12. Moyenne des progressions des enfants entraînés et non-entraînés aux épreuves indirectement concernées par les entraînements (Annexe XVIII) | 63 |
| Figure 13. Comparaison des moyennes de progression des épreuves directement et indirectement liées aux entraînements des enfants entraînés et non-entraînés (Annexe XIX) | 63 |
| Figure 14. Gains des enfants entraînés par rapport aux enfants non-entraînés aux épreuves indirectement liées aux entraînements | 64 |

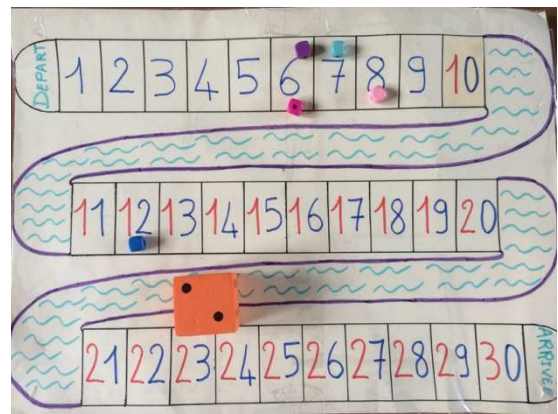
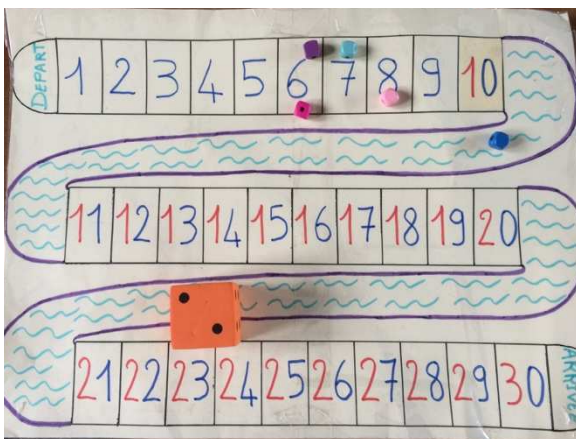
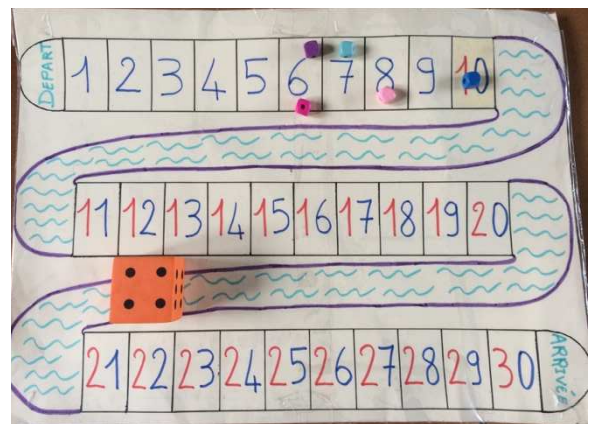
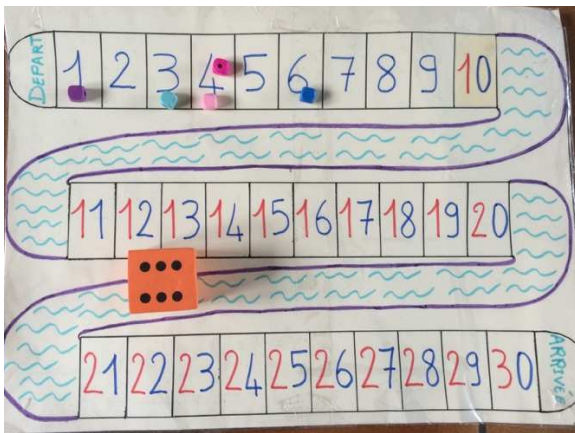
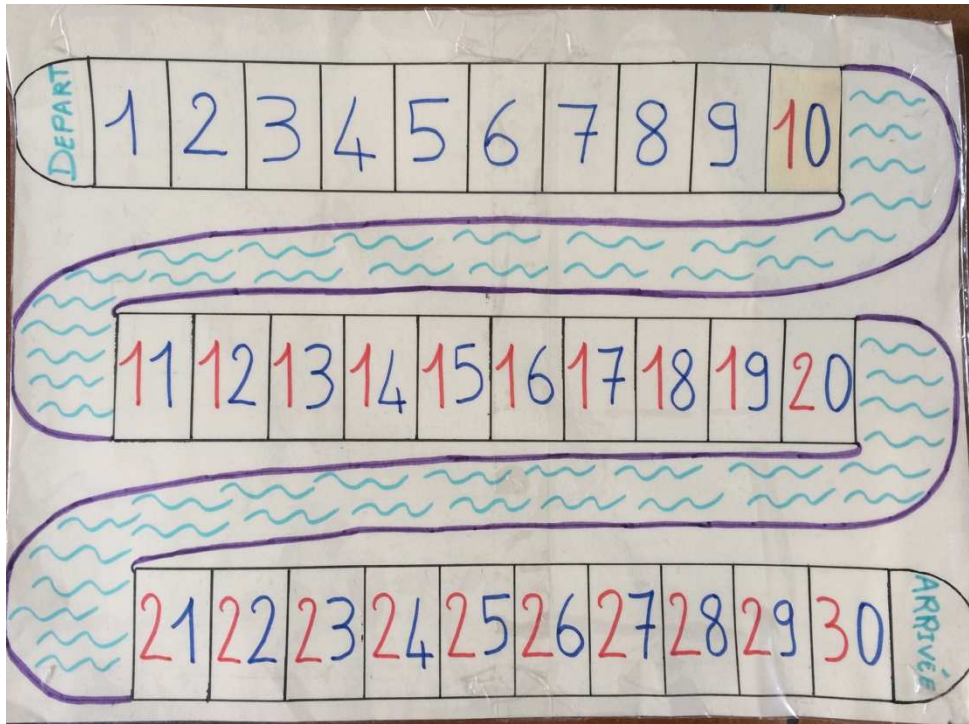
| | |
|--|----|
| Figure 15. Comparaison des progressions temporelles des enfants entraînés et non-entraînés entre la moyenne des quatre épreuves chronométrées et celle des épreuves liées aux entraînements (Annexe XXII) | 65 |
| Figure 16. Comparaison des moyennes des emfans du groupe entraîné par rapport au groupe non-entraîné (Annexe XXIII)..... | 66 |
| Figure 17. Comparaison des moyennes de progression des enfants aux épreuves lexicales du ELO (Annexe XXIV) | 67 |
| Figure 18. Comparaison des moyennes de progression des groupes entraîné et non-entraîné aux épreuves lexicales du ELO | 67 |
| Figure 19. Comparaison des progressions des enfants entraînés au fil des entraînements (Annexe XXV) | 68 |
| Tableau 1. Récapitulatif du calendrier expérimental | 34 |
| Tableau 2. Progressions globales et en mathématiques de chaque enfant et moyenne générale de progression en mathématiques des groupes | 58 |
| Tableau 3. Récapitulatif des progressions de chaque enfant aux différentes épreuves mathématiques, des moyennes de progression des groupes et du gain du groupe entraîné (E) par rapport au groupe non-entraîné (NE) (Annexe X)..... | 60 |
| Tableau 4. Récapitulatif des gains dans la chaîne numérique verbale des enfants entraînés et non-entraînés. | 64 |
| Tableau 5. Emfans mnésiques endroit et envers phonologiques et visuels des enfants entraînés et non-entraînés et leurs gains à l'issue du bilan 2 | 66 |
| Tableau 6. Récapitulatif des moyennes de progression aux différentes épreuves des enfants entraînés et non-entraînés et des gains du groupe stimulé par rapport au groupe contrôle | 69 |

ANNEXES

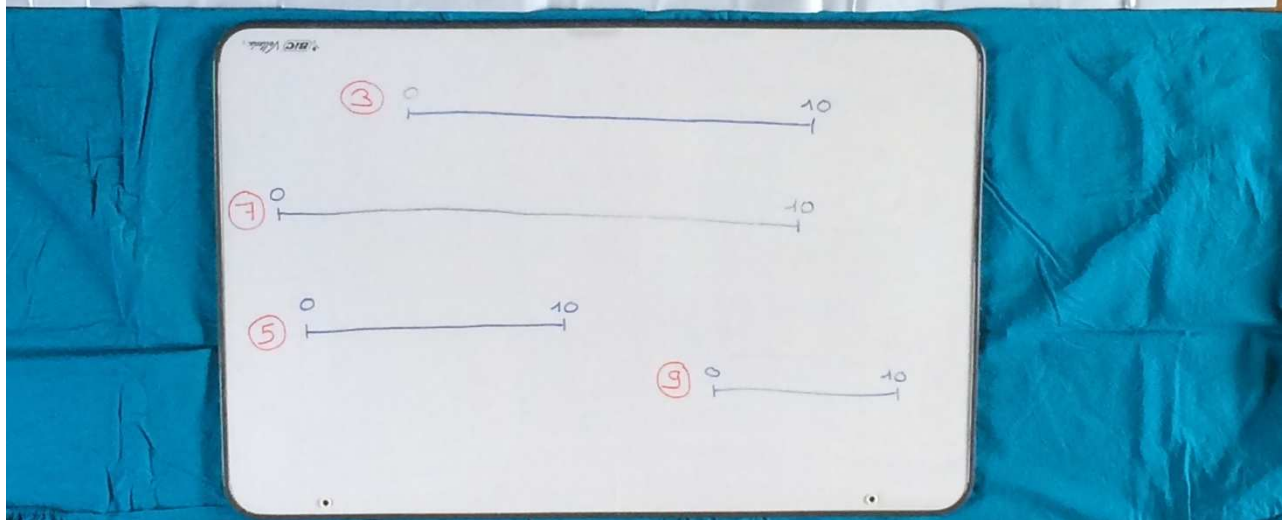
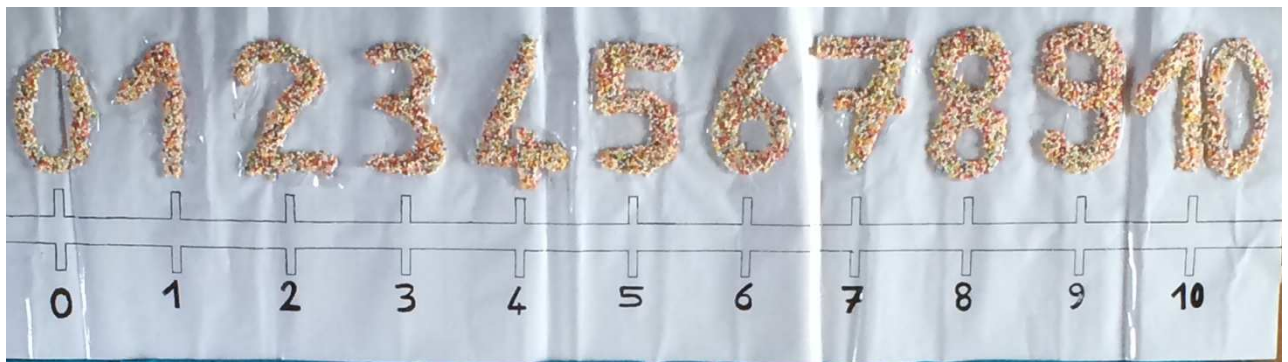
Annexe 1 : Calque de correction de l'épreuve Estimation Linéaire



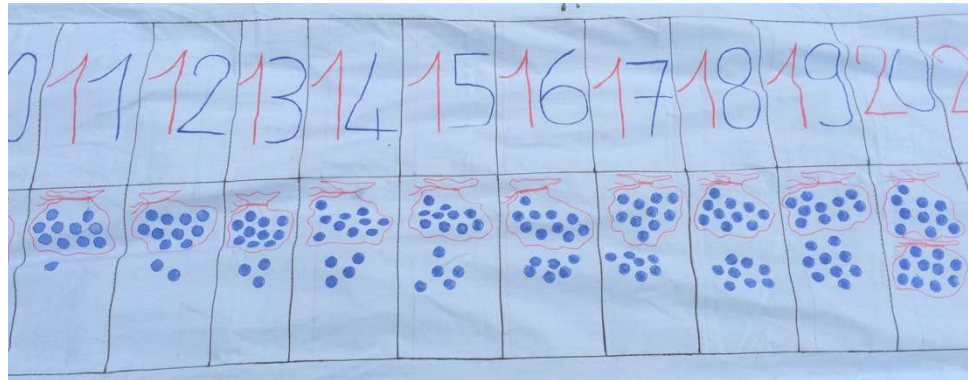
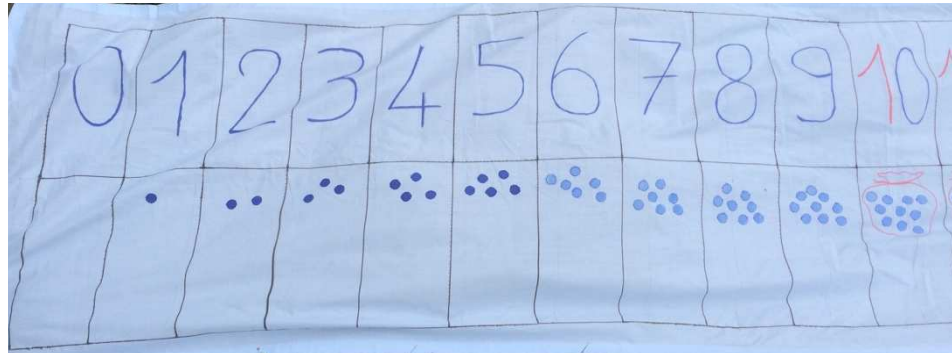
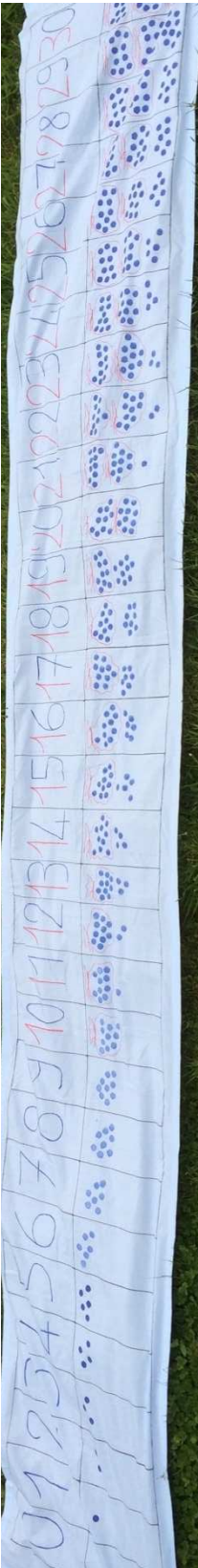
Annexe 2 : Matériel d'entraînement : Plateau de jeu linéaire et utilisation



Annexe III : Ligne numérique haptique : entraînement et utilisation



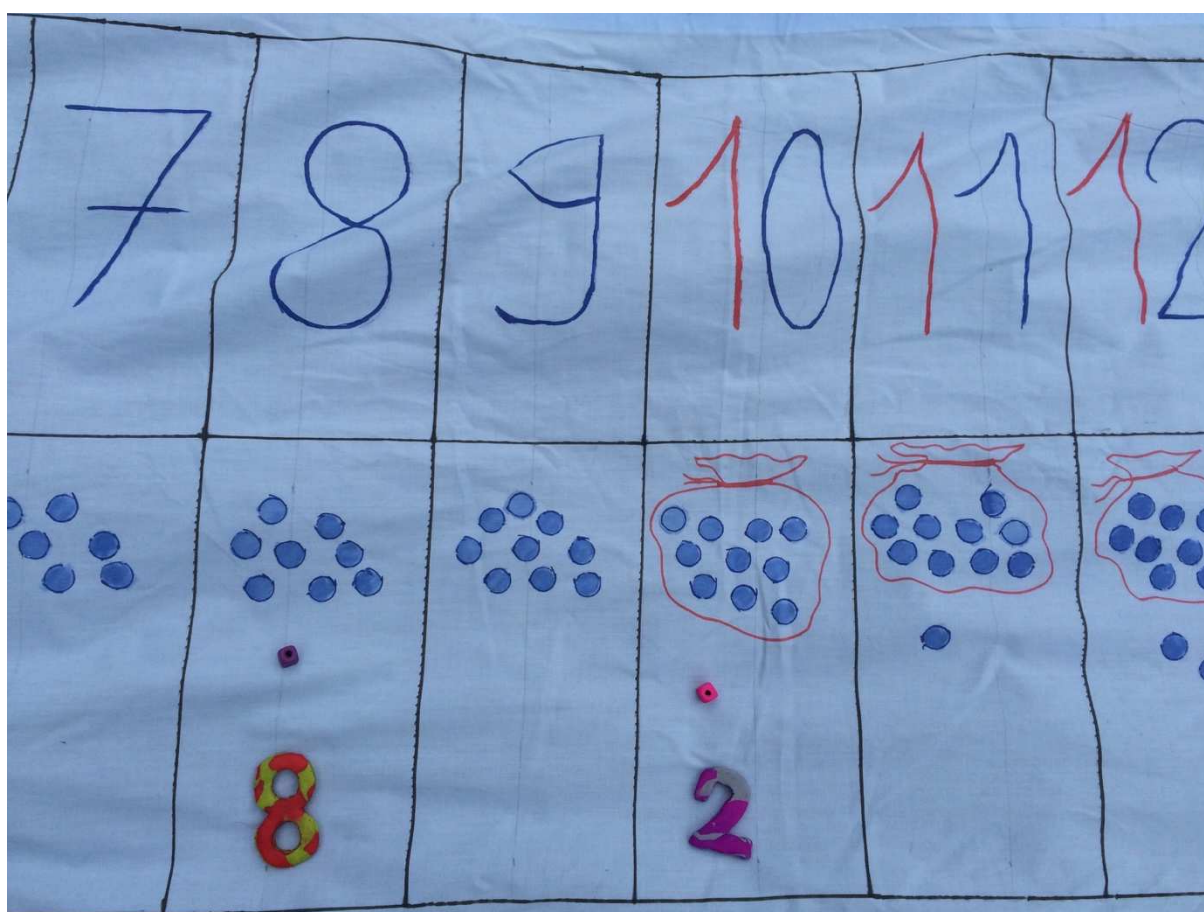
Annexe 5 : Ligne numérique géante : entraînement



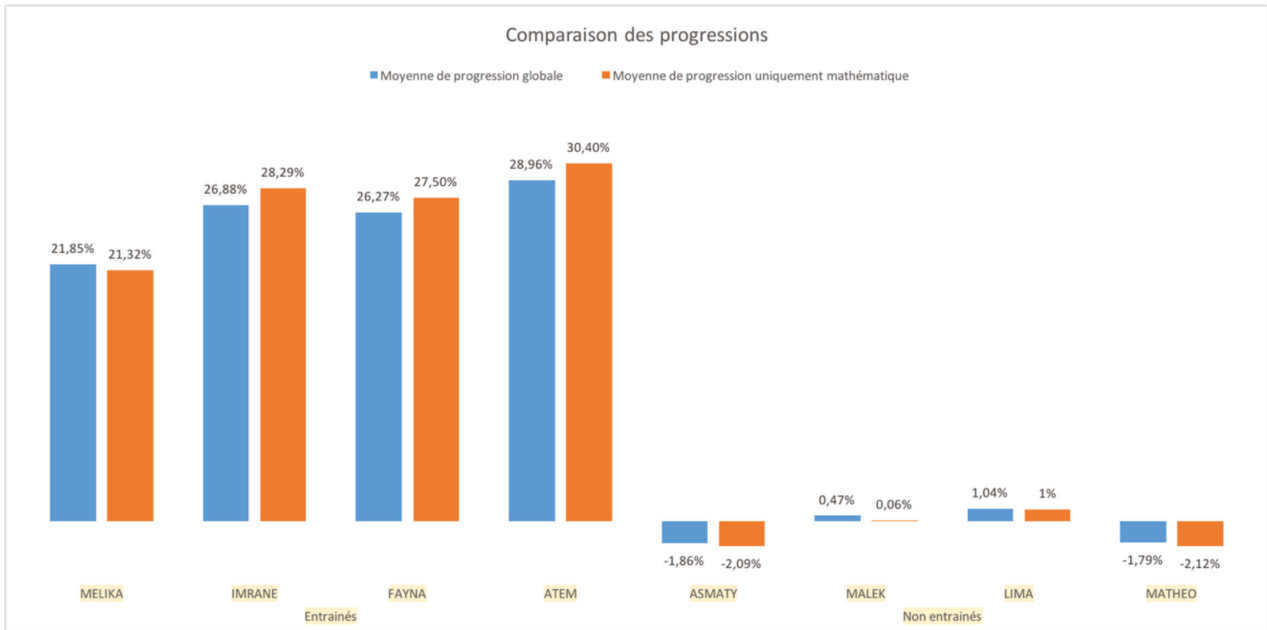
Annexe 5 : Chiffres en pâte FIMO : entrainement



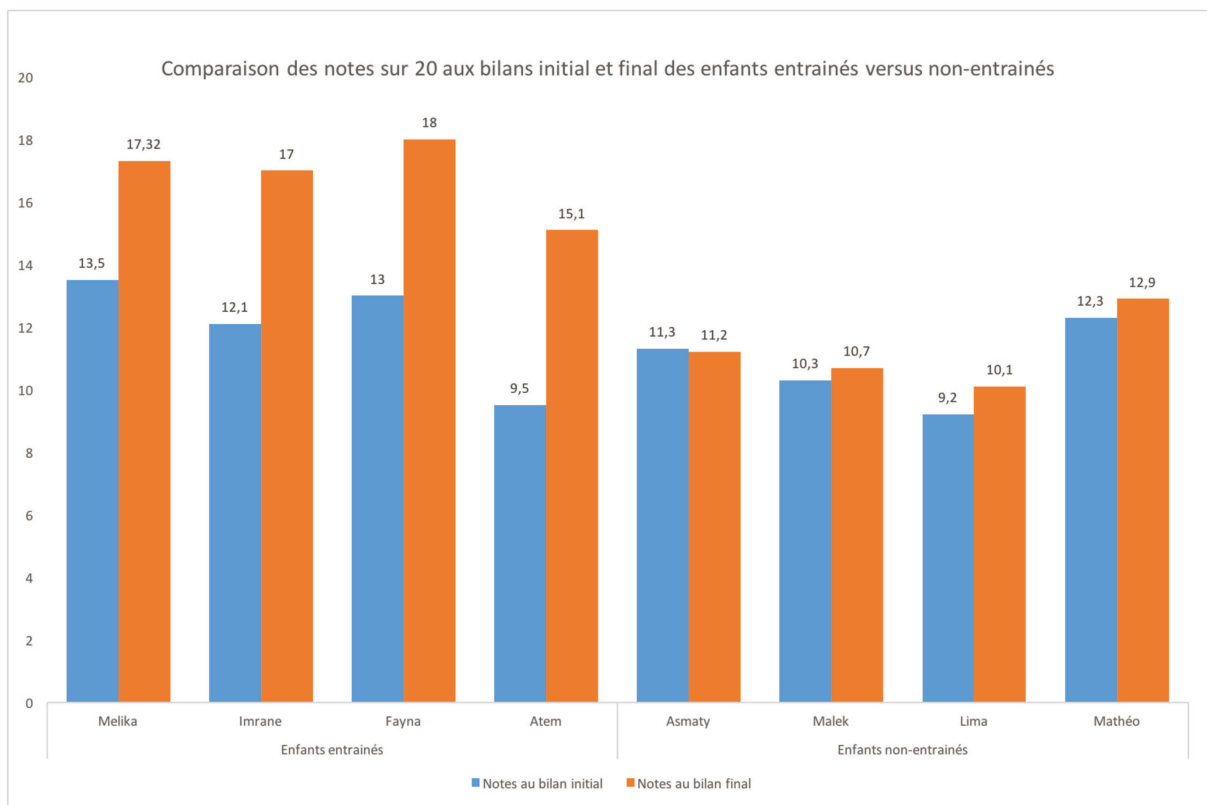
Annexe 6 : Ligne numérique géante et chiffres en pâte FIMO : entraînement



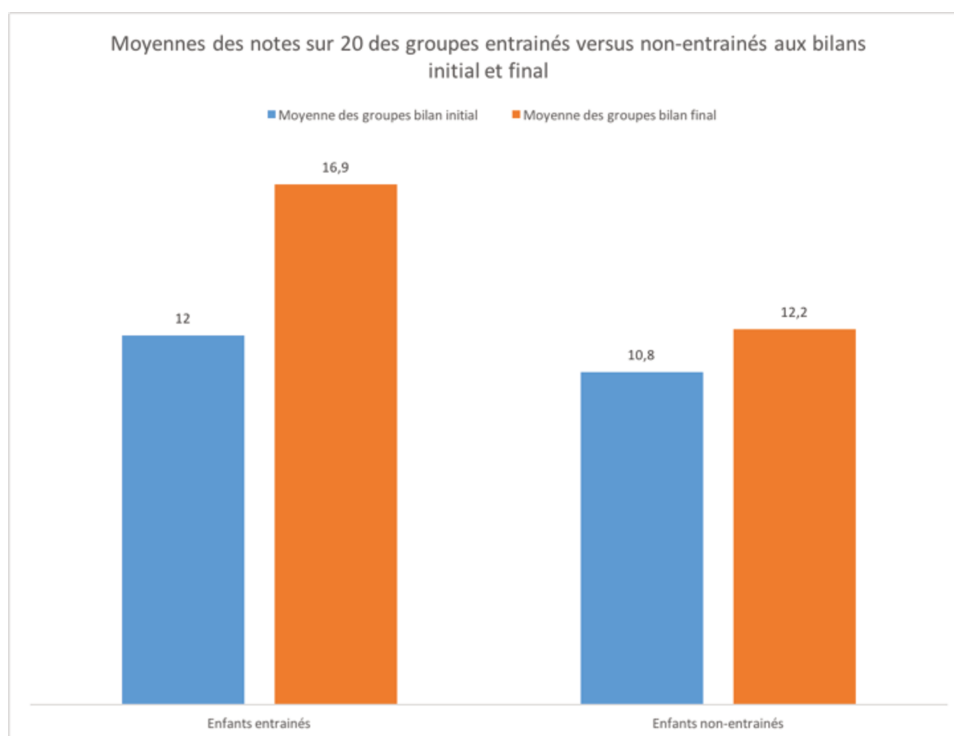
Annexe 7 : Comparaison des progressions globale et mathématique selon les enfants et leur groupe



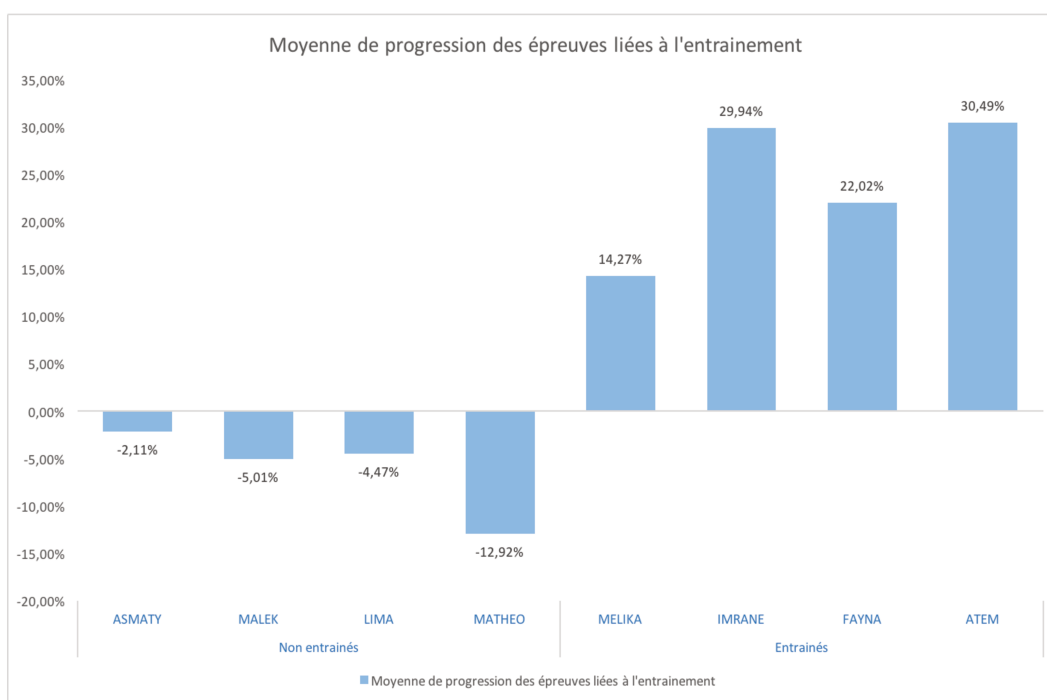
Annexe 8 : Comparaison des notes sur 20 obtenues aux bilans initial et final par les groupes entraînés et non-entraînés



Annexe 9 : Comparaison des moyennes des notes sur 20 du groupe entraîné et du groupe non-entraîné aux bilans initial et final



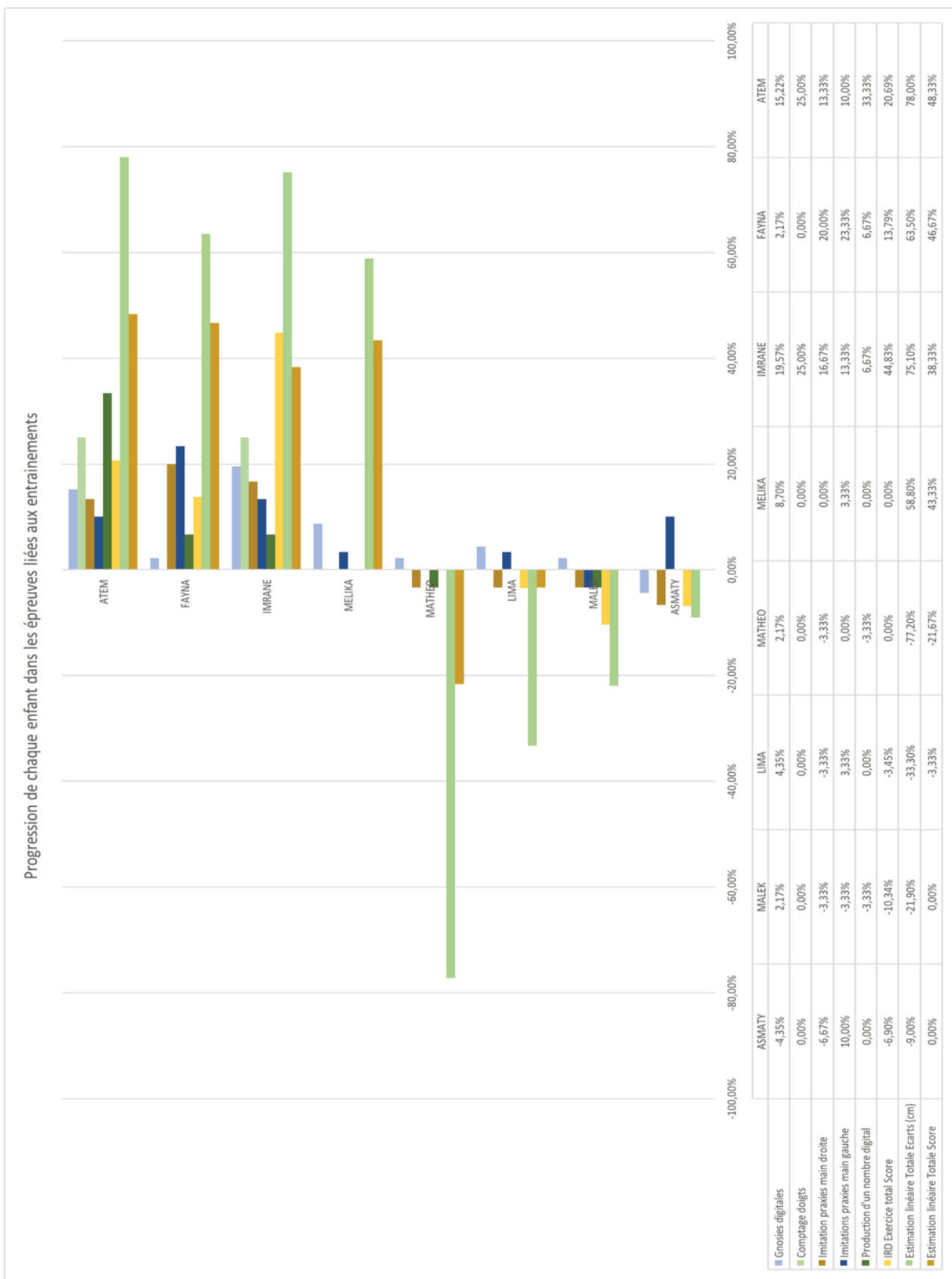
Annexe 12 : Comparaison des moyennes de progression aux épreuves directement liées aux entraînements des enfants non-entraînés et entraînés



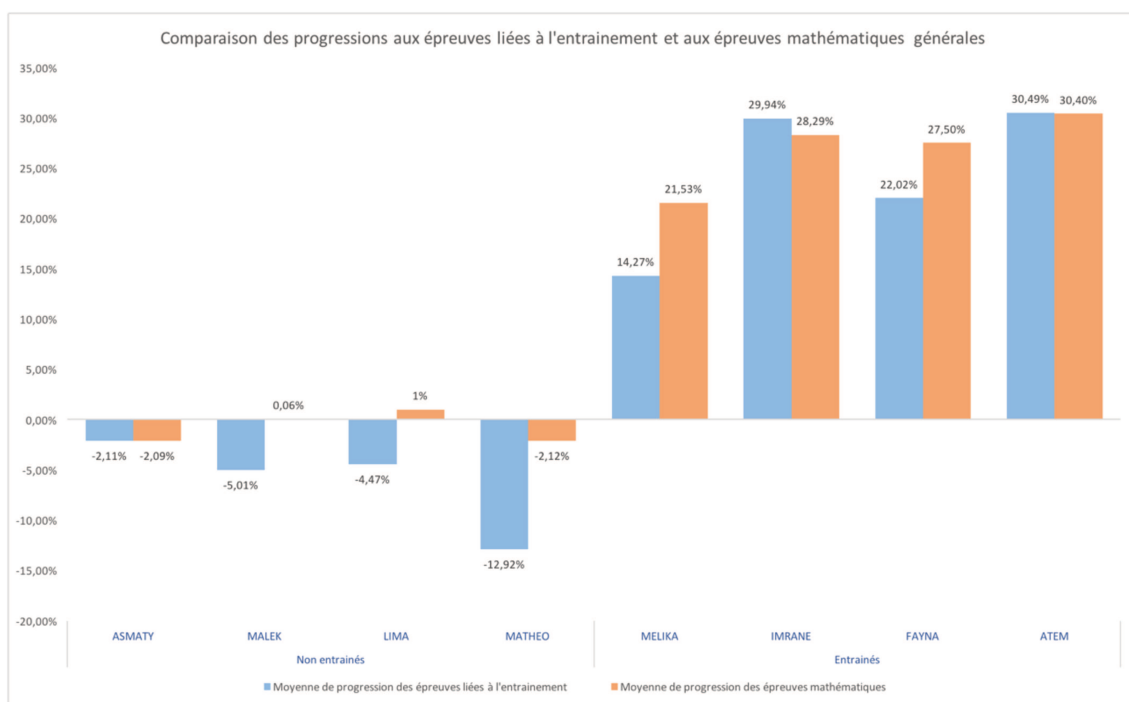
Annexe 10 : Tableau récapitulatif des progressions de chaque enfant aux différentes épreuves mathématiques, des moyennes de progression des groupes et du gain du groupe entraîné (E) par rapport au groupe non-entraîné (NE)

| | Non-entraînés | | | | | Entraînés | | | | | Gains du Groupe E par rapport au groupe NE |
|---|---------------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------|--------|---------|--|
| | Asmaty | Malek | Lima | Matheo | Moyenne | Melika | Imrane | Fayna | Atem | Moyenne | |
| Coordination doigts-pouce totale | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 20,00% | 10,00% | 30,00% | 20% | 20,00% | 20,00% |
| Séquence de Luria | -6,25% | 0,00% | 30,00% | 10,00% | 8,44% | 0,00% | 6,25% | 12,50% | 56,25% | 18,75% | 10,31% |
| Rythmes | 4,76% | 0,00% | 10,00% | 10,00% | 6,19% | 19,05% | 14,29% | 14,29% | 4,76% | 13,10% | 6,90% |
| Fonctionnalité du nombre | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 55,00% | 100,00% | 90,00% | 100% | 86,25% | 86,25% |
| Numeracy Screener symbolique | -1,00% | 2,00% | 10,00% | 6,00% | 4,25% | 24,00% | 37,00% | 73,00% | 32,00% | 41,50% | 37,25% |
| Numeracy Screener N-symbolique | 1,00% | 16,00% | 7,00% | 5,00% | 7,25% | 39,00% | 43,00% | 67,00% | 29% | 44,50% | 37,25% |
| Chaîne numérique Score | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 33,33% | 33,33% | 33,33% | 0,00% | 25,00% | 25,00% |
| Copie de chiffres score | 2,00% | 2,00% | 4,00% | 2,00% | 2,50% | 9,00% | 8,00% | 18,00% | 29% | 16,00% | 13,50% |
| Subitizing | -8,33% | -8,33% | 16,67% | 4,17% | 1,04% | 41,67% | 25,00% | 12,50% | 25% | 26,04% | 25,00% |
| Estimation de collections: nombre d'écarts | -9,00% | -13,00% | -4,00% | 103,00% | 19,25% | 21,00% | 15,00% | 59,00% | 22% | 29,25% | 10,00% |
| Copie de figures géométriques score | 0,00% | 0,00% | 3,33% | 0,00% | 0,83% | 13,33% | 23,33% | 40,00% | 0,00% | 19,17% | 18,33% |
| Estimation linéaire Totale Score | 0,00% | 0,00% | -3,33% | -21,67% | -6,25% | 43,33% | 38,33% | 46,67% | 48,33% | 44,17% | 50,42% |
| Estimation linéaire Totale Ecarts (cm) | -9,00% | -21,90% | -33,30% | -77,20% | -35,35% | 58,80% | 75,10% | 63,50% | 78% | 68,85% | 104,20% |
| Dénombrément | 4,35% | 4,35% | 0,00% | 0,00% | 2,17% | 30,43% | 26,09% | 26,09% | 26,09% | 27,17% | 25,00% |
| Comparaison de collections | -7,69% | 15,38% | 7,69% | 0,00% | 3,85% | 38,46% | 15,38% | 15,38% | 23,08% | 23,08% | 19,23% |
| Comptage erroné | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 25,00% | 25,00% | 0,00% | 25% | 18,75% | 18,75% |
| Classification | 7,14% | 14,29% | 0,00% | 28,57% | 12,50% | 0,00% | 7,14% | 7,14% | 7,14% | 5,36% | -7,14% |
| Association analogique -> indo-arabe Totale | 0,00% | 6,67% | 3,33% | 0,00% | 2,50% | 40,00% | 23,33% | 20,00% | 30% | 28,33% | 25,83% |
| Identification des Représentations digitales Totale | -6,90% | -10,34% | -3,45% | 0,00% | -5,17% | 0,00% | 44,83% | 13,79% | 20,69% | 19,83% | 25,00% |
| Production d'un nombre digital | 0,00% | -3,33% | 0,00% | -3,33% | -1,67% | 0,00% | 6,67% | 6,67% | 33,33% | 11,67% | 13,33% |
| Imitations Praxies main gauche | 10,00% | 3,33% | 3,33% | 0,00% | 4,17% | 3,33% | 13,33% | 23,33% | 10% | 12,50% | 8,33% |
| Imitations Praxies main droite | -6,67% | -3,33% | -3,33% | -3,33% | -4,17% | 0,00% | 16,67% | 20,00% | 13,33% | 12,50% | 16,67% |
| Comptage doigts | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 25,00% | 0,00% | 25% | 12,50% | 12,50% |
| Grosies digitales | -4,35% | 2,17% | 4,35% | 2,17% | 1,09% | 8,70% | 19,57% | 2,17% | 15,22% | 11,41% | 10,33% |
| Dictée | 4,76% | 2,38% | 2,38% | -1,19% | 2,08% | 28,57% | 23,81% | 19,05% | 38,10% | 27,38% | 25,30% |
| Lecture | -3,33% | 0,00% | -6,67% | 6,67% | -0,83% | 3,33% | 23,33% | 38,33% | 20% | 21,25% | 22,08% |
| Transcodage oral en analogique | 0,00% | 8,33% | 0,00% | 0,00% | 2,08% | 8,33% | 0,00% | 0,00% | 25,00% | 8,33% | 6,25% |
| Transcodage symbolique en analogique | 0,00% | 4,17% | 0,00% | 0,00% | 1,04% | 25,00% | 50,00% | 16,67% | 33,33% | 31,25% | 30,21% |
| Sérialion | 0,00% | 0,00% | 3,33% | 0,00% | 0,83% | 10,00% | 10,00% | 10,00% | 13,33% | 10,83% | 10,00% |
| Opérations total | 2,22% | 2,22% | -2,22% | 0,00% | 0,56% | 48,89% | 60,00% | 33,33% | 64,44% | 51,67% | 51,11% |
| Problèmes total | -8,33% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | -2,08% | 75,00% | 58,33% | 41,67% | 75% | 62,50% | 64,58% |

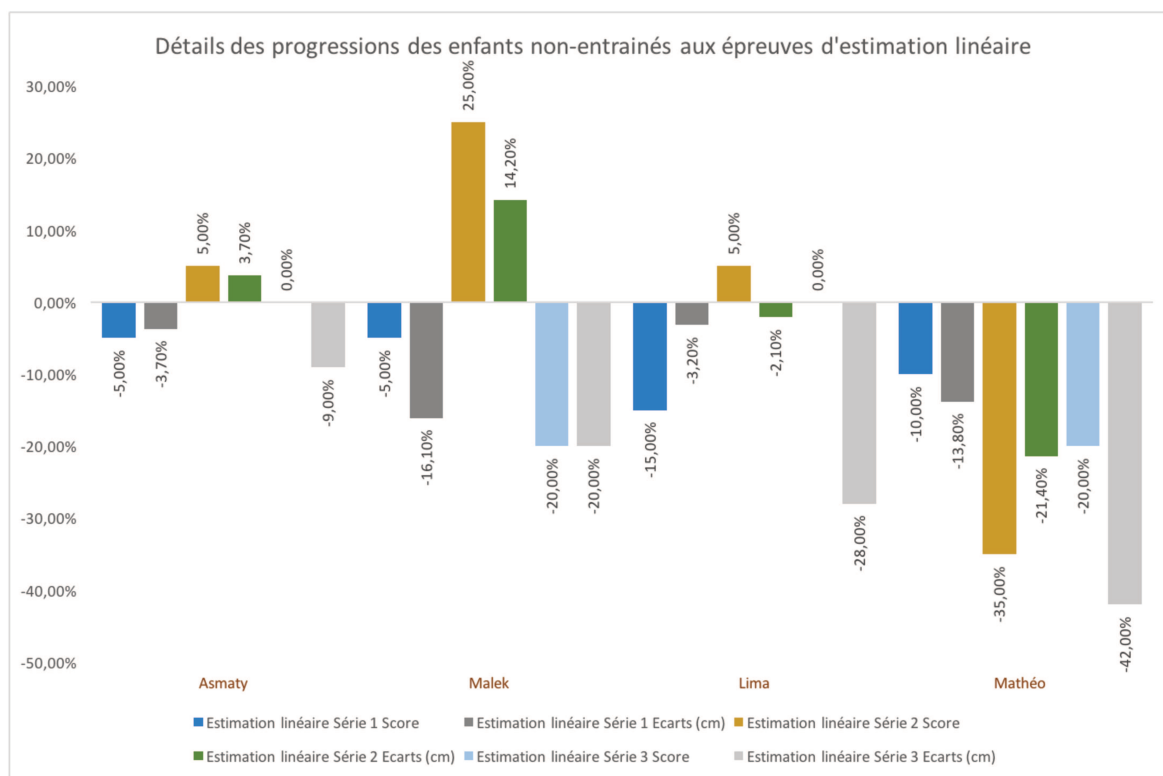
Annexe 11 : Progression de chaque enfant entrainé et non-entrainé dans les épreuves directement liées aux entrainement



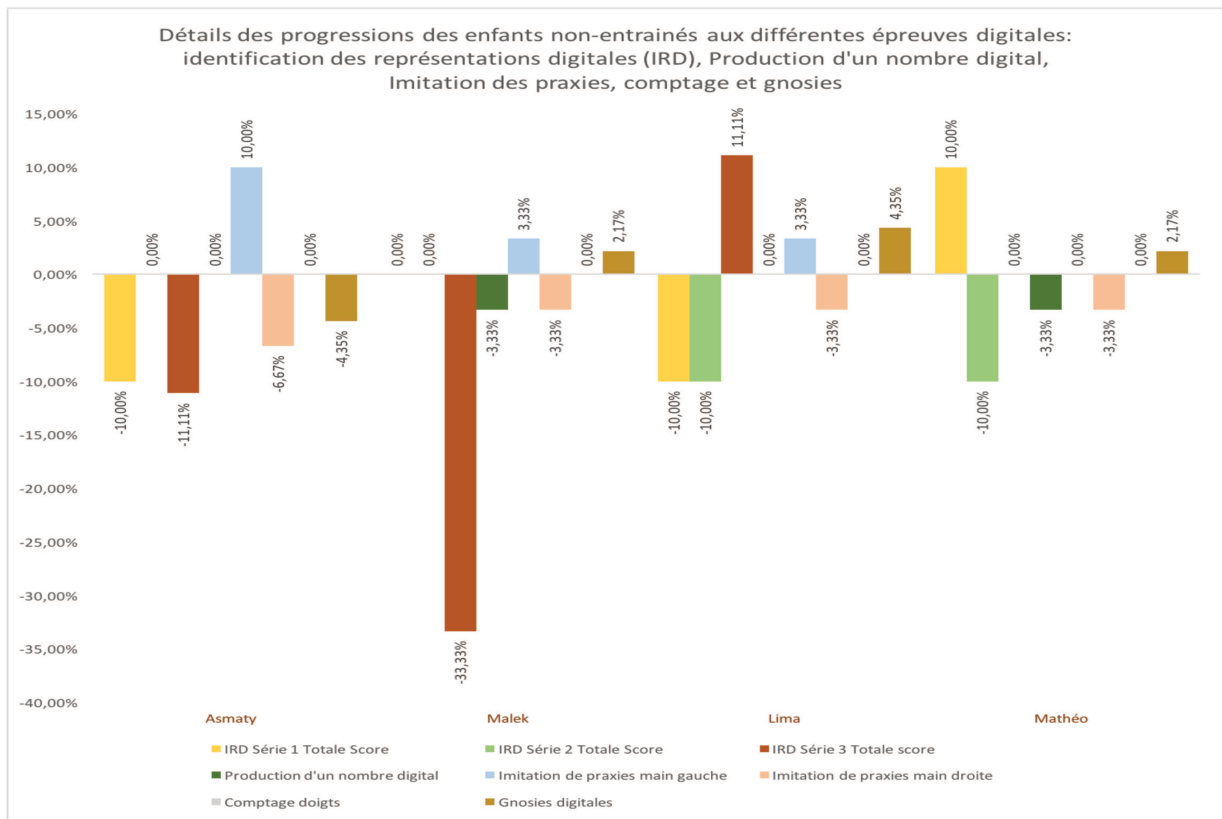
Annexe 13 : Comparaison des moyennes de progressions entre épreuves directement liées aux entraînements et épreuves mathématiques générales



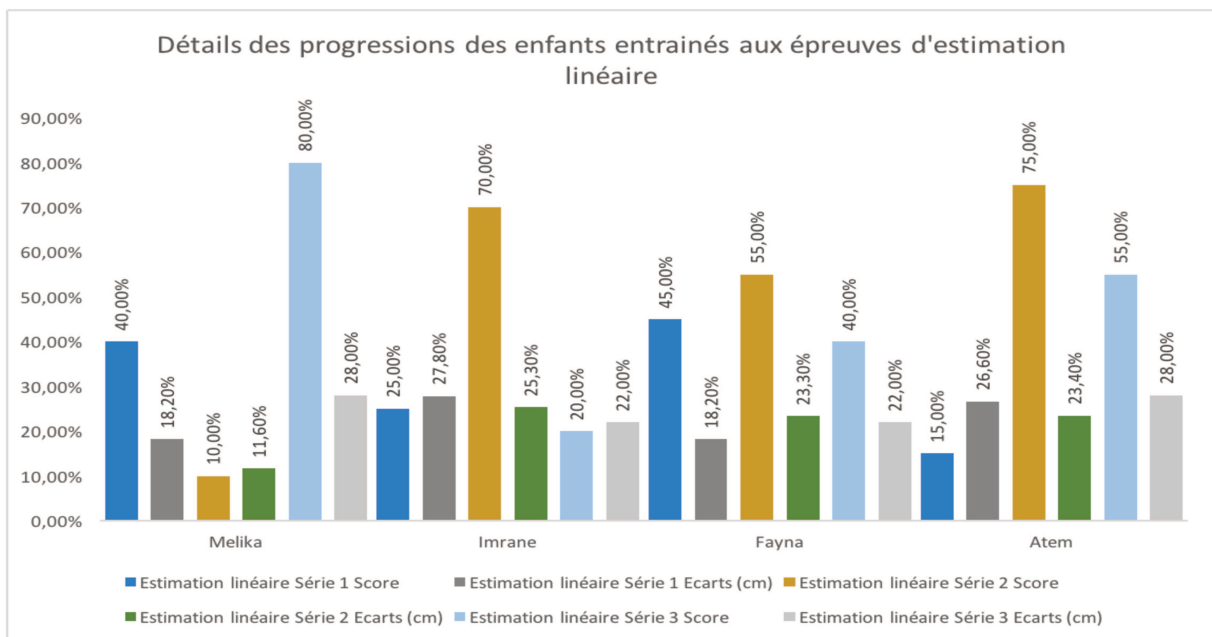
Annexe 14 : Détails des progressions des enfants non-entraînés aux épreuves d'estimation linéaire



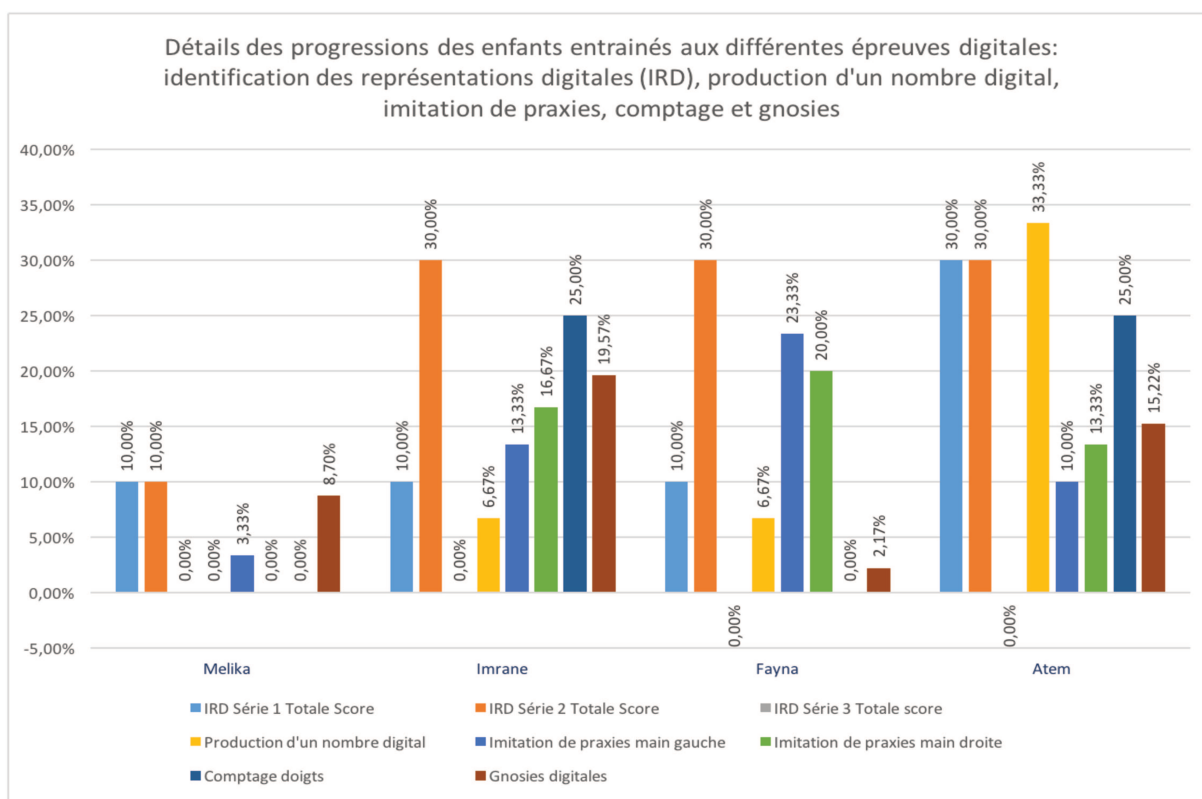
Annexe 15 : Détails des progressions des enfants non-entraînés aux différentes épreuves digitales



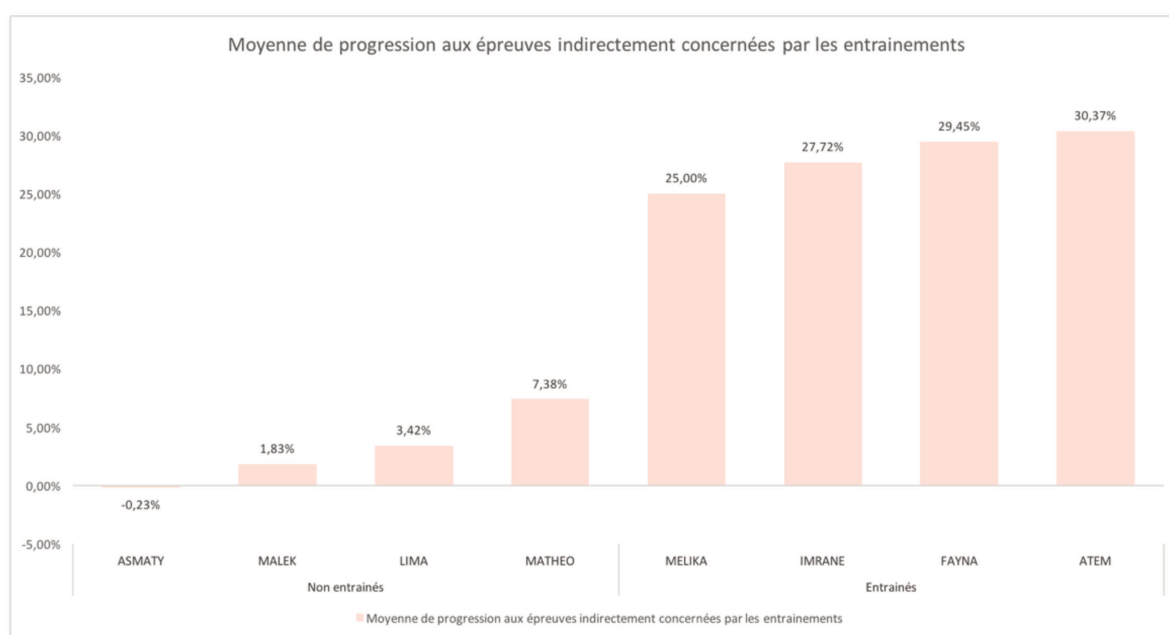
Annexe 16 : Détails des progressions des enfants entraînés aux épreuves d'estimation linéaire



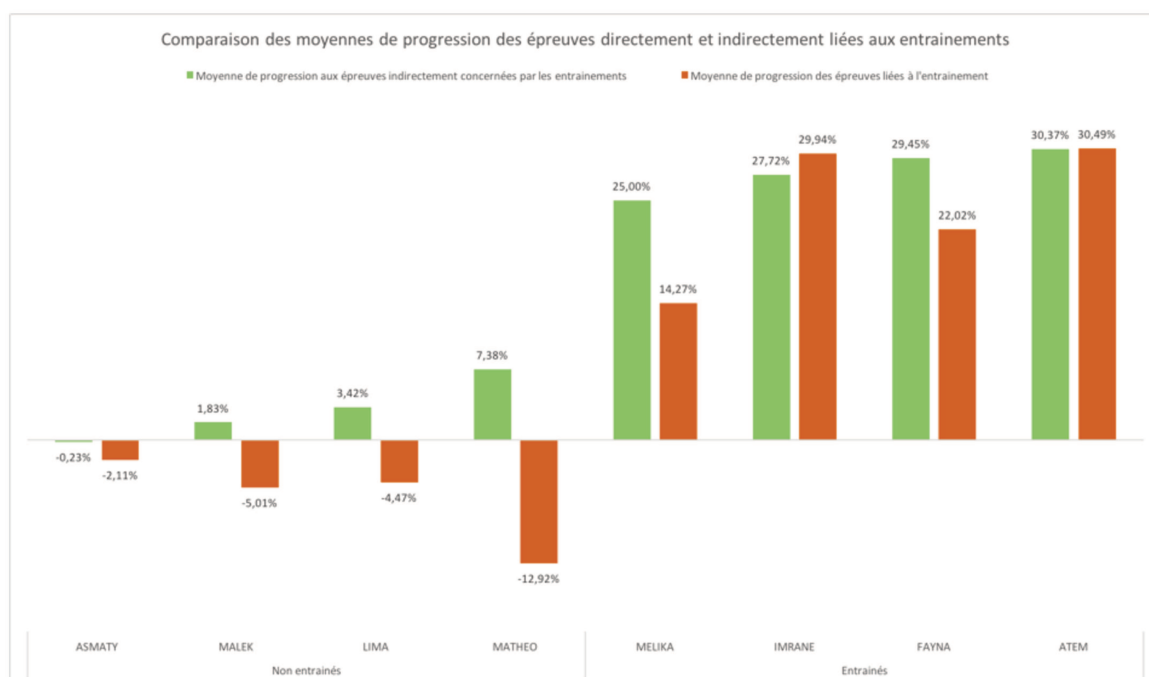
Annexe 17 : Détails des progressions des enfants entrainés aux différentes épreuves digitales



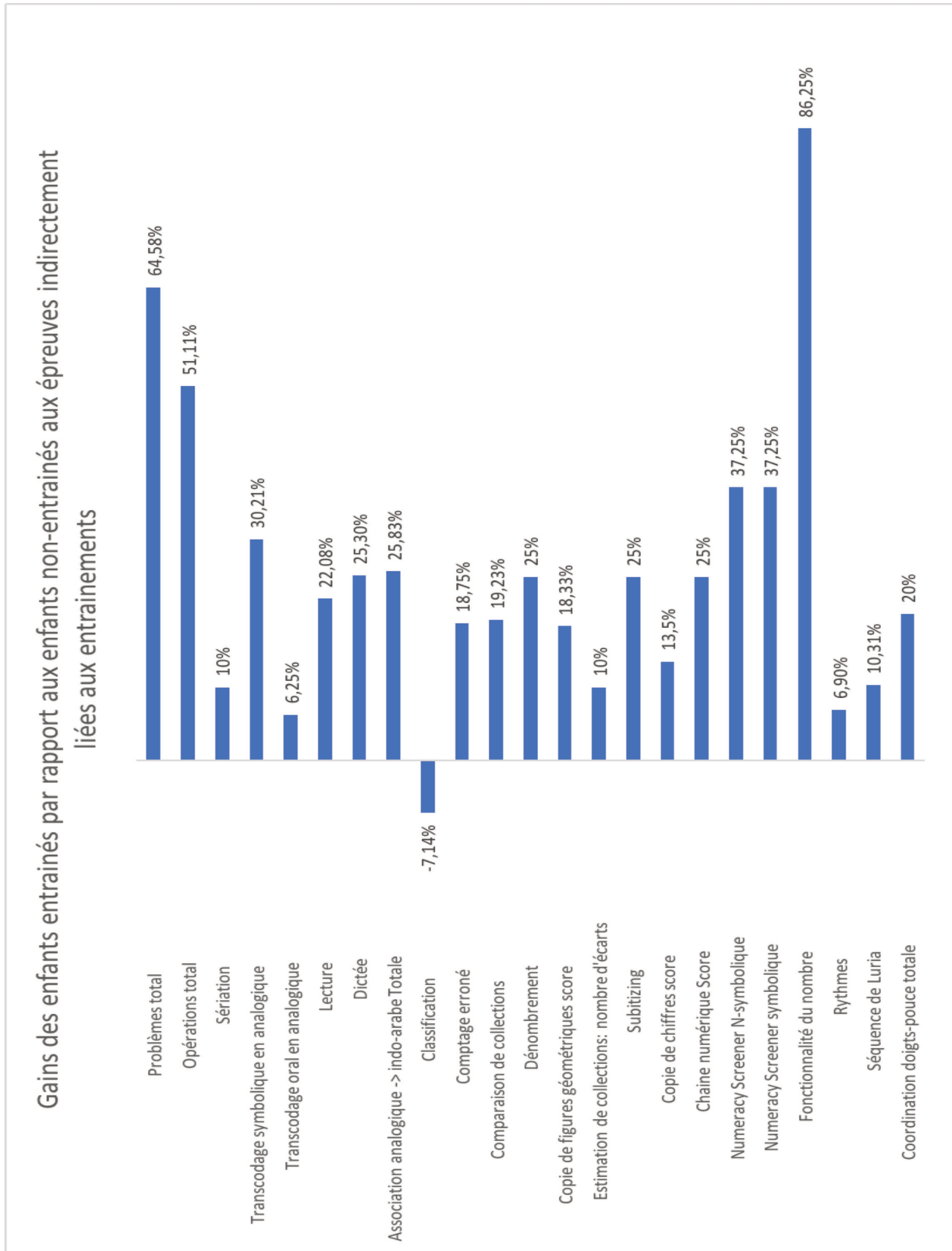
Annexe 18 : Moyenne des progressions des enfants entrainés et non-entrainés aux épreuves indirectement concernées par les entrainements.



Annexe 19 : Comparaison des moyennes de progression des épreuves directement et indirectement liées aux entraînements des enfants entraînés et non-entraînés



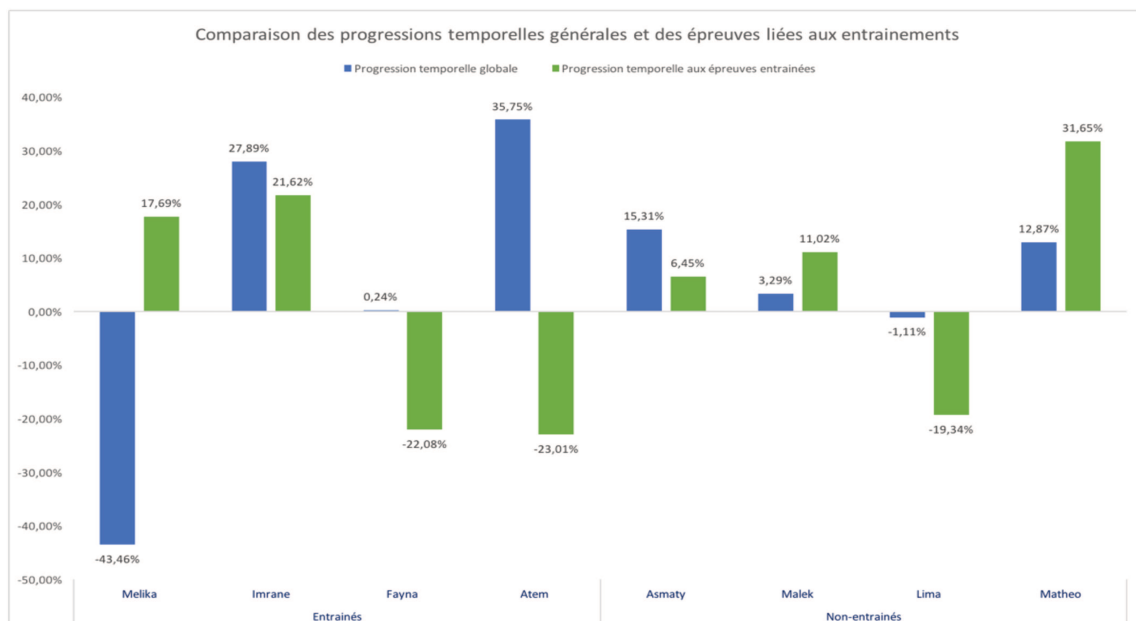
Annexe 20 : Gains des enfants entrainés par rapport aux enfants non-entrainés aux épreuves indirectement liées aux entrainements



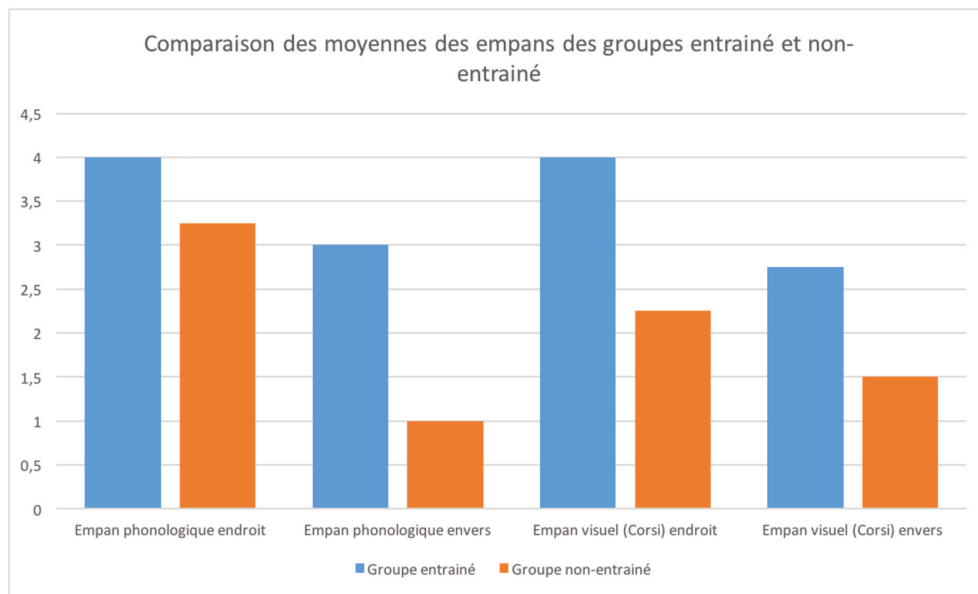
Annexe 21 : Récapitulatif des gains dans la chaîne numérique verbale des enfants entraînés et non-entraînés.

| | | Chaîne numérique stable et conventionnelle au bilan 1, jusqu'à : | Chaîne numérique stable et conventionnelle au Bilan 2 jusqu'à : | Gain dans la chaîne numérique entre les bilans 1 et 2 |
|---------------|--------|--|---|---|
| Entraînés | Mélika | 32 | 39 | + 7 |
| | Imrane | 27 | 39 | + 12 |
| | Fayna | 29 | 39 | + 10 |
| | Atem | 15 | 32 | + 17 |
| Non-entraînés | Asmaty | 29 | 29 | + 0 |
| | Malek | 14 | 14 | + 0 |
| | Lima | 39 | 39 | + 0 |
| | Mathéo | 39 | 39 | + 0 |

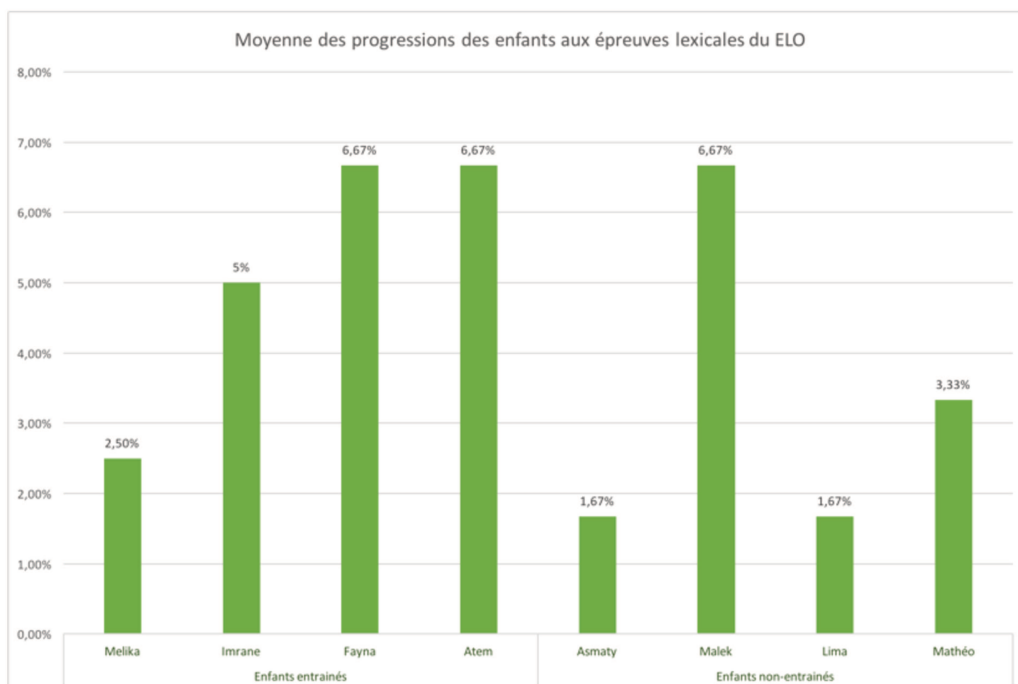
Annexe 22 : Comparaison des progressions temporelles des enfants entraînés et non-entraînés entre la moyenne des quatre épreuves chronométrées et celle des épreuves liées aux entraînements



Annexe 23 : Comparaison des moyennes des empanns du groupe entraîné par rapport au groupe non-entraîné



Annexe 24 : Comparaison des moyennes de progression des enfants aux épreuves lexicales du ELO



Annexe 25 : Comparaison des progressions des enfants entraînés au fil des entraînements



IMPACT D'UN ENTRAINEMENT EN MATERNELLE DES PRAXIES ET DE LA LIGNE NUMERIQUE SUR LE DEVELOPPEMENT DES COMPETENCES LIEES AU NOMBRE

117 pages, 52 références bibliographiques

Mémoire d'orthophonie – UNS / Faculté de Médecine - Nice 2018

RESUME

Notre étude s'inscrit dans la mouvance de la psychologie cognitive développementale. Elle souhaite objectiver l'impact d'un entraînement des praxies digitales et de la ligne numérique sur les compétences liées au nombre d'enfants tout-venant de grande section de maternelle. Le premier entraînement est une stimulation des praxies digitales basée sur des manipulations, comparaisons et identifications de configurations des doigts. L'utilisation des doigts comme support visuel favoriserait en effet l'apprentissage de la chaîne numérique, des capacités de dénombrement et de petites additions (Brissiaud, 1991). Le second entraînement est une stimulation de la « ligne numérique mentale » à partir de différents supports : un plateau de jeu linéaire, numéroté jusqu'à 30 et découpé en 3 lignes de 10 cases identiques, une ligne numérique haptique et une ligne numérique géante accompagnée de chiffres manipulables. L'utilisation d'un jeu de plateau linéaire favoriserait le développement de la « ligne numérique mentale » et ainsi du sens du nombre (Siegler et Ramani, 2008, 2009). Les supports numériques que nous avons rajoutés ont pour but d'optimiser cette stimulation en évitant la lassitude des enfants. Notre étude compare les différences, entre les groupes entraîné et contrôle, des résultats et progressions aux différentes épreuves mathématiques, que nous avons créées. Notre mémoire s'intéresse aux effets des entraînements sur des tâches spécifiquement liées à ceux-ci mais également sur des épreuves distantes. L'analyse de nos résultats indique un important impact positif durable des entraînements sur le développement des compétences numériques, globales et spécifiques, ainsi que des améliorations mnésiques inattendues. Notre faible échantillon ne nous permet pas de généraliser nos résultats. Cependant ceux-ci restent très positifs et encouragent le recours à de tels entraînements.

MOTS-CLES

Compétences liées au nombre, ligne numérique mentale, gnosies et praxies digitales, performances mathématiques, estimation linéaire

ABSTRACT

Our study is in the field of developmental cognitive psychology. We wish to objectively demonstrate the impact of digital training exercises on childrens' competency with a number series compared to a general population of preschoolers. The first exercise is a stimulation by manipulation, comparison, and identification of finger arrangements. Visual support, in effect, favors learning a number series, the capability of counting, and simple addition (Brissiaud, 1991). The second exercise is a stimulation of the number series from different bases: a linear gameboard numbered one through thirty, divided into three lines of ten identical squares, one line tactile, and one line of large numbers that can be manually arranged. The use of a linear gameboard favors the development of the " mental number series " and therefore a sense of the number itself (Siegler et Ramani, 2008, 2009). The numeric supports that we've added have the objective of optimising this stimulation and avoiding the childrens' boredom. Our study compares the differences between the trained group and the control group, the results and progress on different mathematical tests that we have created. Our memoire is concerned with the effects that this training has had in specific tasks related to those above, but also to distantly related challenges. The analysis of the results indicates an important impact, positive and long-lasting of this training on the development of number competency, general and specific as well as mnemonic improvement. Our small sample group does not allow us to generalise our results. Nevertheless, they remain very positive and encourage further study of this training.

DIRECTEUR DE MEMOIRE

Isabelle THUBE-POLI

CO-DIRECTEUR DE MEMOIRE

Gishlaine SCHON
