

Intérêt d'un entraînement de l'estimation numérique dans les troubles logico-mathématiques

Clara Polledri

▶ To cite this version:

Clara Polledri. Intérêt d'un entraînement de l'estimation numérique dans les troubles logico-mathématiques. Médecine humaine et pathologie. 2015. dumas-01498912

HAL Id: dumas-01498912 https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01498912

Submitted on 30 Mar 2017

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.



Faculté de Médecine DEPARTEMENT D'ORTHOPHONIE

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

POLLEDRI Clara

Née le 08 novembre 1989 à Digne les Bains

INTÉRET D'UN ENTRAINEMENT DE L'ESTIMATION NUMERIQUE DANS LES TROUBLES LOGICO-MATHEMATIQUES

Directeur de Mémoire : THUBE-POLI Isabelle,

Orthophoniste

Nice

2015

Université de Nice Sophia Antipolis - Faculté de Médecine – Département d'orthophonie

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

POLLEDRI Clara

Née le 08 novembre 1989 à Digne les Bains

INTÉRET D'UN ENTRAINEMENT DE L'ESTIMATION NUMERIQUE DANS LES TROUBLES LOGICO-MATHEMATIQUES

Directeur de Mémoire : THUBE-POLI Isabelle,

Orthophoniste

Rapporteurs: THUBE-POLI Isabelle, Orthophoniste

SCHON Ghislaine, Orthophoniste

Nice

2015



REMERCIEMENTS

Pour la réalisation de ce mémoire, je tiens à remercier ma directrice, Isabelle THUBE-POLI, pour ses conseils et surtout pour m'avoir transmis sa passion.

Je remercie aussi les orthophonistes (ainsi que leurs patients) qui ont accepté de participer au projet :

Mesdames L. Lebel, I. Tartamella, C. Mathou, C. Bidaud, A.-C. Bertino et V. Resca.

Enfin, merci à ma famille pour son soutien.

SOMMAIRE

Remerc	iements	3
SOMM	AIRE	1
Introduc	ction	4
Partie th	néorique	6
I. A	Apprentissage des nombres	7
1.	Rappel historique de la numération	7
2.	Développement psychologique de l'enfant en lien avec la progression	
	storique	
3.	Procédures de quantification	
II.	Représentation du nombre – apport neuropsychologique	
1.	Notion de magnitude	
2.	Compétences chez l'animal	
3.	Compétences chez le bébé	
4.	Modèle de McCloskey	
5.	Modèle du triple code	
6.	Construction de la ligne numérique mentale (LNM)	
III.	Estimation globale	
1.	Paramètres qui influencent l'estimation globale	
2.	Modèles explicatifs : comment estimons-nous ?	37
3.	Contraintes	39
4.	Stratégies cognitives	39
IV.	Troubles du calcul chez l'enfant	42
1.	La dyscalculie : une grande variété de troubles	42
2.	Une représentation sémantique du nombre dysfonctionnelle ?	44
3.	Le modèle de Von Aster et Shalev	47
4.	Tentatives de remédiation	49
Problen	natique et hypothèses	54
I. F	Problématique	55
II.	Hypothèses	55
Ну	pothèse générale :	55
1.	Hypothèse opérationnelle n° 1 :	56
2.	Hypothèse opérationnelle n°2:	56
3.	Hypothèse opérationnelle n°3:	56
4.	Hypothèse opérationnelle n°4 :	56
5.	Hypothèse opérationnelle n°5 :	56
Partie n	rationa	57

I. N	Méthodologie et chronologie	58
II.	Population	59
1.	Le groupe cible	59
2.	Groupe témoin	59
3.	Critères d'inclusion	60
4.	Critères d'exclusion	60
III.	Présentation du test utilisé pour mesurer l'impact de l'entraînement	60
1.	Choix des épreuves composant le test	60
2.	Description des épreuves	61
IV.	Présentation de l'entraînement informatique	67
1.	Modalités et conditions	67
2.	Les jeux composant l'entraînement	69
3.	La grille de réponse	75
Présenta	ation des resultats	76
I. Etudes de cas		77
1.	Amélia	77
2.	Emilie	88
II.	Résultats par enfant	101
1.	Ludivine - fin CM1, 10 ans 1 mois.	101
2.	Léo – 13 ans 7 mois, 4 ^{ème} .	104
3.	Thibaut – 11 ans, CM2	107
4.	Ariel – 9 ans, CM1	110
5.	Irène – 10 ans 8 mois, CM2	113
6.	Mathieu – 9 ans, CM1	116
III.	Résultats par épreuve	119
1.	Estimations visuelles de quantités	119
2.	Estimations de quantités en contexte	120
3.	Répétition	121
4.	Comptage à rebours	121
5.	Calcul écrit arrondi	122
6.	Calcul mental	123
7.	Compteur de vitesse	123
8.	Ecarts	124
9.	Echelles droites	124
10.	Echelle courbe	125
11.	Estimations PowerPoint	127
12.	Le temps	129

13.	Analyse des épreuves par rapport à l'étalonnage		
IV.	Corrélations 132		
1.	Estimations de longueurs et placement de nombres sur les échelles 132		
2.	Estimations de résultats d'additions et calcul écrit arrondi		
V.	Discussion		
1.	Limites et problèmes rencontrés		
2.	Validation des hypothèses		
3.	Apports		
Conclus	ion145		
Bibliogr	aphie		
ANNEX	TES		
Anne	xe I : Epreuves personnelles		
1.	Echelle courbe		
2.	Ecarts		
3.	Tableau de réponse pour l'épreuve Estimation PowerPoint		
Annexe II : Grille de réponse pour l'entraînement			
Annexe III : Résultats détaillés par enfant			
1.	Amélia		
2.	Emilie		
3.	Léo		
4.	Thibaut		
5.	Ludivine		
6.	Ariel		
7.	Irène		
8.	Mathieu		
9.	Résultats du groupe témoin		
Table de	se Illustrations 160		

INTRODUCTION

Au cours de son développement, l'enfant construit son langage oral, son langage écrit mais aussi son raisonnement mathématique. Il doit, en quelques années seulement, s'approprier les concepts mathématiques et leur langage qui, eux, se sont développés en plusieurs millénaires. La progression du concept de numération est ainsi définie : la numération est d'abord figurale puis symbolisée (par les mots-nombres ou les chiffres). Dans un premier temps, l'enfant conçoit le sens des quantités en les manipulant, dans un second temps il accède au symbolisme qui lui permet de représenter ces quantités, et dans un troisième temps, il peut manipuler ces symboles (par exemple dans le but de réaliser des calculs arithmétiques).

Nous avons choisi de nous intéresser à la manière dont l'enfant se représente les nombres et les quantités qu'ils signifient. Dans ce domaine, l'apport de la neuropsychologie cognitive nous permet de mieux comprendre le fonctionnement global de la cognition mathématique. Parmi les modèles cognitifs proposés, celui de Dehaene suppose la coexistence de trois codes, dont un dit « analogique », qui permet de se représenter les quantités de façon non symbolique, c'est-à-dire en percevant directement la quantité. Ce code serait notamment à l'œuvre dans les tâches de quantification approximative (estimation globale) et ferait appel à un « sens du nombre » qui serait intuitif, précoce et que nous aurions en commun avec certains animaux. Ce code correspond à une numération figurative et concrète.

Selon B. Butterworth, cette représentation sémantique instinctive serait déficiente chez les dyscalculiques. Pour M.-P. Noël, les troubles résulteraient plutôt d'un manque de lien entre ce module analogique et les codes symboliques (numération arabe par exemple). Plusieurs tentatives de remédiation, faisant intervenir des programmes visant à améliorer le « sens du nombre », ont abouti à des progrès, dans le domaine analogique mais aussi dans d'autres domaines arithmétiques. Ces programmes, sur lesquels nous nous appuierons, ont donc démontré leur utilité.

En nous inspirant des données théoriques et des précédents travaux, nous avons fait l'hypothèse qu'un entraînement des capacités d'estimations globales présenterait un intérêt pour ces enfants en difficulté puisqu'il mobiliserait ce « sens du nombre » qui est perturbé. Les patients pourraient alors mieux appréhender les quantités et les symboles qui s'y réfèrent.

L'élaboration de cet entraînement s'inscrit dans une volonté d'élargir les outils de l'orthophoniste, en utilisant au mieux les supports technologiques qui font partie du quotidien des patients. Dans ce contexte, serait-il possible d'élaborer un programme qui permettrait d'entraîner (à une fréquence élevée qui nécessite donc une réalisation en autonomie à domicile) des compétences utiles pour l'enfant dans le cadre de sa rééducation ? Ce programme serait-il suffisamment efficace pour que l'on puisse justifier l'implication importante qui serait demandée à la famille et au patient ? Pourrait-on alors le considérer comme faisant partie du contrat thérapeutique ?

Après avoir détaillé le cadre théorique abordé ci-dessus, nous développerons notre problématique et nos hypothèses. Puis, nous présenterons notre protocole expérimental et nous terminerons avec l'analyse des résultats et leur discussion.

Chapitre I PARTIE THÉORIQUE

I. Apprentissage des nombres

1. Rappel historique de la numération

Très tôt dans l'Histoire, l'homme a eu besoin de calculer et de compter. C'est en fonction de ces différents besoins qu'il a élaboré différentes techniques de numération. ¹

1.1. Une numération concrète

Il y a 30 000 ans, au Paléolithique, apparaissent les premières traces de dénombrement. Des os entaillés laissent penser que, l'écriture n'étant pas encore découverte, l'Homme a d'abord utilisé le principe de correspondance terme à terme pour représenter un ensemble d'éléments. Chaque entaille correspondait ainsi à un élément à dénombrer.

Plus tard, c'est cette technique qui permettait au berger de faire le compte de ses moutons. Il pouvait ainsi mettre un caillou dans un panier à chaque fois qu'un mouton sortait de sa bergerie et vérifier le soir que tous étaient rentrés. D'autres civilisations (dont les Mayas) utilisaient les doigts de la main ou d'autres parties du corps.

Par la suite, en Mésopotamie, des cailloux différents ont été utilisés pour matérialiser différentes valeurs, aboutissant à la création des « bases » (comptage par paquets) et donc d'un système numérique.

1.2. Quelques numérations

La numération romaine utilisait une technique additive. C'est en additionnant plusieurs symboles dont chacun avait une valeur individuelle que l'on pouvait coder un nombre. Cette numération était limitée; d'une part, car le codage des très grands nombres se révélait fastidieux et, d'autre part, parce qu'elle ne permettait pas la réalisation de certaines opérations arithmétiques.

¹ D'après Georges Ifrah, *Histoire universelle des chiffres*, 1994, cité dans la thèse de L. SAAD, dirigée par P. Barouillet.

La numération babylonienne cunéiforme utilisait le principe d'addition mais aussi le principe de position : la valeur du symbole est déterminée par sa position. Les babyloniens utilisaient une base 60. Cette technique permet de coder toutes les quantités avec un petit nombre de symboles.

Diverses numérations utilisant des bases différentes sont apparues dans plusieurs civilisations, et c'est vers le 6ème siècle qu'en Inde fut inventée la numération que nous utilisons aujourd'hui. Les Indiens ont combiné le principe de position et l'invention du zéro (utilisé pour marquer les quantités nulles) et le résultat fut repris par les Arabes qui feront évoluer les signes graphiques jusqu'aux « chiffres arabes » que nous connaissons. Ces chiffres constituent un « lexique » dont la syntaxe (combinaison en fonction du principe de position) permet de coder n'importe quelle quantité dans notre numération décimale (neuf symboles de base auxquels s'ajoute le zéro).

Développement psychologique de l'enfant en lien avec la progression historique

La progression historique de la numération met en évidence les interactions constantes entre pensée logique, pensée symbolique (représentations orales ou écrites) et action. ²

Les « choses » à quantifier le sont d'abord avec des gestes en correspondance terme à terme, puis les mots s'y associent pour finalement les remplacer. Enfin, le symbole remplace le mot. On peut donc identifier une progression (fig. 1).



Figure 1 : progression du concept de numération

² D'après Jacqueline Bideaud, Henri Lehalle, Brune Vilette, *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*, 2004

A terme, la logique sous-jacente à la manipulation des nombres s'exerce sur des entités de plus en plus symboliques. Les stades de Piaget mettent aussi en évidence cette évolution puisqu'autour de 6 ans, l'enfant rentre dans le stade des opérations concrètes et commence à mettre en doute certaines perceptions pour accéder à l'objectivité. Avant cela, il se base uniquement sur le figuratif. Par la suite, vers 11-12 ans, il se détache un peu plus du réel pour pouvoir entrer dans la pensée formelle et effectuer des hypothèses et des déductions.

L'analyse de ce parcours historique permet de mettre en évidence le besoin d'un ancrage initial dans des situations concrètes, influencées par le contexte social et les besoins de l'époque.

On remarque aussi que l'apparition de l'écriture a permis de stabiliser les connaissances et de les transmettre aux générations suivantes. Grace à l'outil symbolique qu'est le langage écrit, ces générations successives ont pu appréhender des « objets mathématiques » nouveaux (comme les irrationnels) et les ajouter aux structures déjà connues, de façon à réorganiser les savoirs.

Ce phénomène n'est pas sans rappeler les processus de construction psychologique décrits dans une approche constructiviste (concepts d'assimilation et d'accommodation développés par Piaget).

En ce qui concerne la construction du nombre entier chez l'enfant et l'accès à l'arithmétique élémentaire, on peut préciser cette progression ³:

Les trois premiers nombres ont certainement été les premiers utilisés par l'humanité. Leur appréhension ne nécessite pas le recours à une logique numérique ou à une construction symbolique mais se base sur la perception. Actuellement (cf chapitre suivant), on parle de « subitizing » pour nommer cette faculté à percevoir de façon quasi instantanée une quantité sans avoir besoin de dénombrer.

_

³ Jacqueline Bideaud, Henri Lehalle, Brune Vilette, *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*, 2004, p.48

- L'apparition de méthodes de quantification « agie », déjà présentes à la préhistoire, qui utilisent le principe de correspondance terme à terme et qui évolueront vers une numération figurale (cailloux pour représenter des moutons) en lien avec la numération parlée, jusqu'à aboutir à une numération écrite.
- L'invention de la base (au début très rudimentaire : la main) qui atteste de la compréhension de la cardinalité et de ses propriétés et qui permettra l'organisation d'un lexique et d'une syntaxe constitutifs d'une symbolisation numérique élaborée.
- Le développement de la syntaxe et du lexique en fonction de l'environnement (culture, politique, quotidien ...).
- La mise en place des opérations arithmétiques, dont la multiplication et la division sont les plus difficiles, mais aussi de leurs liens et interactions.
- La prise en compte à la fois de l'aspect discret (les unités) et de l'aspect continu (intervalle, grandeur), dans un même système, indispensable à la compréhension des nombres irrationnels (racines carrées, nombre pi ...).

Chaque enfant va individuellement suivre ce parcours pour tenter de conquérir la notion de nombre, dans un temps très limité puisqu'à la différence de l'humanité qui a développé ces concepts sur des millénaires, l'enfant ne va disposer que de quelques années. Il doit en quelque sorte « s'approprier un logiciel tout construit avec son lexique, sa syntaxe et ses algorithmes, en utilisant les moyens logiques et symboliques dont il dispose »⁴.

De plus, cette conquête est influencée par l'environnement social qui peut parfois exercer une pression contraignante néfaste pour la motivation de l'enfant.

En ce qui concerne la prise en charge orthophonique et à la lumière de ces connaissances historiques et développementales, deux points paraissent primordiaux :

- → La conservation de cette progression qui s'appuie sur des siècles d'évolution,
- → Le besoin d'ancrage initial dans des situations concrètes, qui a permis la mise en place d'outils pour répondre à des besoins, de façon à construire une numération qui soit utile et cohérente aux yeux de nos patients.

_

⁴ Ibid, p. 49

3. Procédures de quantification

L'enfant et l'adulte disposent de trois moyens pour quantifier une collection.

3.1. Le subitizing

a. Définition

Selon M. Pesenti et L. Rousselle, le subitizing est « un processus qui permet de déterminer très rapidement et avec exactitude la numérosité de petites collections d'éléments »⁵.

Selon plusieurs études (Chi et Klahr, 1975, Van Oeffelen et Vos, 1984, Fischer 1991), c'est au-delà de quatre éléments que le temps de réponse augmente et qu'on ne peut donc plus parler de subitizing mais de la mise en place d'une procédure de dénombrement. Une étude plus récente⁶, citée par A. Lafay⁷, montre que le traitement rapide des petites quantités est limité à trois éléments.

b. Modèles explicatifs

Plusieurs modèles explicatifs tentent de rendre compte de cette capacité :

♦ Modèle perceptif: ce modèle relie le subitizing à la notion d'espace (Atkinson, Francis et Campbell, 1976) et de « caractère canonique », avec l'hypothèse d'un lien entre présentation canonique (dés) et accès direct à la numérosité grâce à la reconnaissance d'un schéma visuel unique (4 => carré, 3 => triangle ...).

⁵ A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, 2005, p. 94 ⁶ Schleifer, P., Landerl, K. *Subitizing and counting in typical and atypical development*, 2011

A. Lafay, Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique, Glossa n° 112, 2013.

D'autres auteurs ont fait appel aux compétences spatiales pour expliquer le subitizing. S. Dehaene⁸ rappelle l'expérience de Trick & Pylyshyn qui montre que la perception immédiate d'éléments dont la position n'est pas immédiatement perceptible (cercles concentriques par exemple), n'est plus possible. Il semble que pour être « subitizés », les éléments doivent nécessairement occuper des positions distinctes.

♦ Modèle sériel : cet autre modèle ne reconnait pas le subitizing comme un processus à part entière mais comme faisant partie du dénombrement. Il présente le subitizing comme l'utilisation d'un dénombrement qui serait très rapide pour les petites numérosités et plus lent pour les grandes.

Pourtant, l'observation de patients cérébro-lésés⁹ a permis de mettre en évidence une dissociation entre subitizing et dénombrement. Ainsi, une patiente a pu continuer d'identifier une collection de 1, 2 ou 3 éléments (avec 8 % d'erreurs) mais au-delà, le dénombrement ne pouvait prendre le relais de façon efficace car la patiente ne pouvait plus diriger successivement son attention vers les éléments à dénombrer.

On retrouve cette notion d'attention dans le modèle suivant.

◆ Modèle pré-attentionnel : exemple du modèle FINST [FINgers of INSTanciation] de Trick & Pylyshyn élaboré en 1993¹⁰ qui introduit la notion de pointeurs mentaux. Ce modèle explique le subitizing par un système parallèle de traitement visuel des stimuli, fonctionnant grâce à des mécanismes attentionnels.

Globalement, les auteurs considèrent aujourd'hui que cette procédure de quantification devient imprécise au-delà de quatre éléments et amène l'enfant à utiliser une autre procédure : le dénombrement ou l'estimation.

-

⁸ S. Dehaene, La bosse des maths, 1996, p. 93

⁹ S. Dehaene, La bosse des maths, 1996

¹⁰ Cités par Pesenti dans Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant, 2005

3.2. Le dénombrement

C'est « la mise en correspondance terme à terme des éléments d'une collection avec les éléments de la suite conventionnelle des noms de nombres. » 11

a. Les principes du dénombrement

En 1983, Gelman et Meck ont mis en évidence cinq principes qui gouvernent cette procédure :

- ◆ Principe de mise en correspondance terme à terme : chaque élément de la collection correspond à une et une seule « étiquette » (mot-nombre par exemple).
- ◆ Principe d'ordre stable : les étiquettes sont ordonnées en une suite dont l'ordre ne change pas (2 vient après 1 et 3 vient après 2, etc.).
- ◆ Principe de cardinalité : la dernière étiquette formulée correspond au cardinal de la collection (« je compte 1, 2, 3, 4 ... il y a 4 bonbons ! »).
- Principe d'abstraction : les éléments à dénombrer peuvent être de nature différente sans que cela impacte le dénombrement (on peut compter une collection composée à la fois de cailloux, de crayons et de chocolats).
- Principe de non pertinence de l'ordre : le comptage peut être réalisé à partir de n'importe quel endroit de la collection sans qu'il n'y ait d'incidence sur la numérosité (on peut commencer par compter les cailloux ou les chocolats sans impacter le cardinal obtenu).

Le dénombrement diffère du simple comptage car l'enfant peut énoncer la suite des motsnombres sans pour autant savoir dénombrer une quantité. Le comptage se résume à la mise en correspondance terme à terme d'un mot-nombre avec l'objet. Le dénombrement nécessite de considérer le dernier élément énoncé comme le cardinal de la collection.

¹¹ A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant, 2005, p. 99

b. Les compétences nécessaires au dénombrement

Composantes de base du dénombrement pour qu'il soit réalisé correctement 12 :

→ La chaîne numérique verbale : connaître la suite des mots-nombres est indispensable à la mise en place du dénombrement. Très tôt, l'enfant fait la différence entre les mots-nombres et les autres mots (Siegler et Robinson, 1982). Il va construire cette chaîne en plusieurs étapes (entre 3 et 6 ans).

Dans une première phase, l'enfant acquiert en répétant (de façon plus ou moins stable) la chaine numérique verbale de façon globale, sans que chaque mots-nombre ne soit dissocié et individualisé (cinq ne sera pas dissocié de undeuxtroisquatrecinqsix). Puis, dans une seconde phase, l'enfant va décomposer progressivement chaque élément de la chaîne et pouvoir d'abord donner l'élément qui vient juste après sans recommencer du début. Il sera aussi capable de compter à partir d'un point donné, jusqu'à construire une chaîne dite « bidirectionelle » qu'il pourra manipuler dans les deux sens et décomposer.

→ Le pointage : Plusieurs travaux ont montré que lors d'une tâche de dénombrement, le pointage améliore la qualité de la performance (Alibali et Di Russo, 1999). Le pointage permet d'une part d'identifier et d'écarter les éléments déjà comptés, et d'autre part de faciliter la correspondance terme à terme entre l'objet et l'étiquette verbale.

3.3. L'estimation globale :

Elle intervient quand la collection est trop importante pour utiliser le dénombrement ou que le temps disponible est limité. Elle permet d'estimer approximativement une numérosité.

Nous détaillerons cette procédure de quantification de façon approfondie au chapitre III.

14

¹² D'après A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, 2005, p. 100

II. Représentation du nombre – apport neuropsychologique

1. Notion de magnitude

Cette notion de magnitude ou numérosité, indispensable à la construction du nombre, fait l'objet de nombreux débats sur lesquels s'opposent deux courants :

- ◆ Les constructivistes, pour lesquels la construction des connaissances du bébé puis de l'enfant s'appuie sur une interaction constante avec l'environnement et à partir de contraintes phylogénétiques (qualités innées) minimales. L'approche constructiviste s'est intéressée, notamment avec les travaux de Piaget, à la nature des relations logiques qui sous-tendent la chaîne numérique et la construction du nombre (classification, sériation, conservation).
- ◆ Les nativistes (innéistes), pour lesquels ces contraintes phylogénétiques initiales sont très fortes et à l'origine d'une certaine représentation de la numérosité, et même d'un « concept du nombre », qui seraient présents dès la naissance. Les interactions socioculturelles ne permettraient que d'exprimer puis de développer des qualités déjà présentes au départ. Ce courant est à l'origine des travaux réalisés sur l'animal et le bébé dans le cadre de la recherche de capacités innées.

Si l'animal et le bébé sont capables de compter et de calculer, on peut penser que la logique inhérente au système de comptage est innée et que ce système ne pourrait être développé que de façon quantitative, grâce aux applications fournies par le contexte socioculturel (école par exemple).

En ce qui concerne la notion de numérosité, on peut se demander :

- si elle est totalement innée,
- si elle est au contraire uniquement construite avec les expériences,
- ou enfin si les éléments innés et développementaux sont dans une perspective de renforcement mutuel et dont les interactions constantes permettraient à l'enfant d'élaborer progressivement sa construction numérique.

S. Dionnet 13 résume le point de vue des deux grands courants face à cette problématique:

Dans la perspective piagétienne, « le nombre est une abstraction (...), il n'est pas luimême une quantité physique »¹⁴, le nombre ne sert que d'outil. C'est à partir de l'expérimentation du monde concret que l'on peut développer le passage au nombre et à ses propriétés, et non l'inverse. En cas de trouble, il est donc tout aussi important d'évaluer les « routines scolaires » que les raisonnements qui sous-tendent ces routines.

A l'inverse, la « numérosité », dans une approche neuropsychologique, fait référence à un stimulus perceptif, « elle s'impose au sujet comme tout autre sollicitation perceptive. Elle ne correspond en aucun cas à une abstraction ... »; la numérosité n'est qu'un cas particulier d'utilisation du nombre.

S. Dionnet se place nettement dans le premier courant et cite une situation à titre d'exemple :

« Je sors d'une réunion et, rencontrant un collègue, je lui annonce : « nous étions 45 ! cela peut signifier que la salle prévue pour 30 était sur-occupée, que sur 124 inscrits il y avait moins de la moitié des participants prévus, ou bien autre chose! Le nombre en luimême ne signifie rien ... il ne trouve son sens que dans un cadre de connaissances plus ou moins partagées ... ». 15

Cette notion de « sens du nombre » inné et de base neuronale est selon lui discutable car le nombre ne signifie rien en lui-même, il n'a pas de valeur absolue. Pour l'auteur, ce sont les connaissances conceptuelles à propos des mathématiques (lexique, syntaxe des codes) qui vont permettre de « mathématiser le monde » et de définir une quantité, et non pas un « évaluateur quasi automatique » 16.

C'est en analysant les travaux et les faits expérimentaux rapportés par différents auteurs concernant les bébés et les animaux que nous tenterons de clarifier les origines phylogénétiques de la quantification numérique.

¹³ S. Dionnet, Dyscalculie et innumérisme : troubles du calcul ou enfant troublé par les maths ?, ANAE, 2012

¹⁴ Ibid p. 523 ¹⁵ Ibid p. 523

¹⁶ Ibid p. 524

2. Compétences chez l'animal

2.1. Problématique

L'hypothèse de l'existence d'une continuité entre l'homme et l'animal suppose la présence chez l'animal et chez le bébé de compétences numériques comparables à celles de l'adulte humain. Il s'agirait de procédures de quantification non-verbales qui permettraient de compter en dehors de tout langage. Certains auteurs¹⁷ estiment que cette notion est difficile à concevoir si l'on considère que les procédures de comptage-dénombrement de l'adulte humain reposent sur un système symbolique (code écrit et/ou oral) qui, a priori, n'est pas présent chez l'animal ou chez le bébé.

En outre, ces procédures supposent aussi la compréhension des propriétés cardinales (le dernier nombre obtenu par le comptage lors du dénombrement d'une collection correspond à son cardinal) et ordinales (notamment le principe d'itération n+1 de la suite numérique).

Si ces propriétés n'apparaissent pas comme maîtrisées lors des expériences menées sur les animaux, peut-on vraiment parler de dénombrement ?

2.2. Quelques travaux

chapitre 3

La plupart des expériences d'apprentissage de compétences numériques chez l'animal ont utilisé des techniques de conditionnement. L'expérimentateur fixe un programme de stimuli auxquels l'animal va répondre (appui sur un levier par exemple) puis ce dernier verra son comportement renforcé (récompense) ou non (absence de récompense ou sanction).

¹⁷ Jacqueline Bideaud, Henri Lehalle, Brune Vilette, *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*,

Rilling et McDiarmid (1967) puis Honig (1993)¹⁸ ont montré que les pigeons étaient capables, après apprentissage basé sur le conditionnement, de discriminer des grands nombres. Cette capacité n'est plus présente lorsque les nombres présentés sont proches (différence inférieure à 4), en particulier les petits nombres. On peut donc penser que les pigeons sont capables de discriminer deux quantités non adjacentes mais sans pour autant percevoir l'aspect discret du nombre.

Cette capacité de discrimination se retrouve chez beaucoup d'espèces animales : pigeons mais aussi rats, chimpanzés ou dauphins. La performance est toujours soumise aux contraintes de taille et de distance, y compris chez l'homme (voir chapitre suivant).

J. Vauclair¹⁹ rappelle l'expérience de Rumbaugh, Savage-Rumbaugh & Hegel en 1987, qui met en scène un chimpanzé face à deux plateaux sur lesquels sont disposés des morceaux de chocolat.

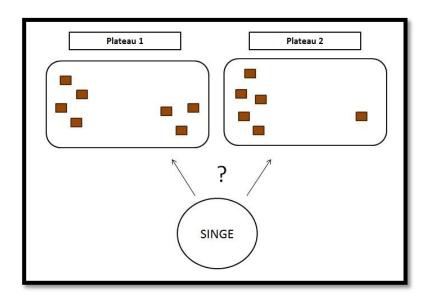


Figure 2: l'expérience de Rumbaugh, Savage-Rumbaugh & Hegel, 1987

¹⁸ Auteurs cités ibid p. 101

¹⁹ http://sites.univ-provence.fr/wpsycle/documentpdf/DocVauclair/chapSolal00.pdf, p. 6

Dans cette expérience, le chimpanzé est invité à choisir le plateau où il y a le plus grand nombre de morceaux de chocolat, qu'il sera autorisé à manger par la suite. Pour réussir, le chimpanzé doit prendre en compte la totalité des morceaux répartis en deux tas pour décider que, 7 étant plus grand que 6, le plateau 1 est plus intéressant.

Les résultats montrent que dans 90 % des cas, les singes choisissent le plateau 1. Si le singe ne prenait pas en compte les deux tas (ce qu'il fait en estimant globalement les quantités puis en effectuant une comparaison), il choisirait probablement le plus grand nombre présent, c'est-à-dire 5, et donc le plateau 2.

Les auteurs sont conscients qu'il ne s'agit probablement pas d'une addition telle que nous pourrions, en face du même problème, la concevoir ; mais bien d'un « comparateur de quantités »²⁰. Selon eux, la fusion perceptive (et donc une réponse basée seulement sur des capacités perceptives de volume et de surface) des deux tas est inefficace dans cette situation car les deux tas de chaque plateau sont éloignés, donc le singe mobiliserait bien des capacités « arithmétiques » pour faire le bon choix.

Dehaene²¹ ne s'étonne pas de ces capacités puisqu'elles sont selon lui liées à la survie de l'espèce : savoir où il y a *le plus* de nourriture ou bien l'endroit où il y a *le moins* de prédateurs est en effet très important.

Certains animaux sont capables, après apprentissage, de choisir le plus grand dans une suite de 4 ou 5 chiffres (singes macaques Abel et Baker) ou d'associer un signe numérique ou vocal à une collection (perroquet Alex). Cela laisse penser qu'ils possèdent une certaine capacité de correspondance terme à terme ainsi qu'une capacité de discrimination (vraisemblablement non basée sur le comptage mais peut-être sur une perception très efficace) qui sont deux éléments fondamentaux dans la construction du nombre chez l'enfant.

²⁰ Ibid, p. 7

²¹ S. Dehaene, *La bosse des maths*, 1996, p. 37

2.3. Les limites des capacités animales

En ce qui concerne leurs performances, il est difficile de savoir si les animaux envisagent ces collections comme constituées d'éléments discrets ou s'ils se basent sur la perception et sur l'estimation d'une grandeur globale, dans le domaine du continu. Même quand les singes sont a priori capables d'ordonner une suite d'éléments, rien n'indique qu'ils aient construit une série numérique discrète selon l'itération n+1 (deux est après un car c'est deux fois un élément, et trois est après deux car on a encore rajouté un élément ...). 22

De même, S. Dehaene rappelle que « la manipulation d'étiquettes symboliques des nombres par les animaux reste un phénomène exceptionnel ». ²³. Même un apprentissage long et rigoureux ne permet pas la manipulation aisée des symboles, et leur utilisation dans des opérations arithmétiques par exemple, y compris chez l'animal le plus proche de l'Homme.

En revanche, un petit enfant compte spontanément sur ses doigts et maîtrise les chiffres dès ses premières années. « Le cerveau humain en développement semble absorber le langage sans effort, au contraire des autres animaux auxquels il faut souvent répéter cent fois la même leçon pour qu'ils en retiennent des bribes »²⁴.

3. Compétences chez le bébé

Sous l'influence de Piaget et du courant constructiviste, on a longtemps cru que le bébé naissait vierge de toute connaissance. On considérait qu'à travers les nombreuses expériences de vie et les manipulations, il élaborait les propriétés des objets, puis celles du nombre.²⁵

Cependant, certains auteurs nativistes, dans la ligne de Chomsky et de sa vision innéiste du langage, ont cherché à mettre en évidence des compétences qui seraient présentes dès les premiers mois de la vie, permettant une réelle intuition du nombre.

²² D'après op.cit. p. 10

²³ S. Dehaene, *La bosse des maths*, 1996, p. 51

²⁴ Ibid p. 53

²⁵ Op. cit. p. 10, chapitre 4

« Le cerveau humain possèderait un système d'appréhension des quantités numériques, hérité du monde animal, qui guide son apprentissage des mathématiques ». ²⁶

En ce qui concerne la méthodologie, Papousek (1992) a montré que les bébés ne semblent pas réceptifs aux techniques de conditionnement. Il est donc difficile de baser des études sur cette méthode. De plus, cela montre qu'« un conditionnement est peu probable dans l'univers quotidien du bébé »²⁷.

Les chercheurs ont donc utilisé deux autres techniques : ils ont mesuré la durée de fixation visuelle et ont observé les réactions du bébé.

Trois domaines ont été explorés ²⁸:

3.1. La discrimination de quantité

En 1980, Starkey et Cooper ont d'abord habitué les bébés à un stimulus : ils ont présenté plusieurs fois de suite des images contenant 2 points jusqu'à ce que les bébés se lassent et ne réagissent plus. Ensuite, ils ont présenté l'image test (3 points). Ils ont observé que dans ce cas-là, les bébés observaient plus longtemps l'image test, sous l'effet de surprise. Ils en ont conclu que le bébé présentait dès la naissance des représentations numériques qui lui permettaient de discriminer des quantités.

Cependant, de nombreuses critiques se sont élevées quant à la méthodologie de cette étude. En effet, il semble que certaines variables non numériques aient été mal contrôlées. Par exemple, la taille des points ne variait pas, donc lorsqu'un point se rajoutait, la quantité de matière (la somme des surfaces des points) augmentait. Il semble alors possible de réaliser cette discrimination sans avoir recours à la numérosité mais en se basant sur la perception seule.

²⁶ S. Dehaene, La bosse des maths, 1996, p. 55

²⁷ Papousek, cité dans *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*, Jacqueline Bideaud, Henri Lehalle, Brune Vilette, p. 121

²⁸ Op.cit. p. 10

Un peu plus tard, Starkey, Spelke et Gelman (1983) ont conclu, d'après leurs travaux, que les bébés étaient capables d'associer un nombre de battements entendus à un nombre d'éléments d'une collection présentée visuellement (double modalité), ce qui impliquerait une sensibilité à la numérosité. Les bébés fixaient plus longuement les collections lorsqu'elles correspondaient au nombre de battements entendus. Là encore, ces résultats n'ont pas été reproduits depuis, car il semble qu'en contrôlant mieux les variables de l'expérience (notamment en proposant des battements de durée et de tempo aléatoires), les résultats ne soient plus significatifs.

De nombreux autres travaux aboutissant à des conclusions en faveur de compétences précoces chez l'enfant sont ainsi remises en cause dans leur méthodologie puisqu'il semble difficile de contrôler tous les paramètres en jeu dans les expériences de façon à isoler la capacité de numérosité.

Cependant, l'ensemble des études récentes aux paramètres mieux contrôlés montre que les bébés sont capables très tôt de discriminer des petites numérosités (entre 1 et 3) mais aussi des plus grandes (travaux de Xu et Spelke, 2000). « Tout porte à croire que cette discrimination (...) repose sur des indices spatiaux et non sur des indices numériques. » ²⁹

3.2. L'ordre numérique

En 2002, Brannon a tenté de montrer que les bébés sont capables, à 11 mois, de reconnaître les relations d'ordre entre des numérosités. Après avoir été habitués à des séquences de numérosités arrangées en ordre croissant (2, 4, 7 carrés), les bébés semblent surpris et fixent plus longtemps une séquence présentée en ordre inverse.

Cependant, la variable de l'extension spatiale n'est là encore pas contrôlée, ce qui peut amener à attribuer cette différenciation à des indices spatiaux.

²⁹ Jacqueline Bideaud, Henri Lehalle, Brune Vilette, *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*, p. 137

3.3. L'hypothèse d'une capacité de calcul arithmétique

a. L'expérience de Wynn (1992)

Wynn (fig. 3) a utilisé un petit théâtre comprenant un écran amovible (qui s'abaisse ou se lève selon que l'on veut cacher la scène ou non) et deux personnages qui représentent Mickey.

Deux situations sont proposées, à deux groupes de bébés : une situation d'addition et une situation de soustraction.

Les personnages sont manipulés devant l'enfant et à la fin de cette manipulation, l'écran qui s'est levé au cours de l'expérience s'abaisse et laisse apparaître le résultat (présence ou absence d'un certain nombre de personnage).

Ce résultat peut être exact $(1+1 \Rightarrow 2 \text{ personnages sont présents})$ ou impossible $(1+1 \Rightarrow 1 \text{ personnage est présent})$.

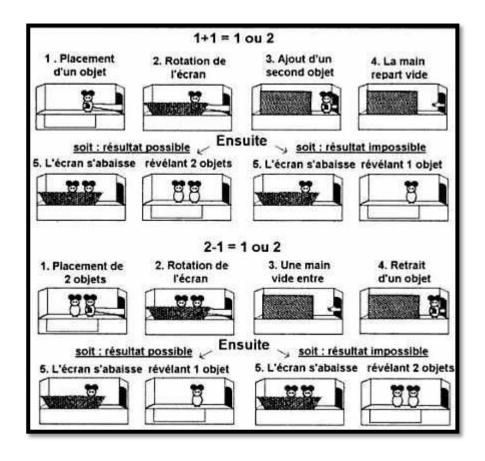


Figure 3 : expérience de Wynn

En mesurant le temps de fixation visuelle, Wynn s'aperçoit que les bébés fixent plus longuement la situation impossible (durée très légèrement supérieure pour l'addition et plus significative pour la soustraction). Elle en conclut alors que le bébé est capable de calcul puisqu'il fixe plus longtemps la mauvaise réponse.

Certains auteurs ont réfuté cette conclusion en avançant que, sachant que le bébé était capable d'une certain forme de permanence de l'objet (Baillargeon, 1987), c'est-à-dire que même l'objet caché, il garderait en mémoire son image et aurait conscience de sa présence, pourrait réussir ce test en se basant sur cette permanence. Ainsi, voyant un personnage sur la scène puis voyant l'ajout d'un autre personnage derrière un rideau caché, il saurait grâce à la perception et à la permanence de l'objet que deux personnages se trouvent derrière l'écran. Dans ce cas-là, aucune capacité de calcul ne serait mise en œuvre et donc détectable.

b. Les travaux de Feigenson et col.

Plus récemment (2002), les travaux de Feigenson et col. (fig. 4) remettent aussi en cause les conclusions de Wynn. En effet, ils proposent dans leur 7^{ème} expérience la même situation mais en dissociant les paramètres spatiaux et le nombre.

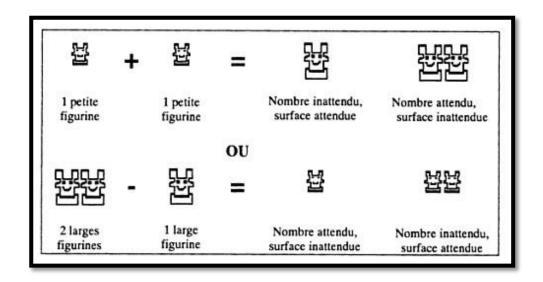


Figure 4 : 7ème expérience de Feigenson. 30

³⁰ Image extraite de l'op.cit. p. 10

Ces auteurs remarquent alors que les bébés fixent plus longtemps le grand objet (dans le cas de l'addition) et les 2 petits objets (dans la soustraction), ce qui suggère que le bébé s'appuie sur l'extension spatiale (la surface) et non sur le nombre.

Pour conclure : même si elles révèlent certaines capacités communes à l'homme adulte, les études menées chez les animaux et les bébés doivent être analysées prudemment. Il serait risqué d'assimiler leur fonctionnement « à une réduction, ou une ébauche du fonctionnement humain adulte. »³¹

4. Modèle de McCloskey

4.1. Une conception modulaire et sémantique

McCloskey (1985) col. propose un modèle modulaire, composé de trois éléments³²:

- Un système de compréhension des nombres divisé en deux parties distinctes : un sous-système verbal et un sous-système des nombres arabes
- Un système de production des nombres qui comporte les mêmes sous-systèmes que pour la compréhension
- Un système de calcul qui permet le stock des faits arithmétiques, le choix de l'opération à effectuer et les procédures de calcul

Au centre, un système de représentation sémantique relié aux trois systèmes principaux. Dans son modèle, McCloskey considère que les nombres sont représentés sous la forme de puissances de dix. Par exemple, le nombre 432 est décomposé en (4) 10 exp 2 (ou 4 centaines), (3) 10 exp 1 (ou 3 dizaines) et (2) 10 exp0 (ou 2 unités).

_

³¹ Jacqueline Bideaud, Henri Lehalle, Brune Vilette, *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*, p. 157

³² M.-P. Noël, *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant*, chapitre 4

Nuerk, Weger et Willms (2001) ont soumis des personnes à des tâches de comparaison de paires choisies en fonction des chiffres qui les composent et ont étudié les temps de réponse. Après analyse des résultats, ces auteurs postulent « que les représentations des quantités suivent une base dix avec les dizaines et les unités représentées séparément sur des lignes numériques distinctes, accompagnées ou non d'une représentation analogique de la grandeur globale du nombre »³³.

4.2. Une voie asémantique?

Nous ne décrirons pas en détail la composition et le fonctionnement du modèle de McCloskey ni les procédures de transcodage qui permettent de passer d'un code à un autre (procédures à l'œuvre dans une dictée de nombres par exemple).

Il est cependant intéressant de remarquer que dans ce modèle, le traitement des nombres passe forcément par leur représentation sémantique, supposant qu'il serait impossible d'effectuer des opérations ou de convertir un nombre entendu vers une écriture en lettres ou en chiffres sans se représenter mentalement ce nombre.

Deloche et Séron (1982, 1983, 1984) ont pourtant proposé l'existence d'une deuxième voie de transcodage suite à l'étude des erreurs produites par des patients cérébro-lésés. Cette voie ne passerait pas par une représentation sémantique et donc ne ferait pas appel au « sens du nombre ». Par la suite, plusieurs auteurs ont cherché à valider cette hypothèse, dressant un parallèle avec les deux voies de lecture. Ainsi, certains patients pouvaient encore lire des nombres significatifs (1789 par exemple) mais plus ceux sans signification particulière.³⁴

³⁴ S. Dehaene, *La bosse des maths*.

_

³³ M.-P. Noël, La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant, p. 112

Plus récemment, P. Barouillet et son équipe ont proposé le modèle ADAPT (2004), basé sur l'étude longitudinale d'enfants de différents pays, qui rend compte des processus de passage de la forme verbale à la forme arabe des nombres. Plusieurs étapes sont ainsi identifiées lors d'une tache de transcodage, par exemple transcrire « quatre-cent-trois » en « 403 ». Par ailleurs, les auteurs décrivent les rôles essentiels de la mémoire de travail et la mémoire à long terme dans les procédures de transcodage. ³⁵

Ils tirent plusieurs conclusions de leur étude dont l'une est « que le transcodage des nombres ne nécessite pas de passer par une représentation de la quantité à laquelle le nombre réfère mais engage des processus asémantiques. » ³⁶ Cependant, ils reconnaissent qu'il n'est pas exclu qu'une représentation sémantique se développe en parallèle, mais celle-ci ne serait pas indispensable dans les procédures de transcodage.

5. Modèle du triple code

S. Dehaene (1992)³⁷ a élaboré un modèle de traitement de l'information numérique dans une perspective anatomo-fonctionnelle. Ce modèle suppose trois systèmes de représentation mentale des nombres : le code arabe, le code verbal et le code analogique, chaque système étant localisé dans une zone cérébrale.

♦ Le code arabe :

C'est la forme visuelle des nombres, représentés en chiffres arabes. C'est un code symbolique et arbitraire qui s'acquiert par un apprentissage. Ce système possède un lexique (les 10 chiffres arabes) et une syntaxe (la valeur du chiffre change selon sa position) et il est utilisé pour l'arithmétique écrite (opérations).

³⁵ Thèse de Lana SAAD, dirigée par P. Barouillet, 2010

³⁶ Article de P. Barouillet, soumis pour publication dans Psychological Review, 2002

³⁷ Cité dans Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation, M Habib, MP Noël, F Georges-Poracchia, V Brun.

♦ Le code verbal :

C'est la forme linguistique et verbale des nombres, représentée par le « mot-nombre » qui renvoie à une quantité. Ce système est lui aussi symbolique puisqu'aucun indice ne permet de retrouver la quantité évoquée dans la forme verbale ; c'est par un apprentissage que l'enfant pourra associer de plus en plus précisément un mot-nombre et sa quantité. Ce code intervient dans l'apprentissage des faits arithmétiques (tables de multiplication par exemple) et dans le comptage (suite numérique verbale).

♦ Le code analogique :

C'est la représentation des nombres, directement basée sur le « sens du nombre ». On retrouve uniquement dans ce système la sémantique du nombre, sa signification. C'est un système imprécis car non basé sur une unité de mesure et qui permet d'apprécier des quantités ou des grandeurs. Il n'est pas symbolique et ne dépend donc pas du langage ou d'un apprentissage spécifique, on parle ainsi de représentations préverbales car ce code serait présent dès les premiers mois de la vie.

Feigenson, Dehaene et Spelke (2004) identifient deux systèmes à l'œuvre dans ce code³⁸ :

- Un système numérique précis (SNP) qui renvoie au subitizing, déjà abordé précédemment. Carey (2001, 2004) considère ce système primordial dans le développement du concept de nombre naturel et en particulier dans l'acquisition du principe de cardinalité.
- Un système numérique approximatif (SNA) qui correspond au processus d'estimation qui permet de quantifier approximativement de grandes quantités.
 Feigenson et al. (2004) et Piazza (2010) considèrent ce système comme le plus important dans l'acquisition de nombreuses habiletés numériques.

³⁸ A. Lafay, M.-C. Saint-Pierre, J. Macoir, *Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique*, Glossa.

-

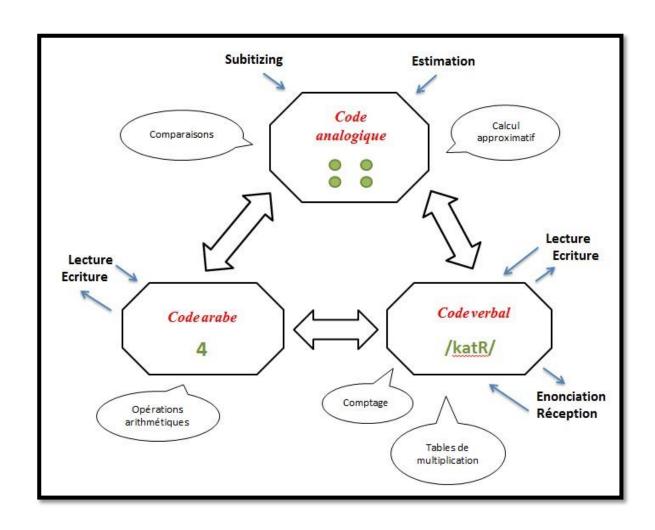


Figure 5 : Modèle du triple code, Dehaene.

Construction de la ligne numérique mentale (LNM) 6.

6.1. Découverte

Le concept de LNM a été développé pour la première fois par Moyer et Landauer (fin des années 60). Ils ont mis en évidence deux effets à partir de tâches de comparaison et d'estimation rapide³⁹:

L'effet de distance : le temps de comparaison de deux nombres diminue quand la distance entre les deux nombres augmente. Par exemple, la comparaison de la paire 2-9 est plus rapide que celle de 8-9.

La figure 6 illustre cet effet : plus le nombre comparé à 65 est proche de 65 (60-65 par exemple), plus le temps de réponse augmente. A l'inverse, la comparaison 30-65 est beaucoup plus rapide.

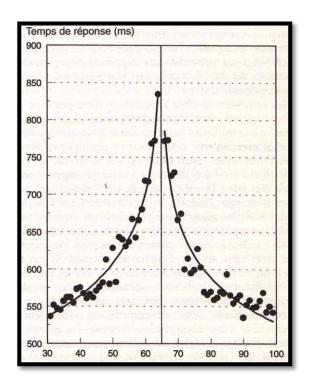


Figure 6 : effet de distance⁴⁰

⁴⁰ Image extraite de *La bosse des maths*, S. Dehaene.

³⁹ M.-P. Noël, La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant

◆ L'effet de taille: la performance de comparaison baisse lorsque, à distance constante, la taille des nombres à comparer augmente. Par exemple: la paire 3-8 est plus facile à comparer que la paire 56-64 (la distance entre les membres de chaque paire est pourtant égale).

Ces deux effets laissent à penser que les quantités ne sont pas représentées en termes d'unités discrètes mais bien dans un continuum analogique. En se représentant les quantités sur une ligne mentale, il est effectivement plus rapide et plus facile de comparer 2 à 9 qui sont relativement éloignés plutôt que 8 à 9 qui sont proches.

Ainsi, selon Dehaene, « tout se passe effectivement comme si les différents nombres étaient alignés mentalement sur une ligne où chaque position correspond à une certaine quantité. »⁴¹

6.2. Effet SNARC

De plus, la LNM semble être orientée : le déroulement des nombres se ferait de gauche à droite (Dehaene, Bossini et Giraux, 1993)⁴². Selon ces auteurs, cette orientation est mise en évidence avec l'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) selon lequel les réponses aux petits nombres se font plus rapidement avec la main gauche tandis que celles aux quantités plus élevées sont plus rapides de la main droite (quelle que soit la tâche demandée et même si elle n'a rien de numérique). Cet effet est identique chez les gauchers et les droitiers et il se maintient lorsqu'on croise les bras (c'est l'espace qui compte et non la main). De plus, c'est la valeur relative et non absolue des nombres qui compte (un 5 pourra être associé à la main droite si l'expérience fait appel aux nombres de 0 à 5, mais il sera associé à la main gauche si de plus grands nombres sont en jeu).

_

⁴¹ S. Dehaene, La bosse des maths, p. 92

⁴² Ibid p. 93

Plus étonnant encore, chez les patients atteints d'héminégligence unilatérale gauche (personnes ayant tendance à négliger la partie gauche du champ visuel sans déficit sensoriel) - qui vont, lors d'une tâche de détermination d'une bissectrice de segment, décaler leur réponse vers la droite – la LNM mentale semble aussi touchée. En effet, si on leur demande de donner une bissectrice numérique (« quel nombre tombe au milieu de 11 et 19 ? »), ils vont décaler leur réponse vers 19 (ex : « 17 »), selon l'étude de Zorzi, Priftis, & Umiltà⁴³ (Nature, 2002).

Cependant, cet effet a tendance à s'inverser chez les personnes ayant un sens de lecture différent de celui des Occidentaux (système symbolique arabe par exemple), ce qui suggère que l'orientation de la LNM est influencée par la culture, ou du moins par le sens de l'écriture.

Cet effet témoigne d'un lien entre espace et grandeur numérique.

6.3. Développement du lien nombre-espace et évolution de la LNM

Les travaux de Chillier (1999, 2002) montrent que cette LNM est présente dès 5 ans et qu'elle est relativement semblable à celle de l'adulte. Un groupe de chercheurs (Berteletti, Lucangeli, Piazza, Dehaene, Zorzi, 2010) s'est intéressé à l'évolution de cette représentation mentale au fur et à mesure du développement de l'enfant. Au début, les enfants ne considèrent pas les intervalles entre les nombres représentés sur la LNM comme égaux. Ainsi, la « place » donnée aux petits nombres est plus importante que celle donnée aux grands nombres qui se retrouvent compressés vers la droite. On parle d'échelle logarithmique. 44

Siegler & Opfer, 2003; Siegler & Booth, 2004 ont montré que petit à petit, cette LNM va se régulariser. D'abord entre 1 et 10 puis entre 1 et 100 pour continuer ainsi à s'étendre jusqu'à égaliser les distances entres les nombres, qu'ils soient petits ou grands (donc à gauche ou à droite sur la LNM). La LNM devient linéaire.

⁴⁴ S. Dehaene, *La bosse des maths*

-

⁴³ Cités dans le cours de S. Dehaene, Représentation spatiale des nombres et synesthésie numérique, p.19

Cependant, il serait inexact d'affirmer que la LNM linéaire remplace totalement la LNM logarithmique, on peut plutôt parler de coexistence car nous utilisons l'une ou l'autre en fonction de la situation. Même adulte, la représentation des très grands nombres devient floue et on dit alors « 3 milliards ou 5 milliards c'est pareil » car il devient difficile de se représenter de telles quantités qui se rapprochent sur notre LNM. S. Dehaene parle de « compression mentale des grands nombres » ⁴⁵.

Le passage de la LNM logarithmique à la LNM linéaire survient au cours de l'éducation.

6.4. Rôle de l'éducation

Une équipe de chercheurs (Pica, Lener, Iznard et Dehaene, 2004)⁴⁶ a étudié la cognition numérique en l'absence d'un lexique spécifique.

La tribu indienne des Mundurucus dispose d'un lexique numérique partiel. On retrouve des noms de nombres pour des quantités allant jusqu'à cinq mais ces mots ne sont pas chaine numérique organisés et ne forment pas de fixe (en français « undeuxtroisquatrecinq ». De plus, ces mots sont utilisés pour dénommer des quantités de façon approximative et non exacte, par exemple 4 - 2 = 3 est une réponse qu'ils acceptent.

Cependant, plusieurs tests de discrimination, de distinction de quantités et même d'opérations simples dont les résultats sont identiques à ceux d'une société occidentale laissent penser que cette tribu possède le même « sens du nombre » et peut concevoir le concept de 90 objets, même si elle n'a pas les moyens d'exprimer ce concept (comme nous avons « quatre-vingt-dix »).

⁴⁵ Ibid, p. 104

⁴⁶ Cités dans le cours de M. Piazza *Impact des symboles sur la cognition numérique*

En ce qui concerne leur représentation des nombres dans l'espace, les tests de placement de nombres sur une ligne montrent, même chez les adultes, une LNM logarithmique. Les Mundurucus sont capables de quantifier exactement les petites quantités mais pas les plus grandes. La différence entre les sujets de cette tribu et un groupe contrôle d'américains est encore plus marquée lorsque la présentation de la quantité numérique à placer est sous forme de symboles et non sous forme de nuages de points.

L'équipe en arrive donc à la conclusion que l'éducation mathématique, notamment à partir de l'apprentissage d'un système symbolique précis, permet plusieurs choses :

- La combinaison de ces symboles en vue d'effectuer des calculs arithmétiques (opérations, comptage)
- La modification de la représentation mentale des nombres : celle-ci devient plus précise, même pour les grands nombres. La LNM tend à se linéariser au fur et à mesure que les quantités sont appréhendées précisément.

S. Dehaene⁴⁷ explique que malgré la maîtrise du système symbolique (chiffres arabes par exemple) qui permet a priori d'individualiser chaque quantité de façon précise, le cerveau humain ne peut s'empêcher d'avoir recours aux processus primaires de « sens du nombre ». Ces processus, qui sont ceux que l'on retrouve chez d'autres espèces animales, appréhendent les éléments de façon continue. Le cerveau humain ne peut s'empêcher de convertir de façon inconsciente et immédiate le symbole arabe en quantité interne. C'est pourquoi nous mettons plus de temps à conclure que les chiffres 8 et 9 sont différents que pour arriver à la même conclusion en ayant le choix entre 2 et 9, car les quantités que représentent 8 et 9 sont plus proches et nous induisent en erreur, malgré la maitrise du système symbolique arabe.

⁴⁷ S. Dehaene, *La bosse des maths*, p. 88

6.5. La sériation

Issue du courant constructiviste, la notion de sériation a été développée par Piaget. Il s'agit d'un des piliers de la construction du nombre (avec l'inclusion des classes, que nous ne détaillerons pas).

L'activité de sériation consiste à ordonner plusieurs objets en fonction de leurs différences (en fonction du poids, de la taille, etc.).⁴⁸

Dans le domaine du nombre, la sériation va permettre :

- « d'en structurer la succession,
- de les comparer deux à deux,
- de les situer dans la suite ordonnée de zéro à l'infini,
- de découvrir, à travers eux, le procédé qui permet de passer de l'un à l'autre : l'itération. »⁴⁹

La sériation intervient dans la chaîne numérique et donc dans la LNM.

⁴⁸ C. Nieuwenhoven, L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et supports d'intervention, p. 107

⁴⁹B. Gueritte-Hess, M. Bacquet, *Le nombre et la numération*, p. 36

III. Estimation globale

L'estimation globale a fait l'objet de relativement peu d'études et la plupart d'entre elles se sont intéressées aux adultes.

1. Paramètres qui influencent l'estimation globale

Certaines caractéristiques physiques des stimuli ont un impact sur l'estimation⁵⁰:

La disposition ou configuration spatiale: un même nombre d'éléments disposés différemment conduit la personne à faire des estimations différentes. Par exemple, les points dispersés sont jugés plus nombreux que les points regroupés. De même, une disposition régulière des éléments conduit à une estimation inférieure à la réalité, tandis qu'un arrangement irrégulier est généralement surestimé.

La taille : lorsque les objets à quantifier sont de grande taille, les participants ont tendance à surévaluer leur nombre dans une collection (Ginsburg & Nicholls, 1988).

La surface : lorsque deux collections d'items de même numérosité occupent une surface différente, celle occupant une surface plus grande sera jugée plus nombreuse (Bevan, Maier, & Helson, 1963), ou encore celle ayant la plus forte densité (Allik & Tuulmets, 1991).

La numérosité: pour des collections importantes on peut observer une tendance générale à sous-estimer la numérosité réellement présentée (Krueger, 1972, 1982, 1984; Whalen, Gallistel, & Gelman, 1999, cités par Lemaire & Lecacheur, soumis).

⁵⁰ A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, chapitre 5, p. 104

2. Modèles explicatifs : comment estimons-nous ?

2.1. Perception de la forme :

Frith et Frith (1972) montrent qu'une disposition des points favorisant la perception d'une forme (couleur identique par exemple) inciterait l'estimateur à « préférer » cette forme et les éléments qui la composent seraient considérés comme plus nombreux, c'est « l'illusion du solitaire » (fig. 7).

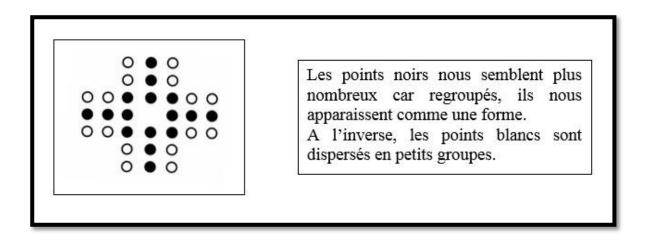


Figure 7: illusion du "solitaire", Frith & Frith, 1972⁵¹

2.2. Détection d'aires et de contours :

Un premier modèle (fig. 8) propose que la numérosité soit liée à l'aire globale occupée par les points. Cette aire n'est pas basée sur le périmètre extérieur des points mais elle est déterminée par l'agglomération des points proches spatialement qui constituent des agglomérats. Ainsi, « la numérosité serait définie par les contours des différents agglomérats (fig 8,Van Oeffelen, Vos, Tibosh et Allik, 1988).

⁵¹ Image extraite de *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, chapitre 5

37

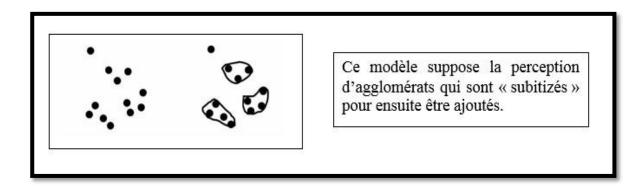


Figure 8 : agglomérats "subitizés" 52

Un second modèle dit « de la zone d'occupation » (fig. 9) fait correspondre la numérosité à la somme des zones activées de chaque point (cercle dont il occupe le centre). Si les cercles se chevauchent, la numérosité est évaluée comme plus faible (Allik et Tuulmets, 1991). Les auteurs expliquent ainsi pourquoi des collections de points agencés irrégulièrement sont systématiquement sous-estimées : « la proportion de points proches, et donc de recouvrements, est plus importante que dans un arrangement régulier et la numérosité apparait donc moins importante » (p108).

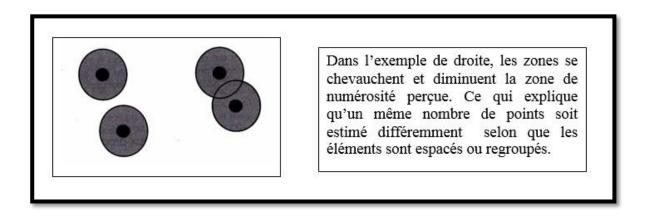


Figure 9: modèle "de la zone d'occupation" 53

⁵² Image extraite de *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer

⁵³ Image extraite de *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, chapitre 5

38

3. Contraintes

3.1. Effet de distance numérique :

Lors d'une tâche de comparaison d'ensembles de points, le temps de comparaison et le taux d'erreurs augmente lorsque la distance entre ces deux ensembles (leur différence) diminue. Cet effet de distance est présent chez de nombreuses espèces animales (pigeons, chimpanzés), ainsi que chez les adultes et quelle que soit sa modalité de présentation (formes, code arabe ...).

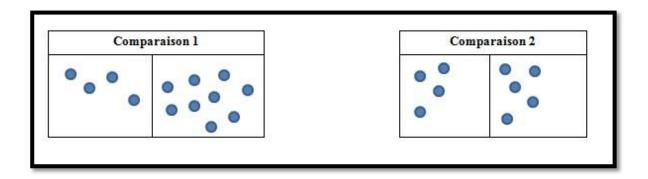


Figure 10 : effet de distance

La comparaison 1 demande moins de temps et provoque moins d'erreurs que la comparaison 2 : c'est l'effet de distance numérique.

4. Stratégies cognitives

D. Gandini⁵⁴ rappelle qu'une seconde approche révèle que les individus ne font pas uniquement appel à une stratégie perceptive (processus décrits ci-dessus) mais mettent en place des stratégies cognitives. Elle rappelle l'expérience de Siegel et coll (1982) : étude des stratégies d'estimation chez des enfants (entre 7 et 13 ans) et des jeunes adultes.

-

⁵⁴ Thèse de D. Gandini, 2007

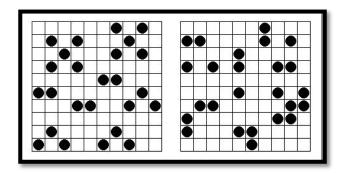


Figure 11 : exemples de grilles à estimer

Luwel et ses collaborateurs (Luwel, Lemaire, & Verschaffel, 2005)⁵⁵ ont montré que les individus adultes utilisaient plusieurs stratégies pour déterminer le nombre de blocs contenus dans une grille (figure 11) :

- ♦ la stratégie d'addition au moyen de laquelle des (groupes de) blocs sont comptés systématiquement puis additionnés,
- ♦ la stratégie de soustraction dans laquelle le nombre de blocs vides est soustrait du nombre total de blocs (estimés ou comptés) pouvant être contenus dans la grille,
- ♦ la stratégie globale d'estimation, par laquelle le nombre de blocs est déterminé rapidement mais de manière imprécise.

⁵⁵ Cités dans le mémoire de L. Batilly et M. Denednia, *Sélection et exécution stratégiques en estimation numérique chez des enfants de 10 et 12 ans*, p. 20

Gandini (2007) complète ces résultats en identifiant de son côté cinq stratégies principales dans une tâche de quantification approximative :

- ◆ la stratégie de benchmark (ou stratégie d'estimation perceptive) : les sujets scannent visuellement le stimulus, retrouvent une représentation numérique en mémoire à long terme, comparent la différence entre la représentation du stimulus et celle retrouvée en mémoire et ajustent leur réponse en fonction de cette différence,
- ♦ la stratégie d'ancrage : les sujets énumèrent quelques points par comptage, estiment visuellement le nombre de points restant à partir de ce comptage et additionnent le nombre compté à celui estimé,
- ♦ la stratégie de décomposition/recomposition : les sujets repèrent un groupe de points par subitizing (jusqu'à 4 à 5 points), estiment le nombre de groupes identiques puis multiplient le nombre de points subitizés avec le nombre de groupes de points estimé,
- ♦ *le comptage approximatif* : les sujets perçoivent plusieurs groupes de différentes tailles et les additionnent approximativement pour produire leur estimation finale,
- ♦ le comptage exact : les sujets comptent tous les points de la grille en additionnant systématiquement tous les items.

IV. Troubles du calcul chez l'enfant

1. La dyscalculie : une grande variété de troubles

Temple (1989, 1991, 1992) ⁵⁶ s'appuie sur l'observation de patients dyscalculiques pour valider les modèles issus de la neuropsychologie. Ainsi, elle différencie trois grands types de troubles qui font référence au modèle de McCloskey :

- Les troubles du « traitement des nombres » : lecture, écriture, transcodage des nombres ;
- Les troubles qui concernent les « faits numériques » : tables de multiplications,
 résultats de petites additions simples ;
- Les troubles des procédures de calcul : algorithmes des opérations.

Elle décrit une patiente présentant une atteinte isolée de l'évocation des faits numériques qui ne parvient pas à mémoriser les tables de multiplication et d'addition (cas de HM, p159) et qui commet des erreurs que l'on retrouve chez les sujets contrôles mais en proportion nettement inférieure.

Il faut cependant noter que dans la population dyscalculique analysée par Temple se trouve un grand nombre de patients cérébro-lésés ou épileptiques.

M. Fayol rappelle que la définition de Temple renvoie à des difficultés variées. Un enfant peut être considéré comme dyscalculique en raison de difficultés dans la lecture et l'écriture des nombres, alors que le calcul mental ne lui pose pas de problème. ⁵⁷

chapitre 8. ⁵⁷ M. Fayol dans *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, sous la direction de S. Chokron et J-F. Demonet, p 197

⁵⁶ Citée dans *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, chapitre 8.

Le DSM IV (un des manuels de référence en matière de troubles « mentaux ») énonce trois critères diagnostiques :

- Les aptitudes arithmétiques évaluées par des tests standardisés sont nettement en dessous du niveau attendu,
- le trouble interfère significativement avec la réussite scolaire de l'enfant ou dans la vie courante,
- le trouble ne résulte pas d'un déficit sensoriel.

La dyscalculie peut être associée à un trouble du langage écrit, de la mémoire de travail ou encore de l'attention.

Actuellement, les recherches tentent de mettre en évidence des indicateurs précoces de la dyscalculie⁵⁸ :

- Difficultés de rétention des faits arithmétiques, malgré une progression dans la maîtrise des algorithmes et la résolution de problèmes (certains enfants peuvent ainsi savoir quand utiliser la multiplication et en maîtriser l'algorithme mais sans pour autant arriver à la réaliser correctement, à cause d'un manque de mémorisation des tables de multiplication).
- Difficultés dans l'acquisition du comptage, pour lequel la variété des stratégies serait un indicateur de maturité (Kamawar et al, 2009).
- Déficit du « sens du nombre » mesurable par des comparaisons et discriminations,
 ou encore une tâche de placement de nombres sur une ligne numérique.

A l'heure actuelle, le concept de dyscalculie n'est pas clairement défini et plusieurs auteurs avancent des définitions, des classifications et des causes possibles variées que nous ne décrirons pas en détail. Nous avons choisi de nous intéresser à deux hypothèses : celle de Brian Butterworth, expert reconnu de la dyscalculie, et celle, plus récente, de Marie-Pascale Noël.

⁵⁸ M. Fayol dans *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, sous la direction de S. Chokron et J-F. Demonet, p 200

2. Une représentation sémantique du nombre dysfonctionnelle ?

2.1. Dyscalculie « totale » : deux cas d'absence de « sens du nombre »

Les cas de Charles et Julie ont été décrits par Butterworth (The Mathematical Brain, 1999) et rappelés par A. Van Hout⁵⁹.

Julie, étudiante, est incapable de réaliser des opérations, même inférieures à 10, sans l'aide de ses doigts. Elle ne mémorise que partiellement les faits arithmétiques et rencontre des difficultés en géométrie. En ce qui concerne son appréciation de la numérosité (tâche d'estimation rapide du nombre d'éléments d'un ensemble), elle est décrite comme pauvre mais tout de même conservée pour les nombres inférieurs à 10. Par ailleurs, Julie raisonne bien sur les problèmes complexes, tant que les nombres impliqués ne comportent qu'un seul chiffre.

Charles, étudiant aussi, présente des difficultés plus sévères. Sa fixation des faits arithmétiques étant inexistante (malgré une mémoire, un raisonnement et un QI excellents), il se sert systématiquement de ses doigts. « Pour répondre à 3x5, il comptait de 1 à 5 sur une main et levait un doigt de l'autre main pour indiquer qu'il avait réalisé 1x5; puis il faisait de même pour 2x5 puis encore pour 3x5 ». p 170.

Dans les tâches de comparaison de grandeur entre deux nombres, Butterworth et Cipolotti n'observent pas l'effet de distance (décrit plus haut). De plus, le temps de décision de Charles est bien supérieur à la moyenne car, en réalité, il déduit du comptage (en s'aidant des doigts) que le nombre rencontré en premier est le plus petit.

De plus, les auteurs s'aperçoivent que Charles n'a aucune possibilité de subitizing mais passe toujours par le dénombrement. Ils rappellent qu'en aucun cas le mode d'enseignement scolaire est à l'origine de cette incapacité et en déduisent que c'est le « module » cérébral du calcul qui ne s'est pas développé chez ce jeune homme.

⁵⁹A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, p. 169

Butterworth émet ainsi l'hypothèse qu'une représentation anormale de la magnitude numérique pourrait être à la base de la dyscalculie. ⁶⁰

2.2. Un « sens du nombre » immature

Dans un séminaire au Collège de France, E. Piazza présente une synthèse des travaux récents sur le « sens du nombre » et ses troubles. Rappelons que l'expression « sens du nombre » a été employée pour la première fois par Dehaene en 1997 pour désigner l'ensemble des connaissances numériques intuitives (subitizing, estimation, calcul approximatif).

Se situant dans une approche neuropsychologique, Piazza résume l'hypothèse de nombreux chercheurs : lorsque les enfants apprennent à compter et calculer, leur système du nombre approximatif est déjà en place (capacité innée). Le développement des capacités numériques consistera « seulement » à créer de nouvelles représentations auditives et visuelles du nombre et à les connecter aux codes pré-existants. Ainsi si l'on se réfère au modèle du triple code de Dehaene, le petit enfant concevrait naturellement la quantité • (code analogique) mais aurait besoin d'un apprentissage pour les représentations « deux » (code verbal), et 2 (code arabe).

Résumant d'autres travaux (Mazzocco et al, 2011, Mussolin et al 2010, Piazza et al, 2010), Piazza affirme que l'acuité du « sens du nombre » augmente dans le temps, de façon lente et séquentielle, jouant un rôle fondamental dans l'apprentissage des mathématiques. Elle présente les résultats d'une tâche de comparaison de nombres (« choisis le plus grand » d'un premier groupe d'enfants tout-venants et d'un deuxième groupe d'enfants dyscalculiques. Les résultats montrent que l'acuité du second groupe est très inférieure à celle du premier groupe. Par exemple, un enfant de 10 ans dyscalculique aura une acuité comparable à celle d'un enfant de 5 ans. Les dyscalculiques auraient donc « un sens du nombre » immature.

⁶⁰ M.-P. Noël, La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant, p. 125

Enfin, les travaux de Halbeda et al (science, 2007) puis ceux de Mazzocco, Gilmore et al 2010 mettent d'une part en évidence une corrélation spécifique entre « sens du nombre » et performances en calcul et, d'autre part, montrent que l'analyse des compétences intuitives en maternelle (tâches de discrimination de quantités, de manipulation de quantités concrètes) prédit la performance en calcul au CP.

2.3. Une difficulté d'accès à la représentation des nombres

M.-P. Noel propose une autre hypothèse⁶¹ qu'un déficit du « sens des nombres ». Elle rappelle l'expérience de Landerl et al. qui montre un ralentissement significatif des enfants « dyscalculiques » dans une série de tâches numériques (lire, dénombrer, calculer). Landerl a déduit de ce ralentissement qu'un déficit numérique de base était à l'origine des difficultés.

L'auteure propose une autre hypothèse. Elle remarque que toutes ces tâches requièrent la compréhension ou la production d'un nombre dans un format symbolique et propose donc une autre interprétation : "leurs difficultés concernent l'accès à la représentation de la magnitude à partir des nombres symboliques, sans déficit au niveau de la représentation des nombres ⁶²".

La dyscalculie est ici considérée non comme une altération d'un système de représentation des quantités mais comme l'incapacité de faire communiquer ce dernier avec le système symbolique.

Nous verrons que certaines tentatives de remédiation peuvent confirmer cette hypothèse.

46

 $^{^{61}}$ M Habib, MP Noël, F Georges-Poracchia, V Brun, Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation. 62 Ibid $\rm n.38$

3. Le modèle de Von Aster et Shalev

En 2007, ces chercheurs ont proposé leur modèle développemental de la cognition numérique⁶³.

Ils décrivent quatre étapes successives :

- → Etape 1 : fonctionnement d'un système de représentation des quantités concrètes qui permet le subitizing et la comparaison de grandes collections. Ce modèle a été élaboré dans une perspective neuropsychologique. Ce système est donc considéré comme inné (capacités du bébé) et il constitue un pré-requis qui va permettre à l'enfant d'associer des mots-nombres et des symboles écrits.
- → Etapes 2 et 3 : processus de symbolisation linguistique et arabe, qui constituent à leur tour un pré-requis pour l'élaboration de la ligne numérique mentale (LNM).
- → Etape 4 : LNM élaborée et organisée par la propriété d'ordinalité.

Ce modèle hiérarchique a l'intérêt de proposer plusieurs causes possibles aux troubles observés.

Par exemple, si la première étape est défectueuse, l'enfant aura beau mémoriser tous les mots-nombres par cœur, il ne saura pas à quelle réalité concrète ils renvoient, car il n'acquiert pas la signification des grandeurs cardinales.

Si la difficulté se localise dans la deuxième étape, les grandeurs analogiques seront conservées mais le développement du langage sera atteint. De ce fait, les associations entre grandeurs et représentations symboliques seront perturbées, aboutissant à terme à un retard des stratégies de comptage, de calcul et de récupération des faits arithmétiques, souvent en association avec des perturbations du langage écrit.

⁶³ M Habib, MP Noël, F Georges-Poracchia, V Brun, Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation.

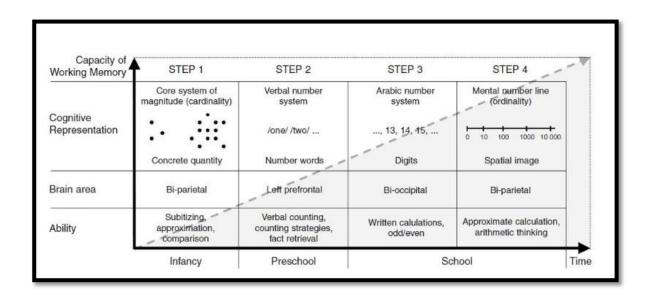


Figure 12 : modèle de Von Aster et Shalev (2007)⁶⁴

-

 $^{^{64}}$ Image extraite de Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation, M
 Habib, MP Noël, F Georges-Poracchia, V Brun

4. Tentatives de remédiation

4.1. Un logiciel : « La course au nombre »

Partant de l'hypothèse d'un « sens du nombre » défaillant, une équipe (Wilson, Cohen, Cohen et Dehaene) a développé un logiciel de rééducation appelé « La Course aux nombres », destiné aux enfants de 4 à 8 ans. ⁶⁵

Des tâches répétitives mais présentées dans un cadre ludique entraînent l'enfant aux comparaisons de grandeurs, d'opérations, etc. La représentation analogique est associée à chaque item utilisant des chiffres arabes.

Par exemple, l'enfant doit faire un choix entre deux opérations présentées en chiffres arabes (4+3 et 8-6). A la suite de sa réponse, chaque opération se réalise avec des pièces d'or, de façon à ce qu'il puisse visualiser la réalisation et la signification de chaque opération.

Dans une seconde étape, l'enfant est amené à se déplacer sur un parcours en utilisant ses gains précédents, ce qui « renforce encore les liens entre les nombres cardinaux, les nombres ordinaux, et l'espace de la ligne numérique. » ⁶⁶

Il faut cependant noter que S. Dehaene lui-même a reconnu un manque de rigueur méthodologique concernant les sujets du groupe contrôle.

Un groupe de chercheurs⁶⁷ a voulu corriger ce biais de façon à pouvoir évaluer avec plus de certitude l'efficacité de ce logiciel. Ils ont choisi 48 enfants du cycle élémentaire (dont 6 « pathologiques ») et leur ont proposé un entraînement intensif au logiciel, réalisé pendant le temps scolaire. Deux tests ont été utilisés pour évaluer avant et après l'entraînement les capacités arithmétiques : un test scolaire et le Zareki-R.

-

⁶⁵ Logiciel présenté par A. Wilson dans une revue de la fondation Fyssen, http://www.aboutdyscalculia.org/Wilson_Fyssen.pdf

⁶⁶ Ibid p. 35

⁶⁷ Article de C. Verse, J. Herve, A. Dewever, M. Habib dans Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation

Ces chercheurs avaient formulé l'hypothèse que tous les enfants (y compris les enfant dits « pathologiques ») amélioreraient leurs résultats aux tests. L'analyse des résultats obtenus permet de valider cette hypothèse. Ils « confirment la pertinence de réaliser des entrainements intensifs, sur de courtes périodes, mais de manière répétitive, destinés à renforcer spécifiquement un module neurocognitif, en l'occurrence, ici, le présumé mode du sens des nombres postulé par B. Butterworth". 68

Cependant les auteurs remarquent que contrairement à leurs prédictions, ce ne sont pas forcément uniquement les domaines du « sens du nombre » qui s'améliorent, mais aussi et surtout les tâches qui y font appel, comme le calcul mental et les problèmes arithmétiques. Parmi les hypothèses envisagées pour expliquer ce phénomène, on retrouve celle de M.P Noël (p. 36) qui considère la dyscalculie comme une incapacité à faire communiquer le système de représentation des nombres (« sens du nombre ») et le système symbolique.

L'entraînement aurait donc exercé la mise en relation des codes symbolique et analogique, ce qui faciliterait la mise en relation entre les informations sans qu'aucune d'elle ne soit absente (à l'inverse de l'hypothèse d'un « sens du nombre » immature). Les auteurs attribuent l'amélioration de la tâche de positionnement de nombre sur l'échelle (dans le Zareki-R) à cette fonction spécifique de transcodage symbolique/non symbolique.

⁶⁸ Ibid p. 166

4.2. Entraînement à un jeu de plateau linéaire

Siegler et Ramani ont, en 2008, corrigé le biais relevé par Dehaene (cf page précédente) dans leurs travaux. ⁶⁹ Siegler et Ramani ont eux aussi proposé un entraînement ludique à des enfants de 4 à 5 ans de bas niveau socio-économique dans le but de renforcer la LMN, comme « La course aux nombres ».

Ils ont mis au point un jeu de plateau linéaire et ont proposé aux enfants d'y jouer pendant quatre séances de 15 minutes. Les auteurs ont relevé une amélioration des compétences numériques après comparaison avec un groupe contrôle qui a lui aussi joué, mais sur un plateau utilisant des couleurs à la place des chiffres.

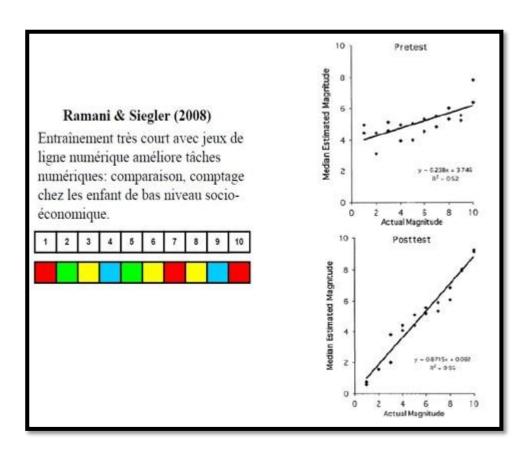


Figure 13 : jeu de plateau, Siegler et Ramani, 2008 ⁷⁰

⁶⁹ Cités dans le mémoire de N. Gendre et L. Pautonnier, dirigé par M. Fayol, *Peut-on améliorer les performances arithmétiques par des entrainements aux configurations de doigts ou à un jeu de plateau linéaire*? 2012

⁷⁰ Image extraite du cours de M Piazza Le goût des nombres et comment l'acquérir, INERM, p. 19

En 2009, les mêmes auteurs ont montré que cet effet était plus important en utilisant un jeu linéaire et non circulaire, car il correspond mieux à la LNM. Ils ont aussi précisé quelles compétences ont été améliorées ; il s'agit de l'appariement nombres /espace, du comptage, de la compréhension des quantités numériques et de leur identification, de la comparaison entre deux quantités et de l'estimation sur une ligne numérique.

Enfin, ils ont noté que neuf semaines après l'étude, les bénéfices restent présents.

M. Fayol⁷¹ note que l'effet positif s'étend au comptage, à l'identification des nombres et aux épreuves de comparaison, ce qui suggèrerait que "des activités simples et ludiques sont susceptibles d'induire des apprentissages implicites dont l'impact s'étend à des domaines connexes".

4.3. Un outil: « L'estimateur »

Comme Butterworth, B. Vilette et N. Schneider⁷² partent de l'hypothèse d'un déficit des capacités de représentation de la magnitude (ligne numérique mentale ou représentations analogiques) qui pourrait expliquer les troubles du calcul et du nombre chez l'enfant. Ils ont donc mis au point un programme de remédiation, «l'Estimateur », qui propose d'entrainer les interactions entre les deux systèmes qui interviennent dans le calcul : le système verbal (code phonologique et verbal) et le système de représentations spatiales (code analogique).

L'hypothèse formulée est qu'en sollicitant cette interaction entre grandeurs cardinales et représentations symboliques, il est possible de remédier à certains troubles du calcul.

⁷¹. Fayol dans *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, sous la direction de S. Chokron et J-F. Demonet, p 204

⁷² B. Vilette et N. Schneider, *La rééducation basée sur la représentation de la magnitude*, dans *Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation*, M Habib, MP Noël, F Georges-Poracchia, V Brun.

Le programme génère une ligne numérique bornée sur laquelle on peut déplacer un curseur. Des problèmes numériques (ex : une addition) sont affichés au-dessus de la ligne. L'entrée est visuelle (code arabe) et auditive (on lit l'opération) et la personne doit estimer le résultat et le placer sur la ligne numérique. La bonne réponse s'affiche ensuite, pour permettre un apprentissage par retour (feed-back).

Plusieurs conduites sont observées :

- soit l'enfant place le résultat directement et de façon juste car la réponse est connue tout de suite (surtout pour les petits nombres ou nombres arrondis à zéro comme 10+6),
- soit le résultat n'est pas immédiat pour l'enfant, auquel cas il pointe un résultat approximatif et cherche ensuite la réponse exacte en procédant par approximations successives en fonction de la taille des opérandes.

Les auteurs concluent que « l'ensemble des résultats de l'étude corroborent l'hypothèse selon laquelle un entraînement qui sollicite les représentations de la LNM est plus efficace qu'un entraînement basé uniquement sur le calcul exact et verbal ». 73

Il faut cependant noter que cette étude a été menée sur des enfants « pathologiques » au Zareki-R (test numérique étalonné) mais pas officiellement diagnostiqués dyscalculiques. De plus, la population choisie rend difficile la distinction entre troubles de l'apprentissage et « simples » difficultés. C'est vraisemblablement un outil intéressant mais dont l'apport aux dyscalculiques reste à évaluer.

⁷³ Ibid p. 135

Chapitre II PROBLEMATIQUE ET HYPOTHÈSES

I. Problématique

L'analyse des données théoriques et expérimentales (partie théorique) nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la cognition numérique et des habiletés mathématiques, ainsi que leurs troubles. Nous pouvons entrevoir des pistes de remédiation basées sur des entraînements utilisant les différents codes, et en particulier le code analogique, qui permettent d'améliorer plusieurs de ces habiletés.

Nous avons aussi vu que l'estimation globale, qui semble assez instinctive et primaire, est en lien avec la représentation mentale des nombres et leur organisation.

II. Hypothèses

Hypothèse générale :

En combinant ces deux apports, nous pouvons émettre l'hypothèse générale qu'un entraînement de l'estimation numérique aurait un intérêt chez les enfants présentant des troubles logico-mathématiques puisqu'il permettrait d'améliorer la représentation mentale des nombres.

Partant de cette hypothèse, nous avons mis au point cet entraînement en nous inspirant des tentatives précédentes. Notre projet tient compte à la fois de l'hypothèse de B. Butterworth (le module « sens du nombre est déficient », il faut l'entraîner), et de celle de M.-P. Noël (le module est présent mais n'est pas relié aux codes symboliques, il faut donc en entraîner l'accès).

En travaillant uniquement sur l'estimation globale, nous sommes bien dans l'entraînement du module « sens du nombre » auquel l'estimation appartient ; et en exerçant le passage du code analogique au code arabe, nous améliorons l'accès au système analogique.

1. Hypothèse opérationnelle n° 1 :

L'entraînement sera réalisable dans le cadre d'une prise en charge orthophonique : il tiendra compte de la réalité pratique de la rééducation orthophonique et devra donc aménager un compromis entre faisabilité (pour le patient, pour la famille, et pour l'orthophoniste) et efficacité.

2. Hypothèse opérationnelle n°2 :

Une fois l'entraînement terminé, l'analyse de la grille de réponse montrera que la qualité de l'estimation globale est meilleure qu'avant. Les patients auront donc été capables d'affiner leurs estimations grâce au feed-back fourni.

3. Hypothèse opérationnelle n°3:

Le « sens du nombre » sera développé par le programme. Les scores aux épreuves permettant de le mettre en évidence (placement de nombres sur une échelle, compteur numérique, écarts) augmenteront.

4. Hypothèse opérationnelle n°4:

L'entraînement de l'estimation numérique impactera d'autres domaines des habiletés mathématiques qui s'amélioreront aussi. Les performances aux épreuves de calcul mental, de calcul écrit arrondi et de comptage à rebours seront meilleures.

5. Hypothèse opérationnelle n°5:

Ces bénéfices seront attribuables uniquement à l'entraînement puisque les scores aux tests du groupe-contrôle qui ne suivra pas le programme ne varieront pas significativement.

Chapitre III PARTIE PRATIQUE

I. Méthodologie et chronologie

Afin de vérifier nos hypothèses, nous avons élaboré un protocole expérimental que nous avons proposé aux patients qui consiste en un entraînement à l'estimation numérique réalisé à domicile, à partir d'un site Internet et sous forme de jeux. L'impact de cet entraînement est évalué avec un test proposé avant et après le programme.

Tout d'abord, nous avons sélectionné, parmi les divers jeux présentés sur un site Internet, ceux qui nous semblaient les plus adaptés à notre problématique (ils seront présentés dans le paragraphe IV). La contrainte de temps a aussi été décisive car nous avons décidé au préalable de ne pas dépasser les 15 minutes quotidiennes, de façon à trouver un équilibre entre efficacité et faisabilité. La fréquence de cinq fois par semaine sur une période de cinq semaines nous a paru respecter ce compromis.

Une fois les jeux sélectionnés, nous avons élaboré la grille de réponse permettant à l'enfant de remplir ses scores. L'entraînement se réalisant à domicile et en autonomie, il était fondamental que les participants soient informés de l'objectif du projet et de l'importance de leur assiduité; c'est pourquoi nous leur avons présenté un document, qu'ils avaient signé, récapitulant leurs engagements.

L'entraînement informatique étant finalisé, nous avons mis au point le test qui nous permettrait de « mesurer » l'impact du programme sur différents domaines (ces épreuves seront présentées au paragraphe III). Nous avons choisi de présenter le même test avant et après l'entraînement, de façon à pouvoir comparer les performances avec les mêmes épreuves. Nous avons aussi constitué un groupe témoin qui ne suit pas l'entraînement, afin de révéler un éventuel effet d'apprentissage, dû à l'intervalle de temps court (cinq semaines) entre les deux passations du test.

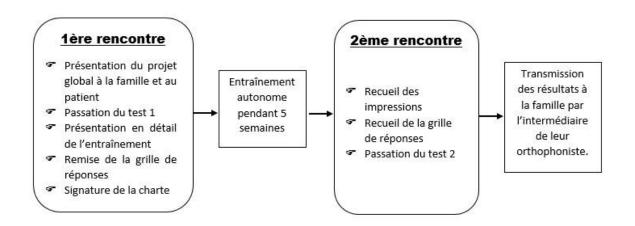


Figure 14 : protocole expérimental

Enfin, nous avons soumis notre protocole à la population définie.

II. Population

Nous avons fait appel à six orthophonistes exerçant dans les Alpes-Maritimes ou les Alpes de Haute-Provence, pour constituer un groupe cible et un groupe témoin.

1. Le groupe cible

Le groupe qui a suivi l'entraînement est composé de huit enfants (leurs prénoms ont été modifiés).

Tableau 1: groupe cible

Léo	Amélia	Emilie	Thibaut	Irène	Ludivine	Mathieu	Ariel
13ans	12 ans	11 ans		10 ans			
7 mois	6 mois	7 mois	11 ans	8mois	10 ans	9 ans	9 ans
							Début
Fin 4ème	Fin 6ème	Fin CM2	Fin CM2	CM2	Fin CM1	CM1	CM1

2. Groupe témoin

Tableau 2 : groupe témoin

Raphaël	Régis	Maya	Fabien
11 ans 6 mois	14 ans 6 mois	13 ans	11 ans
6ème	3ème	4ème	CM1

3. Critères d'inclusion

- Suivi orthophonique pour troubles du raisonnement logico-mathématique
- Age supérieur ou égal à 9 ans
- Matériel requis disponible

4. Critères d'exclusion

• Surdité, dysphasie, TDAH

III. Présentation du test utilisé pour mesurer l'impact de l'entraînement

1. Choix des épreuves composant le test

Nous avons choisi les épreuves en fonction de plusieurs critères :

- Afin de valider notre hypothèse principale, les épreuves doivent évaluer des aspects différents du nombre. Quatre catégories principales ont été formées : le calcul, la mémoire de travail, le « sens du nombre », les estimations.
- La majorité des épreuves doivent être étalonnées, c'est pourquoi nous avons choisi d'extraire les épreuves de deux tests normés : Le Zareki-R et le Numerical.
- Le temps total de passation ne doit pas être trop important pour ne pas risquer de fausser les résultats avec une éventuelle fatigabilité.

2. Description des épreuves⁷⁴

Nous avons choisi 11 épreuves dont 6 du Zareki-R, 2 du Numerical et 3 que nous avonsnous-mêmes élaborées (disponibles en annexe I). Notons que pour ces dernières, aucun étalonnage n'a pu être réalisé; les scores relevés permettent uniquement d'évaluer la progression entre les deux tests et ont une valeur relative à chaque enfant. Lors de la passation, toutes les épreuves ont été chronométrées.

a. Le calcul

➤ Le calcul mental*:

Cette épreuve évalue le calcul mental d'additions (8 items avec des termes de un ou deux chiffres), de soustractions (même chose) et de multiplications (6 items évaluant les tables de 2 à 5).

Capacités nécessaires :

- Connaissance de la numération et des algorithmes pour gagner du temps avec certaines stratégies (par exemple arrondir à la dizaine supérieure).
- Mémoire de travail et capacités attentionnelles : permettent de stocker et manipuler les termes des opérations

➤ Le calcul écrit arrondi**:

Huit opérations arithmétiques sont proposées à l'enfant (à l'écrit) : 4 additions et 4 soustractions. Toutes se terminent par 0.

Capacités nécessaires : connaissance de la numération et des algorithmes

⁷⁴ Codes : épreuves du Zarecki-R (*), du Numérical (**), personnelles (***)

b. Mémoire

> Répétition*:

Afin de tester l'empan numérique de l'enfant, une épreuve de répétition de chiffres à l'endroit et à l'envers. Elle nous permettra d'évaluer sa mémoire auditivo-verbale ainsi que sa mémoire de travail.

➤ Comptage à rebours*:

Cette épreuve nous permet d'évaluer la maîtrise de la chaîne numérique ainsi que sa manipulation. Comptage à partir de 23 puis à partir de 67.

c. « Sens du nombre »

Echelles droites à graduer*:

Cette épreuve se divise en deux parties :

- Echelles graduées (marquées): une échelle verticale, dont les extrêmes sont marqués (0 et 100), présente certaines graduations. L'enfant doit désigner celle qui correspond au nombre énoncé ou lu (les deux entrées, auditive et écrite, sont donc testées).
- Echelles vierges : l'enfant doit placer lui-même la graduation sur une ligne vierge. Le nombre à placer est entendu (entrée auditive) ou lu (entrée écrite).

Capacités nécessaires : visuo-spatiales pour diviser le segment et repérer visuellement la position du nombre donné.

➤ Echelle courbe***:

Cette épreuve, élaborée spécifiquement pour l'entraînement, a pour but de tester la représentation mentale de la ligne numérique sur une ligne courbe. Il nous a semblé intéressant d'analyser la transposition de la LNM, donc droite et orientée, vers une représentation courbe.

Il s'agit d'une échelle où certains nombres sont déjà placés (l'échelle est de 1 pour 1 cm). L'épreuve se décompose en deux parties :

- Partie 1 : A un endroit de la courbe, matérialisé par un cercle vide, l'enfant doit choisir entre trois propositions et placer le nombre qui convient le mieux.

```
1<sup>er</sup> cercle : choix entre 12, 20, 8 (bonne réponse : 12)
2<sup>ème</sup> cercle : choix entre 28-32-25 (bonne réponse : 32)
3<sup>ème</sup> cercle : choix entre 45-40-52 (bonne réponse : 52)
4<sup>ème</sup> cercle : choix entre 82-100-210 (bonne réponse : 100)
5<sup>ème</sup> cercle : choix entre 300-200-110 (bonne réponse : 110)
```

- Partie 2 : Dans un deuxième temps, un nombre est entendu (et lu) et l'enfant doit le placer sur l'échelle. Les cinq nombres à placer sont : 36, 7, 17, 68, 45

<u>Consignes de passation</u>: « Regarde, voici des nombres qui se suivent dans l'ordre sur une ligne qui fait des zigzags (on suit la ligne du doigt du début à la fin). Tu vois, il y a des nombres déjà marqués et d'autres non. Dans le premier cercle vide (on montre), tu choisirais plutôt le 8, le 12 ou le 20 (on les présente à l'écrit à côté) ? »

Capacités nécessaires :

- La sériation : La réussite de cette épreuve dépend en grande partie de la structure de sériation. En effet, pour pouvoir placer un nombre sur l'échelle, il faut s'aider des nombres déjà placés qui vont servir de bornes. Par exemple, pour placer le 7 le plus correctement possible, il faut tenir compte à la fois du 2 et du 12 (ou du choix donné pour le premier cercle vide) ; cela demande de considérer le 7 comme plus grand que le 2 mais plus petit que le 12 puis d'affiner sa position entre ces deux bornes. La position du nombre doit être pensée comme relative et non absolue.
- Maîtrise de la chaîne numérique : pour réussir à placer un nombre, il faut maîtriser la chaîne numérique qui doit être manipulable dans les deux sens. Il faut aussi pouvoir compter à partir d'un endroit de celle-ci, sans avoir besoin de repartir du début. Par exemple, pour placer le 17 il faut pouvoir partir du 22 et compter à rebours.

Capacités visuo-spatiales: le placement d'un nombre nécessite d'une part d'évaluer visuellement la distance entre les bornes données et de la partitionner de façon égale pour estimer la position probable d'une graduation précise; et d'autre part, de tenir compte de l'orientation de l'échelle courbe car à certains endroits, le sens n'est pas de gauche à droite - comme il l'est classiquement en Occident – mais de droite à gauche. Ainsi, pour placer le 36, il faut se détacher du sens de la lecture et de la LNM (qui nous incitent à placer le nombre supérieur à la droite du précédent), pour le placer à gauche du 35 (voir figure 15).

Cotation de la partie 1 : on compte 0 si le choix de l'enfant est mauvais et 1 s'il est bon.

Cotation de la partie 2 : on mesure l'écart entre le placement de l'enfant et le placement correct. Le score est donné par la somme des écarts. Donc, s'il a un score de 30 au premier test et de 10 au second, cela signifie que sa performance s'est améliorée.

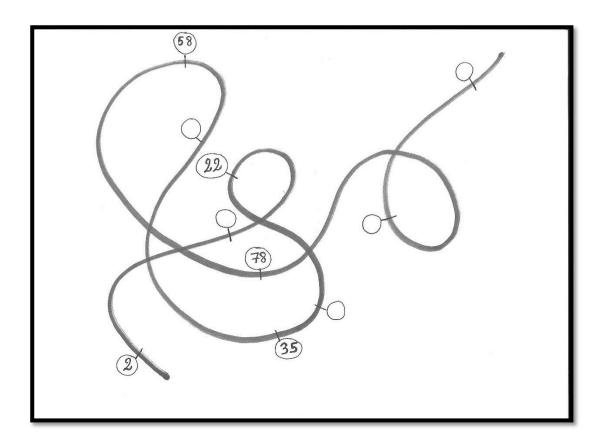


Figure 15 : épreuve de l'échelle courbe

➤ Ecarts***:

Toujours dans l'objectif d'évaluer la LNM, cette épreuve consiste à comparer l'écart entre 2 paires de nombres. Les paires sont présentées à la fois de façon écrite et orale.

Consigne (avec un exemple) : « Où est-ce qu'il y a le plus d'écart ? Entre 5 et 7 ou entre 22 et 42 ? ». Un exemple est donné, à partir duquel nous nous assurons de la compréhension de la consigne avec une vérification : « il y a des nombres entre 5 et 7 ? Et entre 22 et 42 ? Où est-ce qu'il y a le plus de nombres entre ? ».

Paires présentées : (13-24 / 31-58) ; (23-47 / 53-61) ; (63-37 / 27-18) ; (95-78 / 69-32) ; (102-280 / 630-860).

Cotation : on compte 0 si l'enfant choisit la mauvaise paire et 1 s'il choisit la bonne.

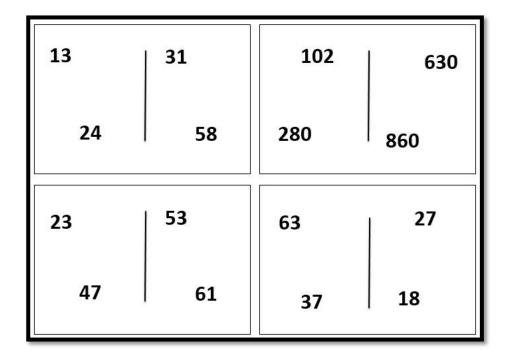


Figure 16 : exemples de paires présentées

➤ Compteur de vitesse**:

Un compteur de vitesse sur lequel sont marqués les extrêmes (0 et 200) ainsi que les graduations vierges est présenté à l'enfant. Nous lui demandons de placer les vitesses que nous énonçons.

d. Estimations

> Estimations visuelles de quantités* :

Des stimuli (points, balles ou verres) sont présentés brièvement (2 ou 5 sec). L'enfant doit estimer leur quantité.

> Estimations de quantités en contexte* :

On propose des quantités d'éléments dans un contexte et l'enfant doit juger si c'est peu, normal/moyen ou beaucoup. Il doit donc estimer le nombre fourni de façon relative au contexte et ne pas prendre le cardinal comme valeur absolue.

Ex: « 10 feuilles sur un arbre? »

Estimations basées sur l'entraînement, présentation Powerpoint***:

Cette épreuve a été créée afin d'évaluer l'évolution des capacités d'estimation mises en jeu lors de l'entraînement. Le but est de pouvoir objectiver les progrès (s'il y en a) dans la précision de l'estimation fournie sur chaque jeu. Il était impossible d'utiliser directement le site (dont les diapos sont aléatoires) car nous souhaitons présenter les mêmes items à tous les enfants de façon à les mettre dans les mêmes conditions de passation.

Le diaporama est composé de captures d'écran réalisées à partir du site utilisé pour l'entraînement. Comme dans celui-ci, après chaque présentation la correction est affichée pour permettre un feed-back (voir paragraphe suivant pour plus de détail sur le fonctionnement de l'entraînement).

Le diaporama est donc divisé en trois parties :

- Estimations de quantités discrètes : 13 items de quantités discrètes (minimum 3 et maximum 65) à estimer sont présentés. L'enfant donne la réponse à l'oral.
- Estimations de longueurs : 9 items sont présentés
- Estimations de résultats d'additions : 6 additions à 2 chiffres et 4 additions à 3 chiffres sont présentées. Cette épreuve diffère légèrement de l'entraînement puisque dans le jeu du site, l'enfant doit déplacer un curseur sur une ligne pour placer son résultat. Ici, la diapo étant statique, nous avons choisi de lui demander de nous énoncer le résultat et de nous montrer avec le doigt où il le placerait sur la ligne proposée, en lui précisant qu'il pouvait énoncer et pointer dans l'ordre qu'il souhaitait.

Cotation:

Pour chaque partie, nous additionnons l'ensemble des écarts entre l'estimation de l'enfant et la valeur réelle de l'item pour déterminer la précision de l'estimation. Par exemple, lors du premier test, si un enfant a 20 dans la partie « estimation de longueur » et 10 lors du second test, son estimation s'est améliorée car la somme des écarts est plus faible.

IV. Présentation de l'entraînement informatique

1. Modalités et conditions

a. Le site

L'entraînement utilise certains jeux proposés sur le site <u>www.mathsisfun.com</u>. Ce site d'accès gratuit rassemble des jeux sur le calcul, la géométrie, les mesures, etc. Il utilise la langue anglaise mais le principe des jeux est très intuitif et ne nécessite pas la maîtrise de l'anglais.

Parmi les jeux sur les nombres se trouve une page dédiée aux jeux d'estimation (voir figure 17).



Figure 17 : les différents jeux d'estimation proposés par le site www.mathsisfun.com⁷⁵

♦ Principe:

Ces différents jeux reposent tous sur le même principe : estimer, en un temps limité (une minute), le maximum d'items.

Il peut s'agir de quantités discrètes (« count 2 to 6 », « count 20 to 99 », etc.), d'angles, de longueurs (« length »), de résultats d'opérations (les quatre opérations sont proposées) ou de pourcentages.

♦ Score:

Le score est calculé selon un algorithme qui tient compte à la fois de la précision de la réponse (il faut se rapprocher le plus possible du résultat exact) et du temps.

Ainsi, des réponses très précises et justes mais coûteuses en temps généreront un score plus bas que des réponses plus approximatives mais permettant de réaliser plus d'items. L'utilisateur est donc incité à utiliser l'estimation plutôt que le dénombrement ou le calcul exact.

⁷⁵ Capture d'écran : http://www.mathsisfun.com/numbers/estimation-game.php

♦ Feed-back:

Après chaque estimation de l'utilisateur, le programme donne la réponse exacte. Ainsi, le joueur peut affiner sa précision en temps réel.

b. Modalités de réalisation de l'entraînement

♦ Matériel :

La mise en place de l'entraînement requiert un ordinateur avec un accès Internet, ainsi qu'un stylo pour l'inscription des scores.

♦ Temps et fréquence :

En nous inspirant des entraînements déjà élaborés (cf chapitre IV de la partie théorique), nous avons choisi de proposer un programme qui soit à la fois intensif et faisable pour le patient et sa famille. La durée de 15 minutes quotidiennes sur une fréquence de 5 fois par semaine, le tout pendant 5 semaines, nous a semblé respecter ce compromis. L'entraînement se réalise à domicile et en autonomie par l'enfant et sa famille.

2. Les jeux composant l'entraînement

Nous avons sélectionné 5 jeux. Chaque partie dure une minute pendant laquelle plusieurs quantités à estimer sont proposées, au fur et à mesure des réponses données par l'utilisateur. Ce dernier réalise trois parties par jeu (3 fois une minute). L'ensemble a donc bien une durée de 15 minutes.

a. Jeu n°1: Estimation de quantités discrètes entre 10 et 20 (« count 10 to 20 »)

Le site propose cinq jeux d'estimation de quantités discrètes. La présentation est identique mais la fourchette d'éléments à estimer varie. Les deux premières fourchettes (quantités entre 2 et 6, et entre 3 et 9) nous semblaient davantage évaluer les capacités de subitizing que d'estimation globale. Nous avons donc choisi pour ce premier jeu celui qui consiste à estimer la quantité d'éléments présentés, cette quantité étant comprise **entre 10 et 20**.

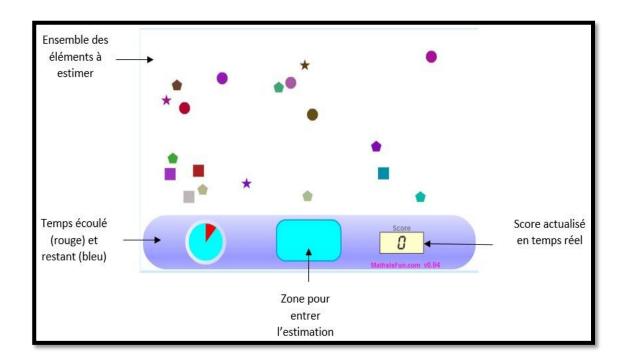


Figure 18 : Jeu 1, estimer une quantité d'éléments entre 10 et 20

b. Jeu n°2: Estimation de quantités discrètes entre 20 et 50 (« count 20 to 50 »)

Même principe que le jeu précédent mais avec une fourchette plus importante, située entre 20 et 50.

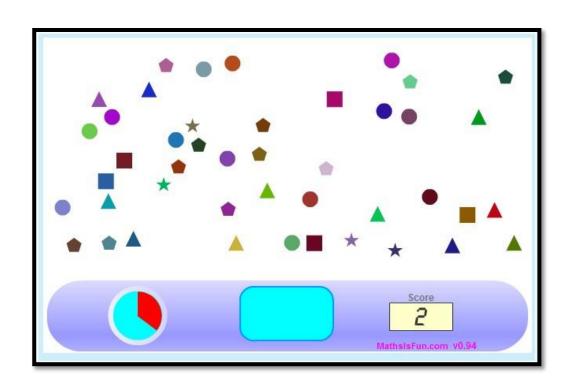


Figure 19 : Jeu 2, estimer une quantité d'éléments entre 20 et 50

c. Jeu n°3 : Estimation de quantités discrètes entre 20 et 99 (« count 20 to 99 »)

Dernier jeu d'estimation de quantités discrètes, le jeu n°3 a la fourchette d'estimation la plus importante.

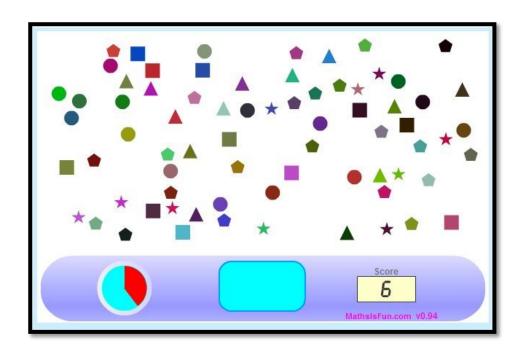


Figure 20 : jeu 3, estimer une quantité d'éléments entre 20 et 99

d. Jeu n°4: Estimation de longueurs (« Lenght »)

Ce jeu nécessite de mobiliser la capacité d'estimation dans le domaine du continu. Une mesure étalon est donnée et le joueur doit estimer combien de mesures étalon sont nécessaires pour composer la longueur principale.

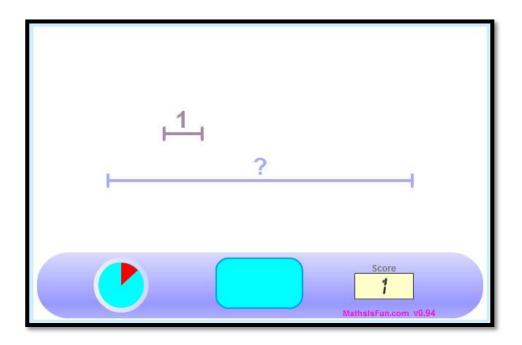


Figure 21 : jeu n°3, estimation de longueurs

e. Jeu n°5 : Estimations de résultats d'additions à 2 et 3 chiffres (« add tens » et « add 100s »)

Ce dernier jeu consiste à estimer globalement le résultat d'une addition proposée. La réponse peut être entrée de deux manières : soit l'utilisateur tape le résultat dans le cadre habituel, soit il utilise la ligne numérique présentée sous l'opération et sur laquelle il déplace un curseur qui symbolise le résultat de l'opération.

Nous avons choisi de proposer alternativement des additions à deux et trois chiffres.

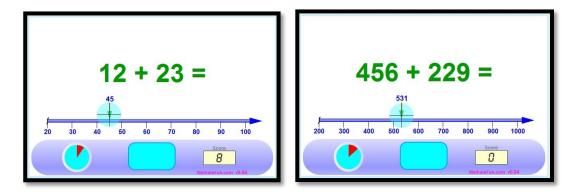


Figure 22 : jeu n°5, estimer le résultat d'une addition à 2 ou 3 chiffres

3. La grille de réponse

Cette grille a trois objectifs:

- Permettre à l'enfant d'écrire son score après chaque partie.
- Permettre à l'enfant de visualiser le protocole des jeux du jour : afin de rendre homogène tout effet de fatigue qui surviendrait à la fin de la séance quotidienne, l'ordre des jeux change chaque jour. La grille permet à l'enfant de prendre connaissance de l'ordre des jeux du jour.
- Permettre à l'orthophoniste, après analyse des scores, de dégager l'évolution de la qualité de l'estimation au fil des semaines.

			Semaine 2	L		,		Semaine 2	?	
Jour	10-20	20-50	20-99	Long.	Add 2ch	10-20	20-50	20-99	Long.	Add 3cl
1				8						
Jour	Add 3ch	Long.	20-99	20-50	10-20	Add 2ch	Long.	20-99	20-50	10-20
2		6	6	25						i i
	2	22		(a)	8		0	9	\$	15

Figure 23 : extrait de la grille de réponse

La grille (figure 23) indique le programme : par exemple, le jour 2 de la semaine 2, l'enfant commencera par faire trois parties du jeu Add 2chiffres (jeu n°5) en inscrivant à chaque fois ses scores dans les trois cases prévues. Puis il passera au jeu des longueurs, puis l'estimation d'éléments entre 20 et 99, puis entre 20 et 50, et enfin il terminera avec la fourchette d'éléments à estimer entre 10 et 20.

Chaque partie dure une minute, il passe donc trois minutes par jeu et la totalité du programme quotidien (les cinq jeux) durera 15 minutes.

La grille entière est visible en annexe II.

Chapitre IV PRÉSENTATION DES RESULTATS

I. Etudes de cas

1. Amélia

1.1. Présentation

Amélia est une jeune fille âgée de 12 ans et 6 mois lorsque nous la rencontrons. Elle est accompagnée de sa mère qui a aussi été son institutrice, et est actuellement en 6ème. Elle a une petite sœur et elle pratique la natation. Amélia est suivie en orthophonie depuis plusieurs années pour des difficultés de raisonnement logico-mathématique.

1.2. Tests

Lors des deux rencontres, Amélia a montré une réelle envie de bien faire ; elle a parfois été hésitante et s'est beaucoup corrigée, mais elle a pris son temps pour répondre et a cherché la précision. Sa mère a été présente et attentive lors des tests et a parfois eu du mal à ne pas intervenir. De son côté, Amélia a fréquemment regardé vers elle après avoir donné une réponse, donnant l'impression de ne pas être très sûre d'elle.

a. Profil par rapport à l'étalonnage des tests utilisés

Tableau 3 : résultats d'Amélia par rapport à la norme au test 1

	Moyenne	Résultats	Ecart-	Ecart-type	Temps	Temps
	des	Amélia	type	Amélia	moyen	Amélia
	résultats*				(sec)	
Estimation visuelle	4	5	1	+1		
Quantité contexte	7.8	6	2.4	- 0.75		
Répétition	13.6	18	3.4	+ 1.3		
Echelles marquées	10.9	10	1.71	- 0.5		
Echelles vierges	6.7	4.5	2.65	-0.8		
Comptage rebours	3.3	4	0.9	+0.7		
Calcul mental +	12.75	14	2.78	+0.4	46.9	74
Calcul mental –	10.61	16	3.26	+1.6	82.2	308
Calcul mental x	11.1	12	1.61	+ 0.5	14.3	48
Compteur vitesse	5.8	0	3.4	- 1.7		
Calcul écrit arrondi	4.9	7	0.3	+ 7		

^{*}Etalonnage du Zareki pour 11 ans 6 mois et du Numerical pour le CM1 et âge de 9 ans 5 mois.

On rappelle qu'Amélia a un an de plus que le dernier étalonnage du Zareki, et 3 ans de plus que celui du Numerical. Malgré son âge plus important, elle se trouve très en difficulté pour le compteur de vitesse et elle est aussi dans la limite basse de la moyenne (que l'on considère entre -1 et +1 écart-type) en ce qui concerne les épreuves des échelles, ce qui est cohérent puisque ces deux types d'épreuves mobilisent la LNM (mais sur des orientations spatiales différentes) qui semble être perturbée chez la jeune fille. On note qu'Amélia obtient des scores en calcul mental dans la moyenne ou supérieurs à celle-ci, mais au prix d'un effort important puisque la vitesse de calcul est beaucoup plus lente que la moyenne. De même, si le calcul écrit arrondi est bien réussi en termes de score, il a demandé beaucoup de temps à Amélia (plus de 4 minutes). En revanche, les épreuves de répétition sont bien réussies, ce qui exclut un trouble de la mémoire de travail.

On remarque qu'Amélia se situe souvent dans la norme ou en limite basse de celle-ci, mais il faut rappeler que cette norme a été établie à partir d'enfants plus jeunes qu'elle. De plus, elle est en difficulté dans des épreuves du domaine analogique et figuratif (échelles, compteur) qui relèvent du stade concret, alors qu'elle devrait, compte tenu de son âge, entrer dans le stade formel et développer son raisonnement à partir de données symboliques et non concrètes. Amélia peut donc être considérée comme très en difficulté.

b. Observations cliniques du 1er test :

<u>L'échelle courbe</u> a posé des problèmes à Amélia lors du 1^{er} test. Nous avons noté beaucoup d'hésitations et de corrections. Pour le 1^{er} choix à définir elle dit : « ce n'est pas le 8, c'est le 12 ou le 20... non c'est le 20 », elle l'écrit puis se corrige et met finalement le 12. Elle a procédé par élimination : « ça ne peut pas être le 25, ni le 22 ... donc c'est le 32 ». Pour la partie 2, elle a justifié à haute voix ses réponses : le 36 est « proche du 35 ». Le 68 est placé en s'aidant du 58, et le 7 est placé en comptant à partir du 2 et par réalisation d'une graduation arbitraire. Amélia mettra presque 8 minutes pour réaliser cette épreuve. Elle obtient un score de 4/5 (pour cette épreuve, les scores des sujets varient entre 2 et 5) pour la partie 1, et de 32.5 (fourchette des scores : 36-5) pour la partie 2. On rappelle que pour cette partie, un score bas signe une estimation précise.

Les <u>estimations de quantités en contexte</u> sont réalisées rapidement mais avec de nombreuses corrections.

Lors de <u>l'épreuve de placement de nombres sur une échelle</u> marquée, elle n'est pas d'accord avec l'emplacement des traits déjà marqués. Elle nous montre des positions en dehors de ceux-ci sur la ligne. Exemple : pour le placement du 32, elle nous montre le bon trait mais dit : « il faudrait le mettre un peu plus haut ». Lorsqu'il s'agit de placer le nombre sur une échelle vierge, elle prend la feuille à l'horizontale et dit, après que nous lui avons donné le 1^{er} nombre à placer : « comment je sais où le mettre ? »

Pour <u>le calcul mental</u>, ce sont surtout les soustractions qui ont demandé beaucoup d'efforts. Amélia a parfois compté à rebours ou s'est aidée des doigts.

L'épreuve des <u>écarts</u> a été réalisée sans aucune hésitation et elle obtient le score maximal.

<u>Le compteur de vitesse</u> a posé des difficultés. Elle a placé le 100 et le 50, sûre d'elle, puis le 80 en hésitant longuement. Puis elle dit : « là il va bien parce qu'avant il y a le 70, et après le 90 ». Elle a ensuite placé le 60, puis corrigé en disant « ah non, il peut pas être avant le 50 ». Du coup, elle décale légèrement le 80. Enfin, pour placer le 30, elle s'est aidée du 40. Cette épreuve a duré presque 5 min et n'a pas été réussie.

<u>Calcul arrondi</u>: à la vue de la feuille, elle dit : « heu, j'arrive pas des comme ça ». Peu sûre d'elle, elle nous demande « ça peut faire le même résultat ? ». Elle utilise les techniques de calcul apprises, en inscrivant d'abord le dernier chiffre du résultat (un zéro), puis elle additionne en s'aidant des doigts les chiffres des deux termes. Elle semble anxieuse et regarde fréquemment sa mère. Arrivée au dernier item, elle dit : « tous les résultats que j'ai tombent sur un des deux (termes) mais je ne sais pas lequel ... ».

Estimations Power Point: Amélia n'arrive pas à estimer le résultat des additions présentées. Elle cherche à calculer le résultat exact (elle y arrive), et prend donc beaucoup de temps pour réaliser cette épreuve. Elle donne toujours le résultat à l'oral et ne cherche pas à le placer. La somme de ses écarts pour l'estimation de quantités discrètes est de 24 (scores des autres sujets compris entre 175 et 24, celle pour les estimations de longueurs est de 7 (scores compris entre 38 et 6) et celle pour les résultats d'additions est de 0 (scores compris entre 981 et 0). Rappelons que pour cette dernière épreuve et malgré le calcul exact réalisé par Amélia, elle n'a pas été capable d'utiliser l'estimation mais a préféré, certainement pour se rassurer, utiliser des techniques scolaires pour calculer le résultat exact de l'opération.

c. Observations cliniques du second test et comparatif

• Calcul:

→ Calcul mental: Lors de cette épreuve, la mère d'Amélia a cherché à intervenir une fois en disant: « décompose! ». Suite à cette remarque, Amélia s'est mise en colère et a répondu: « je ne sais plus où j'en suis! ». Elle a d'ailleurs été très anxieuse et a souvent voulu savoir si elle avait « eu faux ».

Le score des additions s'améliore légèrement au second test mais avec une diminution de la vitesse de réalisation. Les soustractions sont un peu moins bien réussies au second test pour un temps de réalisation quasi identique. Les scores des multiplications sont au plus haut dans les deux tests → Globalement, la performance en calcul mental reste inchangée.

→ Calcul écrit arrondi: Toujours hésitante, Amélia demande de façon sous-entendue l'approbation de ses réponses et dit souvent : « ah non, j'arrive pas à ça ... ». Elle réalise pourtant les calculs avec de la bonne volonté et de façon appliquée, en commençant toujours par inscrire le dernier chiffre du résultat de l'opération.

Nous notons une légère amélioration des scores déjà très corrects (8 au second test et 7 au premier, ce qui la place dans la norme) mais avec une vitesse de réalisation significativement augmentée (temps de réalisation presque divisé par deux)

→ <u>Amélioration de la performance et de la vitesse.</u>

■ Mémoire :

- → Répétition : globalement identique sur les 2 tests et dans la norme
- → Comptage à rebours : demande beaucoup d'effort. Une erreur au second test l'oblige à recommencer et fait chuter son score → Performance légèrement plus faible au second test.

« Sens du nombre » :

→ Compteur de vitesse : elle place le 100 puis le 50 sur le trait juste avant et se corrige : « non, c'est pas possible ». Elle compte alors à rebours les dizaines à partir de 100 et place le 50. Parvenue à la fin, elle dit : « pour ces deux-là (120 et 160), j'ai fait un peu au hasard, mais je sais qu'ils sont entre là et là (montre le 100 et le 200) ». Cette remarque montre qu'Amélia s'est représenté le nombre à placer comme appartenant à une ligne numérique. Elle ne l'a pas considéré comme une valeur absolue mais comme une valeur en lien avec d'autres et comprise dans une fourchette.

Les productions d'Amélia sont très différentes d'un test à l'autre (voir figure 24). Le score s'améliore (il passe de 0/8 à 2/8) et la répartition des vitesses est plus harmonieuse au second test. L'observation clinique nous montre qu'elle a corrigé l'erreur qu'elle avait faite concernant le placement de la deuxième vitesse, ce qui lui a permis de placer les suivantes de façon plus adaptée. Par ailleurs, elle a réalisé l'épreuve en presque deux fois moins de temps → Performance améliorée et vitesse nettement supérieure.

→ Echelle courbe (voir figure 25): Amélia est assez sûre d'elle et ne se corrige pas. Pour choisir le 32, elle s'aide du 22 et compte « à peu près », en s'aidant d'une graduation arbitraire.

Partie 1 : scores identiques pour une vitesse de réalisation supérieure.

Partie 2 : au premier test, Amélia avait placé les cinq nombres en avant de leur position exacte (elle a par exemple placé le 7 là où se trouve normalement le 3). Elle a aussi fait une erreur de sens (le 36 est placé à côté du 35 mais dans le sens inverse de l'échelle, donc entre le 32 et le 35). Cette erreur met en évidence l'orientation de la LNM (voir partie théorique) car elle a tenu compte de sa représentation mentale qui est orientée de gauche à droite, et non du sens de la ligne proposée. En effet, à l'endroit marqué du 35, le sens croissant va de la droite vers la gauche.

Cette erreur n'est pas présente au second test. La somme des écarts entre le placement proposé par Amélia et la position exacte est très nettement diminuée au second test, ce qui révèle une précision bien supérieure. Par ailleurs, on note qu'elle ne sous-estime plus systématiquement la position : 7 est à la place du 6 mais 45 est placé à l'endroit du 48

→ La performance et la vitesse s'améliorent très nettement.

- → Echelles droites: Pour les échelles marquées (entrée auditive): une erreur au premier test et des scores parfaits au second, pour une vitesse de réalisation nettement augmentée → Amélioration de la performance et de la vitesse. En ce qui concerne les échelles vierges, on note qu'Amélia prend toujours sa feuille à l'horizontale. Le score augmente légèrement pour l'entrée auditive et reste identique pour l'entrée lecture. En revanche, la vitesse de réalisation est là aussi très nettement augmentée (Amélia va presque trois fois plus vite) → Score globalement identique mais vitesse nettement améliorée.
- → *Ecarts*: scores et vitesses identiques dans les 2 tests (scores parfaits).

Estimations:

→ Estimations Power Point: toujours lente mais précise, Amélia énonce le résultat pour les additions à deux chiffres (les réponses sont alors toujours correctes), mais utilise la ligne numérique pour les additions à 3 chiffres. Elle montre alors l'endroit où elle le place en disant: « là ». Les résultats sont beaucoup plus approximatifs puisqu'aucune réponse n'est exacte, mais les quatre items sont réalisés nettement plus rapidement. On peut penser qu'Amélia a commencé à utiliser la stratégie d'estimation pour répondre aux derniers items.

Comparatif:

- o quantités discrètes : estimation moins précise au second test pour une vitesse et une fourchette d'écarts identiques.
- o longueurs : estimation moins précise pour une vitesse un peu plus lente et une fourchette d'écarts identique.
- o résultats d'additions : un item est estimé de façon très imprécise et fait monter son score au second test par rapport au premier, pendant lequel l'estimation était alors très précise mais beaucoup plus lente.
- → Quantités en contexte : amélioration significative des scores (9 pour 6 au premier test)
 pour une vitesse de réalisation légèrement plus lente.
- → Visuelles de quantités : scores et vitesses identiques (épreuve dans la norme au test 1)

d. Comparatif des performances par rapport à l'étalonnage

Tableau 4 : comparatif des résultats d'Amélia par épreuves en écart-type

	Ecart-type Amélia	Ecart-type Amélia
	test 1	test 2
Estimation visuelle	+1	+1
Quantité contexte	- 0.75	+0.5
Répétition	+ 1.3	+1
Echelles marquées	- 0.5	+0.6
Echelles vierges	-0.8	-0.4
Comptage rebours	+0.7	-1.44
Calcul mental +	+0.4	+1.2*
Calcul mental –	+1.6	+0.1*
Calcul mental x	+ 0.5	+0.6*
Compteur vitesse	- 1.7	-1.1
Calcul écrit arrondi	+ 7	+10

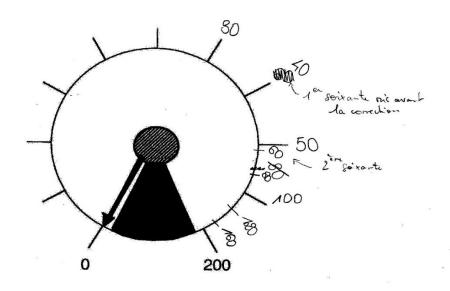
^{*}NB Le temps de réalisation est, comme au test 1, beaucoup plus élevé que la norme.

Tableau 5 : comparatif des résultats d'Amélia par épreuves selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou	Difficulté	Grande	Norme	Difficulté	Grande
	> norme		difficulté	ou >		difficulté
				norme		
Estimation visuelle	X			X		
Quantité contexte		X		X		
Répétition	X			X		
Echelles marquées		X		X		
Echelles vierges		X		X		
Comptage rebours	X				X	
Calcul mental +	X			X		
Calcul mental -	X			X		
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse			Х		X	
Calcul écrit	X			X		
arrondi						

Synthèse:

Amélia a pu améliorer sa performance dans quatre épreuves pour lesquelles elle était en difficulté (ou grande difficulté). Ces épreuves concernent surtout le domaine analogique et en particulier la représentation de la LNM qui était très figée. On note aussi la fluctuation des scores à l'épreuve de comptage à rebours qui a été réussie au test 1 et échouée au second, ce qui montre bien que la représentation et la manipulation de la chaîne numérique ne sont pas encore automatisées. Par ailleurs, elle commence à pouvoir utiliser l'estimation pour estimer le résultat d'une addition (au test 1, elle cherchait absolument le résultat exact sans pouvoir faire autrement).



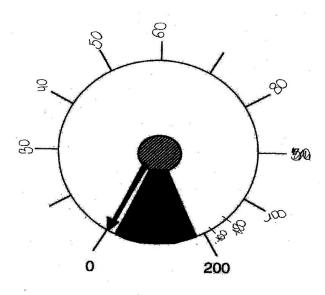
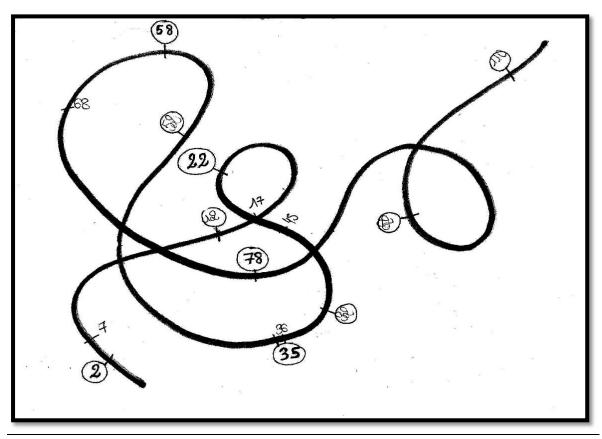


Figure 24 : compteurs de vitesse du test 1 (en haut) et de test 2 (en bas) d'Amélia



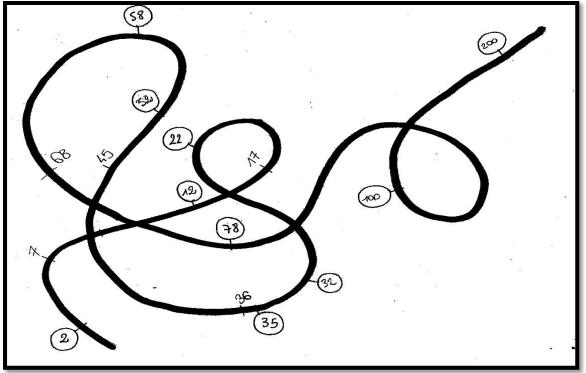


Figure 25 : échelles courbes du test 1 (en haut) et du test 2 (en bas) d'Amélia

1.3. L'entraînement

L'entraînement s'est déroulé sans difficulté particulière.

Méthodologie d'analyse de la grille de réponse :

Pour chaque jour et chaque jeu, nous avons fait la moyenne des scores obtenus aux trois parties réalisées. Ensuite, nous avons fait la moyenne de ces résultats obtenus sur une semaine. Les tableaux rassemblant les moyennes des scores obtenus sont disponibles pour chaque enfant en annexe III.

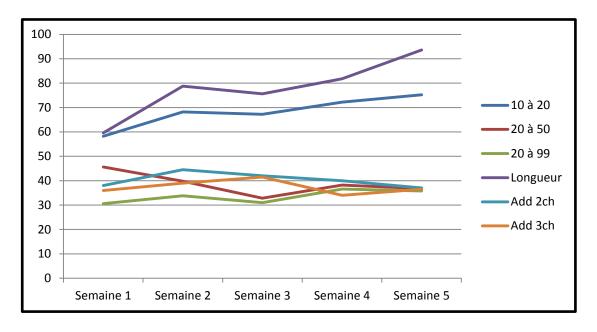


Tableau 6 : progression des scores d'Amélia sur les cinq semaines

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores de trois jeux sont globalement <u>restés stables</u> :
 - Les additions à deux chiffres
 - Les additions à trois chiffres
 - Les estimations de quantités 20-99

- Les scores d'un jeu ont <u>légèrement baissé</u> :
 - Les estimations de quantités 20-50
- Les scores de deux jeux se sont significativement améliorés :
 - Les estimations de quantités 10-20
 - Les estimations de longueurs.

1.4. Conclusion:

A l'issue du premier test, on peut supposer qu'Amélia a une représentation mentale de la chaîne numérique très figée. Elle se la représente de gauche à droite (elle place le 36 à droite du 35 sur l'échelle courbe) et horizontale (lors de l'épreuve des échelles droites, elle place sa feuille en « format paysage »). La manipulation de la chaîne est difficile : le comptage à rebours lui demande beaucoup d'effort alors que la répétition de chiffres à l'envers (qui fait uniquement intervenir la mémoire de travail) est réussie. Le calcul mental est aussi très difficile et coûteux en énergie. Le calcul écrit arrondi est en revanche plus facile pour elle car elle applique méthodiquement des stratégies apprises.

Concernant l'entraînement aux estimations, deux jeux se sont nettement améliorés sur les cinq semaines : l'estimation de quantités entre 10 et 20, et l'estimation de longueurs. Ces deux jeux correspondent aux bases des domaines du discontinu (10-20) et du continu (longueurs), mais appartenant tous deux au domaine concret (et non symbolique).

Le second test a permis de montrer que la performance d'Amélia s'est globalement améliorée, en particulier sur l'épreuve d'estimation de quantités en contexte, sur l'échelle courbe et sur le compteur de vitesse. Elle a aussi augmenté sa vitesse sur de nombreuses épreuves, notamment dans le calcul écrit arrondi, et développé de nouvelles stratégies. De plus, elle s'est globalement montrée plus sûre d'elle.

On peut donc penser qu'Amélia a pu construire, grâce à l'entraînement, sa numération figurative (voir partie théorique, paragraphe I). Elle a pu développer ses capacités d'estimation et de représentation des nombres pour pouvoir les manipuler plus facilement et mieux réussir certaines épreuves du domaine analogique et figuratif. Amélia a ainsi suivi la progression habituelle de construction de la numération, malgré son âge relativement élevé.

2. Emilie

2.1. Présentation

Emilie est une jeune fille de 11 ans et 7 mois, scolarisée en fin de CM2 et qui pratique la natation. Elle a un caractère timide et se montre très réservée. Nous la rencontrons en compagnie de son père qui la soutient beaucoup et répond souvent à nos questions à la place de sa fille, celle-ci ne parlant que très peu. Emilie semble peu autonome et a besoin de l'étayage de son père : lorsque nous lui proposons de signer la charte qui signifie qu'elle choisit de s'engager dans le projet, elle reste interdite et regarde son père ; celui-ci lui dit alors calmement « vas-y, prends le stylo ... voilà, et puis maintenant tu écris ton nom ici ... repose le stylo maintenant ». Son père propose de nous laisser seules pour les tests mais il reviendra plusieurs fois pour demander si tout se passe bien.

Emilie se montre coopérante et accepte de participer au projet.

2.2. Tests

a. Profil par rapport à l'étalonnage

Tableau 7 : résultats d'Emilie par rapport à la norme de son âge au test 1

	Moyenne	Résultats	ET	ET	Temps	Temps
	des	d'Emilie		Emilie	moyen	Emilie
	résultats*				(s)	
Estimation visuelle	4	3	1	-1		
Quantité contexte	7.8	5	2.4	-1.2		
Répétition	13.6	12	3.4	-0.5		
Echelles marquées	10.9	10	1.71	- 0.5		
Echelles vierges	6.7	1.5	2.65	-1.9		
Comptage rebours	3.3	4	0.9	+ 0.7		
Calcul mental +	12.75	8	2.78	- 1.7	46.9	81
Calcul mental –	10.61	4	3.26	-2	82.2	137
Calcul mental x	11.1	12	1.61	+ 0.5	14.3	25
Compteur vitesse	5.8	0	3.4	- 1.7		
Calcul écrit arrondi	4.9	4	0.3	- 3		

^{*}Etalonnage du Zareki pour 11 ans 6 mois et du Numerical pour le CM1 et âge de 9 ans 5 mois.

On remarque qu'Emilie est en difficulté dans les estimations (visuelles et de quantités en contexte) ainsi que dans le calcul (mental et écrit) où elle met beaucoup de temps sans pour autant être performante. On note aussi une nette différence de performance entre le placement de nombres sur une échelle marquée (en désignation) et sur une échelle vierge, ce qui peut s'expliquer par le fait que les traits de l'échelle marquée constituent un indiçage sur lequel elle s'appuie. Cet indiçage ne se retrouve plus dans l'échelle vierge où elle doit mobiliser la LNM afin de partitionner le segment en « uns » pour placer le nombre souhaité. On retrouve d'ailleurs cette difficulté à se représenter la LNM dans l'épreuve du compteur de vitesse, qu'Emilie échoue totalement.

Globalement, Emilie est en très grande difficulté, tant dans le domaine analogique (échelles, compteur, estimations) que dans le domaine symbolique (calculs). Elle n'a pas construit une LNM stable et manipulable qui lui permettrait d'accéder à la notion de nombre, puis d'effectuer des calculs.

b. Observations cliniques du premier test

<u>Les échelles droites</u> sont beaucoup plus difficiles pour Emilie qui les considère comme « plus dures que le calcul mental ». Sur les échelles marquées (désignation), elle se trompe sur l'exemple en choisissant le trait le plus proche de 100 (aux environs de 90) au lieu du trait précédent qui correspond au nombre donné (56). Elle justifie en disant : « parce que le 56 est avant le 100 ». Elle essaiera alors de compter de 10 en 10 mais n'y arrivera pas.

<u>L'échelle courbe</u> a été réalisée assez rapidement. Emilie n'a eu que de rares et brèves hésitations ; elle semblait globalement sûre d'elle. Elle obtient un score de 2 pour la partie 1 (scores des sujets compris entre 2 et 5) et de 34 pour la partie 2 (scores compris entre 36 et 5). Comme pour les échelles droites vierges et le compteur de vitesse, Emilie est en difficulté sur cette épreuve qui mobilise la LNM dans une orientation spatiale particulière. N'ayant pas une représentation claire de la chaîne numérique, elle ne peut pas réussir cette épreuve.

<u>Le calcul mental</u> lui demande beaucoup d'effort, elle dira souvent : « je sais pas ».

Malgré la construction précaire de sa chaîne numérique, Emilie a bien réalisé <u>l'épreuve de comptage à rebours</u> (elle se situe dans la norme), elle est donc capable de manipuler cette chaîne à l'envers en partant d'un point donné.

Pour le <u>calcul écrit arrondi</u>, Emilie est appliquée et silencieuse, elle ne fait pas de gestes. Elle inscrit d'abord le chiffre des unités puis celui des dizaines, etc.

Elle obtient un score de 3 aux écarts (fourchette des scores des sujets : 2-5).

Pour l'épreuve des <u>estimations PowerPoint</u>: la somme de ses écarts pour l'estimation de quantités discrètes est de 147 (scores des autres sujets compris entre 175 et 24), celle pour les estimations de longueurs est de 29 (scores compris entre 38 et 6) et celle pour les résultats d'additions est de 981 (scores compris entre 981 et 0). Ses estimations sont donc très imprécises.

c. Observations cliniques du second test et comparatif :

• Calcul:

→ Calcul mental: Au premier test, les additions et les soustractions sont échouées dès qu'elles comportent des termes à deux chiffres. Les réponses données témoignent d'un mauvais choix d'opération à réaliser. Par exemple, 15+12 = 3 ou encore 13+19 =6, opérations pour lesquelles Emilie a plutôt fait une soustraction.

Au second test, le calcul mental est toujours laborieux mais on ne note plus de mauvaise utilisation des opérations qui sont appliquées à bon escient, même si le résultat n'est pas toujours correct.

La vitesse est globalement stable sur les additions et soustractions pour une performance légèrement meilleure.

→ Calcul écrit arrondi: Au premier test, ses nombreuses erreurs (4 items échoués sur 8) révèlent, comme dans le calcul mental, une incapacité à choisir le bon algorithme à appliquer. Par exemple, 50+80 (le premier item) est réalisé correctement tandis que le suivant (70+60) ne l'est pas (elle répond 10). On note qu'Emilie choisit plus souvent d'appliquer la soustraction que l'addition : une addition sur quatre est réussie alors que seulement une soustraction sur quatre est échouée.

Les opérations sont réalisées dans le <u>même temps</u> au second test mais avec une <u>performance bien meilleure</u> puisqu'une seule soustraction (l'item le plus difficile) est échouée.

■ <u>Mémoire :</u>

- → Répétition : <u>les scores des deux tests sont presque identiques</u> (scores dans la norme) pour une vitesse de réalisation semblable.
- → Comptage à rebours : <u>les scores sont identiques</u> (dans la norme) dans les deux tests mais la <u>vitesse de réalisation est un peu plus élevée</u> au second.

« Sens du nombre » :

→ Compteur de vitesse (voir figure 26): Au premier test, il semble qu'elle maîtrise l'ordre des vitesses, car celles-ci sont bien en ordre croissant sur le compteur, mais elle ne tient pas compte des écarts entre celles-ci. On voit que l'écart entre 200 et 100 est considéré comme équivalent à celui entre 100 et 50. Elle a bien placé le 120 après le 100 mais plus proche du 200.

Emilie n'améliore pas son score au second test mais on constate une meilleure répartition des vitesses car elle a utilisé une graduation plus cohérente, elle a donc réussi à partitionner l'arc de cercle de façon plus efficace, certainement grâce à une représentation mentale des vitesses plus adaptée. Une seule vitesse ne correspond pas à cette graduation : le 80, qui a probablement été confondu avec le 90. L'écart entre 100 et 200 est toujours problématique pour elle.

La performance et la vitesse restent inchangées (très basses) mais on constate une amélioration qualitative.

→ Echelle courbe (voir figure 27): Dans la seconde partie du premier test, on remarque de nombreuses erreurs de placement. Elle a placé le 36 entre le 32 et le 35. On remarque que le 45 est aussi placé dans cet intervalle. De la même façon, Emilie s'est laissé piéger par l'orientation de sa LNM et a placé le 68 à droite du 78 (entre le 78 et le 82).

Au second test, on constate une amélioration dans la première partie, mais aussi dans la seconde puisque tous les nombres sont placés dans un ordre correct et que l'écart entre ceux-ci et la position exacte a nettement diminué, ce qui révèle une estimation plus précise et une meilleure capacité à concevoir globalement l'échelle courbe. Emilie a tenu compte des bornes pour mieux partitionner les segments.

Légère amélioration du score dans la partie 1 et nette amélioration pour la partie 2, pour une vitesse de réalisation plus élevée.

→ Echelles droites (voir figure 28): Dans le premier test, elle fait une erreur en désignant le trait n° 3 (aux environs de 30) au lieu du n°2 pour le nombre 48. En revanche, lors de la présentation écrite (lecture du nombre puis désignation du trait), elle obtient le score maximal. En ce qui concerne les échelles vierges, Emilie est plutôt lente et très peu performante. Par exemple, sur une échelle elle place le 59, et sur l'échelle d'à côté, elle place le 83 exactement au même niveau.

Au second test, <u>la performance est stable en ce qui concerne les lignes marquées mais est nettement meilleure pour le placement de nombres sur l'échelle vierge</u> (on passe de 1.5 à 4 en entrée orale et de 0 à 2.5 en entrée écrite, pour un score maximal de 6). Emilie est toujours sûre d'elle et a <u>augmenté sa vitesse</u>.

→ Ecarts: L'épreuve a été échouée au premier test puisqu'Emilie n'a pas tenu compte de la consigne (malgré un exemple et une question pour s'assurer de sa compréhension en début d'épreuve). Elle a choisi les paires qui contenaient le nombre le plus grand parmi les quatre présentés sans se soucier de la notion d'écart.

Au second test, en revanche, elle obtient un score parfait et augmente sa vitesse, ce qui montre qu'elle a pu se dégager des états (nombres présentés qu'elle a évalués de façon absolue, sans tenir compte de la paire) pour réaliser une opération (considérer l'écart « invisible » entre les deux nombres et non plus les nombres eux-mêmes).

Estimations :

→ Quantités en contexte : le score est bas au premier test car elle n'a pas du tout tenu compte du contexte ; elle a donné sa réponse par rapport au nombre de la phrase. Par exemple, à la phrase « quatre professeurs dans la même classe », elle a répondu « ça fait peu » car elle a considéré le nombre quatre comme « petit » et n'a pas utilisé le contexte pour définir sa réponse. De même, « quinze mots dans un livre » a donné comme réponse « ça fait beaucoup » car quinze était à ce moment-là le nombre le plus grand utilisé dans les énoncés.

Au second test, le <u>score s'est légèrement amélioré</u> mais Emilie a encore tendance à se baser sur une valeur absolue du nombre sans tenir compte du contexte.

→ Visuelles de quantités : scores et vitesses identiques aux deux tests

→ Estimations Power Point: Au premier test, les estimations sont très imprécises. Sur la première partie (estimations de quantités discrètes), elle dira: «99!» à la vue d'une diapo contenant 22 éléments. Cependant, elle s'aidera du feed-back pour ajuster sa réponse suivante. En ce qui concerne les longueurs, on retrouve cette surestimation. Sur une diapo où l'étalon rentre 9 fois, elle dit encore: «99!» puis se corrige et dit: «22». Voyant, grâce à la correction, qu'elle a exagéré, elle réagira tout aussi excessivement en sous-estimant la diapo d'après à 3 (alors que l'étalon rentre 7 fois). Enfin, sur la dernière partie, on retrouvera sa difficulté à choisir le bon algorithme puisque plusieurs fois (mais pourtant pas systématiquement), elle effectuera une soustraction à la place d'une addition. Un temps important lui est nécessaire pour finalement obtenir des écarts très importants, révélant une estimation et/ou une technique de calcul inefficace(s).

Au second test, Emilie ne surestime plus les éléments et <u>son estimation a gagné en</u> précision et en vitesse en ce qui concerne les quantités discrètes et les longueurs. En revanche, l'estimation de résultats d'additions est toujours difficile.

Comparatif:

- Quantités discrètes: estimation beaucoup plus précise au second bilan, temps de réalisation divisé par deux et fourchette d'écarts diminuée.
- o Longueurs : même constatation que pour les quantités discrètes.
- Additions: scores et fourchettes d'écarts identiques pour les deux tests, vitesse légèrement plus élevée au second.

d. Comparatif des performances par rapport à l'étalonnage

Tableau 8 : comparatif des résultats d'Emilie en écart-type

	Ecart-type Emilie	Ecart-type Emilie
	test 1	test 2
Estimation visuelle	-1	-1
Quantité contexte	-1.2	-0.3
Répétition	-0.5	-0.1
Echelles marquées	- 0.5	-0.5
Echelles vierges	-1.9	0
Comptage rebours	+ 0.7	+ 0.7
Calcul mental +	- 1.7	-1
Calcul mental –	-2	- 1.4
Calcul mental x	+ 0.5	+ 0.5
Compteur vitesse*	- 1.7	-1.7
Calcul écrit arrondi*	- 3	+ 7

^{*}Etalonnage du Numerical pour 9 ans 5 mois.

Tableau 9 : comparatif des résultats d'Emilie par épreuves selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle		X			X	
Quantité contexte			X	X		
Répétition	X			X		
Echelles marquées		X			Х	
Echelles vierges			X	X		
Comptage rebours	X			X		
Calcul mental +			X		X	
Calcul mental –			X		X	
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse			X		X	
Calcul écrit arrondi			X	X		

Synthèse des résultats :

Emilie est une enfant en très grande difficulté. Au test 1, nous voyons qu'elle a une mémoire fonctionnelle, mais elle échoue cependant aussi bien aux épreuves analogiques (son estimation est très inefficace, ce qui révèle une numération figurative et un « sens du nombre » très perturbés), qu'aux épreuves symboliques, le calcul étant particulièrement touché (à l'exception des tables de multiplications qui sont bien mémorisées mais qui ne mobilisent pas de réelles procédures de calcul). La dissociation entre les échelles marquées et vierges montre qu'Elodie fonctionne en utilisant des connaissances plus ou moins « plaquées » sans pouvoir mobiliser une LNM correcte pour réaliser un placement de nombres.

On constate qu'elle s'est améliorée dans toutes les épreuves échouées au test 1 (« grande difficulté »). Le jugement de quantités en contexte est maintenant réussi, de même que les échelles vierges, pourtant très difficiles pour Emilie au test 1. De façon cohérente, l'échelle courbe et le compteur de vitesse s'améliorent aussi, surtout d'un point de vue qualitatif. Le calcul mental semble encore problématique mais les écarts à la norme se réduisent et la vitesse de réalisation augmente. De plus, elle a utilisé les bons algorithmes et n'a pas effectué de soustractions à la place d'additions. Le calcul écrit arrondi est lui aussi nettement meilleur, ce qui montre qu'Emilie commence à pouvoir passer à l'abstraction. L'amélioration aux épreuves d'estimations en contexte et des écarts montre qu'Emilie commence à pouvoir considérer les transformations et non plus les états : elle accepte de remettre en question ce qui lui est présenté pour se détacher du réel immédiat et effectuer une opération mentale (comme soustraire deux nombres pour évaluer leur écart).

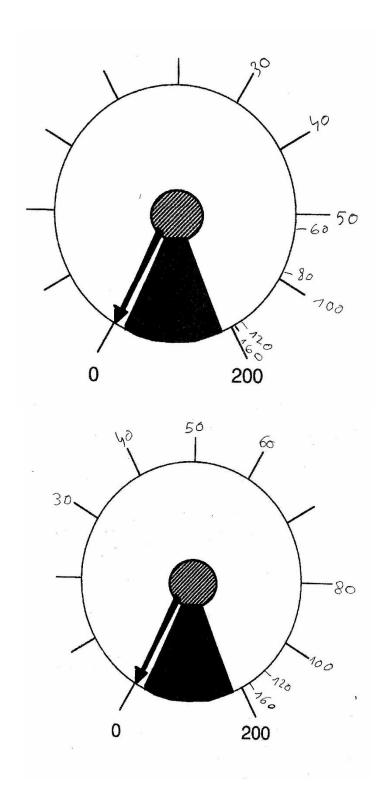


Figure 26 : comparatif des compteurs du test 1 (en haut) et 2 (en bas) d'Emilie

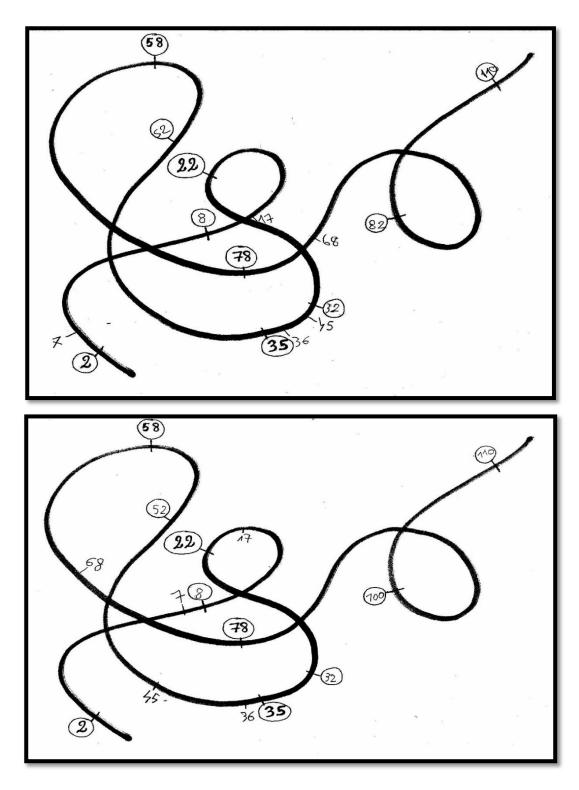


Figure 27 : comparatif des échelles courbes du test 1 (en haut) et 2 (en bas) d'Emilie

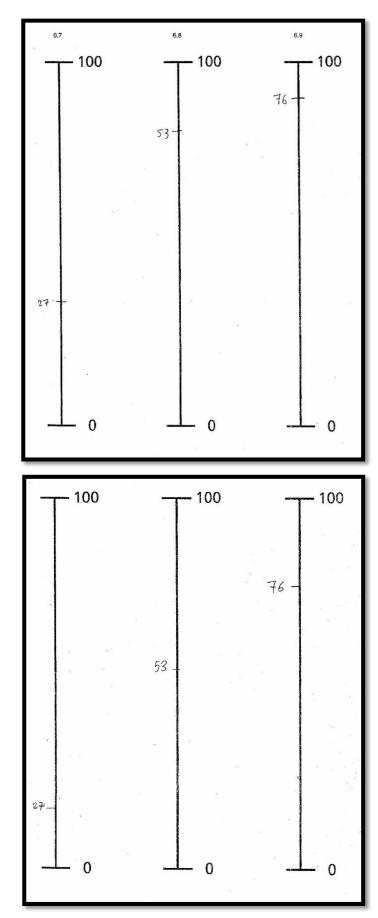


Figure 28 : comparatif des échelles droites vierges du test 1 (en haut) et 2 (en bas) d'Emilie

2.3. Entraînement

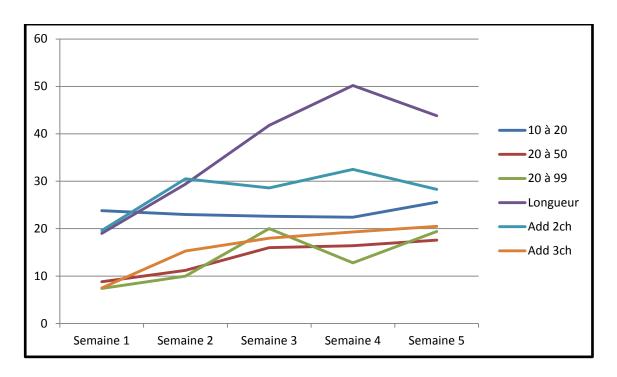


Figure 29: progression des scores d'Emilie pour chaque jeu sur les cinq semaines

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores d'un jeu sont globalement <u>restés stables</u> :
 - Les estimations de quantités 10-20
- Les scores de quatre jeux se sont améliorés :
 - Les estimations de quantités 20-50
 - Les estimations de quantités 20-99
 - Les estimations de résultats d'additions à deux chiffres
 - Les estimations de résultats d'additions à trois chiffres
- Les scores d'un jeu se sont très <u>nettement améliorés</u> :
 - Les estimations de longueurs.

Conclusion:

Comme Amélia, Emilie n'avait pas une représentation de la LNM correcte et souple au test 1 ; elle était très en difficulté dans le domaine du concret (échelles, estimations, etc.) et du symbolique (calcul). En effet, Emilie avait placé le 36 et le 45 de manière incohérente au test 1 de l'échelle courbe (voir figure 28) mais n'a pas refait ces erreurs au second test. On peut donc penser que l'entrainement a construit sa LNM, quelles que soient les conditions d'orientations spatiales (en arc de cercle pour le compteur, en ligne droite ou en ligne courbe) de celle-ci.

L'analyse de la grille de réponse a montré que les estimations s'étaient nettement améliorées dans le domaine du concret (discontinu et continu) mais pas encore dans le symbolique (néanmoins, on ne constate plus d'erreur dans le choix des opérations à réaliser lors des épreuves de calcul). En développant ses capacités dans le domaine concret, Emilie a pu construire sa LNM, ce qui explique qu'elle a été plus performante aux épreuves de placement de nombres et d'estimations. L'entraînement lui a donc permis de développer ses capacités figuratives et de progresser dans le stade concret, en vue d'un passage ultérieur au symbolisme.

II. Résultats par enfant

Les résultats détaillés de chaque enfant sont disponibles en annexe III.

1. Ludivine - fin CM1, 10 ans 1 mois.

1.1. Tests

Tableau 10 : comparatif des résultats de Ludivine par épreuve et en écart-type

	Ecart-type	Ecart-type	Temps	Temps	Temps
	Ludivine test 1	Ludivine test 2	moyen	test 1	test 2
Estimation visuelle	-1	-1			
Quantité contexte	- 0.3	0			
Répétition	- 0.8	-0.8			
Echelles marquées	-0.5	+0.6			
Echelles vierges	+ 0.7	+1			
Comptage rebours	+ 0.7	+0.7			
Calcul mental +	- 2.4	-1	46.9	98	74
Calcul mental –	- 1.4	-1.4	82.2	118	79
Calcul mental x	+0.5	+0.5	14.3	29	20
Compteur vitesse*	-1.4	+0.6			
Calcul écrit arrondi*	-5	-1.6			

^{*}Norme du Numerical pour 9 ans 5 mois

Tableau 11 : comparatif des résultats de Ludivine par épreuve selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle		X			X	
Quantité contexte	X			X		
Répétition	X			X		
Echelles marquées	X			X		
Echelles vierges	X			X		
Comptage rebours	X			X		
Calcul mental +			X		X	
Calcul mental -			X			X
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse			X	X		
Calcul écrit			X		X	
arrondi						

Tableau 12 : Comparatif des résultats de Ludivine aux épreuves personnelles

	Test 1	Test 2	Fourchette des
			scores du groupe
Ecarts	3	4	3-5
Echelle courbe P1	4	4	2-5
Echelle courbe P2	17,5	9,5	36-5
	Estimation	ns PPT	
Quantités discrètes	175	64	175-24
Longueurs	38	9	38-6
Résultats d'additions	339	184	981-0

→ Vitesse significativement supérieure au second test pour les épreuves :

Répétition à l'endroit, échelles vierges, compteur de vitesse, calcul écrit arrondi, calcul mental, estimations de longueurs.

Synthèse des résultats de Ludivine :

Au test 1, Ludivine était particulièrement en difficulté dans le domaine des estimations visuelles (épreuve du Zareki et estimations PowerPoint). On remarque que les épreuves des échelles droites sont réussies, l'épreuve de l'échelle courbe est déjà plus difficile puisqu'elle ne se situe pas parmi les enfants les plus performants, et enfin l'épreuve du compteur de vitesse est très difficile. On peut penser que la LNM de Ludivine est en construction mais qu'elle n'est pas encore manipulable et mobilisable dans des situations d'orientations spatiales diverses. Au second test, les épreuves personnelles montrent qu'elle a nettement amélioré ses capacités d'estimation, même si ce résultat n'est pas confirmé par un meilleur score à l'épreuve du Zareki. On peut corréler cette amélioration à celles des échelles marquées et du compteur de vitesse.

En ce qui concerne le calcul, Ludivine est très en difficulté au test 1. Elle parvient à améliorer nettement ses scores et sa vitesse pour le calcul écrit arrondi ainsi que pour le calcul mental d'additions, mais elle reste encore en difficulté pour les soustractions, probablement à cause d'une mémoire de travail légèrement déficiente, comme le montre l'épreuve de répétition.

1.2. Entraînement

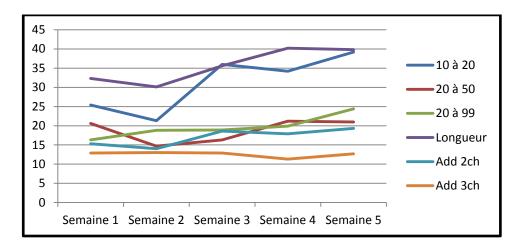


Figure 30 : progression des scores de Ludivine pour chaque jeu sur les cinq semaines.

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores de deux jeux sont globalement restés stables :
 - Les estimations de quantités 20-50
 - Les estimations de résultats d'additions à trois chiffres
- Les scores de trois jeux se sont <u>améliorés</u> :
 - Les estimations de quantités 20-99
 - Les estimations de résultats d'additions à deux chiffres
 - Les estimations de longueurs
- Les scores d'un jeu se sont très nettement améliorés : les estimations 10-20

Conclusion Ludivine:

Le jeu s'étant le plus amélioré est l'estimation de quantités entre 10 et 20. On remarque aussi que les estimations de longueurs ont gagné en précision. Par ailleurs, les résultats des tests montrent que Ludivine a pu poursuivre la construction de sa LNM qui est, au second test, manipulable dans tous les sens. Elle réussit donc beaucoup mieux les épreuves analogiques des échelles et estimations. Très en difficulté dans le domaine du calcul, Ludivine a pu, grâce à l'entraînement de l'estimation de résultats d'additions, améliorer ses performances dans ce domaine, malgré une mémoire de travail qui ne semble pas optimale. En exerçant l'accès aux quantités et à leur représentation symbolique, Ludivine a pu construire sa numération figurative et rentre maintenant clairement dans le symbolisme.

2. Léo – 13 ans 7 mois, 4^{ème}.

2.1. Tests

Tableau 13 : comparatif des résultats de Léo par épreuve et en écart-type

	Ecart-type Léo	Ecart-type Léo	Temps	Temps	Temps
	test 1	test 2	moyen	test 1	test 2
Estimation visuelle	0	0			
Quantité contexte	+ 0.5	+0.5			
Répétition	+ 0.2	+1			
Echelles marquées	+ 0.6	+0.6			
Echelles vierges	+ 0.3	+0.7			
Comptage rebours	- 1.4	+0.7			
Calcul mental +	+ 0.4	-2	46.9	76	80
Calcul mental –	+ 1.3	-2	82.2	105	71
Calcul mental x	+ 0.6	+0.6	14.3	22	20
Compteur vitesse	+0.6	+0.6			
Calcul écrit arrondi	+7	-13			

NB : L'étalonnage est basé sur les dernières normes du Zareki, pour 11 ans 6 mois, et du Numerical, pour 9 ans 5 mois.

Tableau 14 : comparatif des résultats de Léo par épreuve selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle	X			X		
Quantité contexte	X			X		
Répétition	X			X		
Echelles marquées	X			X		
Echelles vierges	X			X		
Comptage rebours			X	X		
Calcul mental +	X					X
Calcul mental -	X					X
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse	X			X		
Calcul écrit	X					X
arrondi						

Tableau 15 : Comparatif des résultats de Léo aux épreuves personnelles

	Test 1	Test 2	Fourchette des
			scores du groupe
Ecarts	4	5	3-5
Echelle courbe P1	3	3	2-5
Echelle courbe P2	11.5	9	36-5
	Estimation	is PPT	
Quantités discrètes	54	64	175-24
Longueurs	11	9	38-6
Résultats d'additions	204	233	981-0

→ Vitesse significativement supérieure au second test pour les épreuves :

Echelles vierges, écarts, calcul écrit arrondi, estimations PowerPoint (toutes les épreuves)

→ Vitesse significativement inférieure au second test pour les épreuves :

Compteur de vitesse

Synthèse des résultats de Léo:

Au test 1, les scores des épreuves le situent globalement dans la norme d'enfants de deux ans de moins que lui. On remarque aussi que les épreuves des échelles droites sont réussies mais que celle de l'échelle courbe est plus difficile. De même, la performance au compteur de vitesse le situe dans la norme des enfants de 4 ans de moins que lui. On peut donc considérer que Léo est en difficulté en ce qui concerne la chaîne numérique mentale. De plus, le comptage à rebours est nettement échoué, ce qui montre que cette chaîne n'est pas totalement manipulable.

Notons que Léo est pris en charge pour des difficultés d'attention et de mémoire de travail. On retrouve ces troubles à travers la variation des performances en répétition, (entre le test 1 et 2) et plus généralement dans le manque global de concentration dont a fait preuve Léo au second test, et qui peut en partie expliquer la chute des performances. On remarque que les performances du domaine analogique ont peu évolué.

2.2. Entraînement

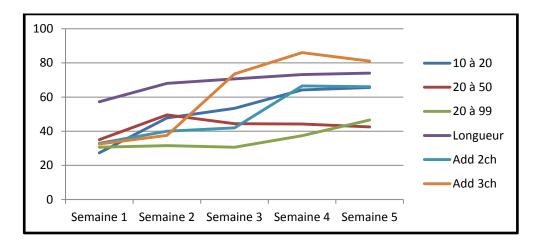


Figure 31 : progression des scores de Léo pour chaque jeu sur les cinq semaines.

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores d'un jeu sont globalement restés stables :
 - Les estimations de quantités 20-50
- Les scores de deux jeux se sont <u>améliorés</u> :
 - Les estimations de quantités 20-99
 - Les estimations de longueurs
- Les scores de trois jeux se sont très nettement améliorés :
 - Les estimations de quantités 10-20
 - Les estimations de résultats d'additions à trois chiffres
 - Les estimations de résultats d'additions à deux chiffres

Conclusion Léo:

Léo a beaucoup amélioré ses performances aux jeux de l'entraînement, en particulier dans le domaine du symbolique (additions) mais aussi dans les bases du domaine figuratif (10-20). Cependant, ces progrès ne sont pas toujours visibles dans les résultats des tests, probablement masqués par un déficit d'attention qui a perturbé Léo. Nous avons pu constater au test 1 qu'il n'avait pas construit une LNM vraiment flexible puisque le comptage à rebours ainsi que le compteur de vitesse et l'échelle courbe n'étaient pas réussis. En revanche, nous n'avons pas pu constater d'amélioration nette de sa représentation mentale des nombres.

3. Thibaut – 11 ans, CM2

3.1. Tests

Tableau 16 : comparatif des résultats de Thibaut par épreuve et en écart-type

	Ecart-type	Ecart-type	Temps	Temps	Temps
	Thibaut test 1	Thibaut test 2	moyen	test 1	test 2
Estimation visuelle	- 1	- 1			
Quantité contexte	- 2.4	-1.1			
Répétition	+ 1.3	+1			
Echelles marquées	+ 0.6	-0.5			
Echelles vierges	- 0.1	-0.2			
Comptage rebours	+ 0.7	-1.4			
Calcul mental +	+0.1	-0.2	46.9	89	78
Calcul mental –	+1	+1.6	82.2	115	94
Calcul mental x	+0.5	+0.5	14.3	20	16
Compteur vitesse*	-1.7	+0.4			
Calcul écrit arrondi*	-3	+7			

^{*}Norme du Numerical pour 9 ans 5 mois

Tableau 17 : comparatif des résultats de Thibaut par épreuve selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle		X			X	
Quantité contexte			X		X	
Répétition	X			X		
Echelles marquées	X			X		
Echelles vierges	X			X		
Comptage rebours	X				X	
Calcul mental +	X			X		
Calcul mental -	X			X		
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse			X	X		
Calcul écrit arrondi			X	X		

Tableau 18 : comparatif des résultats de Thibaut aux épreuves personnelles

	Test 1	Test 2	Fourchette des
			scores du groupe
Ecarts	4	5	3-5
Echelle courbe P1	3	3	2-5
Echelle courbe P2	8.5	10	36-5
	Estimation	ns PPT	
Quantités discrètes	31	28	175-24
Longueurs	14	10	38-6
Résultats d'additions	374	125	981-0

→ Vitesse significativement supérieure au second test pour les épreuves :

Répétition à l'endroit (mais score diminué car Thibaut s'est un peu précipité), échelles droites vierges, échelle courbe partie 2, compteur de vitesse, calcul mental (surtout pour les soustractions), estimations Powerpoint de quantités discrètes.

Synthèse des résultats de Thibaut

Au test 1, on voit que Thibaut est en difficulté dans plusieurs domaines analogiques : l'estimation visuelle, l'estimation de quantité en contexte, les estimations de résultats d'additions, l'échelle courbe et le compteur de vitesse. En revanche, le calcul est globalement réussi, à l'exception du calcul écrit arrondi pour lequel Thibaut n'a pas vu que les derniers items étaient des soustractions, et non plus des additions. Il est intéressant de noter que Thibaut est l'enfant du groupe qui a la plus longue durée de prise en charge orthophonique. On constate qu'il a acquis des techniques de calcul qui lui ont permis de réussir les épreuves mais qu'en revanche, le déficit de « sens du nombre » est bien présent puisque beaucoup d'épreuves analogiques sont échouées.

Au test 2, Thibaut a amélioré sa performance à l'épreuve du compteur de vitesse et aux écarts ainsi qu'aux estimations de longueurs, ce qui montre une meilleure représentation mentale des nombres, même s'il n'est pas encore capable de la mobiliser sur l'échelle courbe (dont le score a peu évolué). On remarque aussi une nette amélioration de l'estimation de résultats d'additions, pour laquelle Thibaut a fait moins d'erreurs : il a pu appliquer une réelle stratégie d'estimation alors qu'au premier test il cherchait à calculer exactement le résultat et faisait des erreurs plus importantes. Enfin, sa vitesse s'est améliorée dans de nombreuses épreuves, ce qui témoigne d'une facilité croissante à mobiliser les nombres et leurs représentations.

3.2. Entraînement

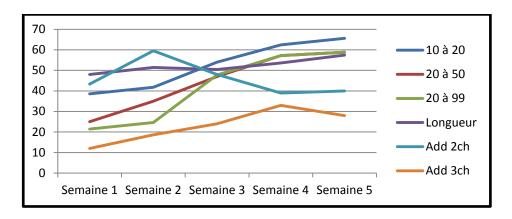


Figure 32: progression des scores de Thibaut pour chaque jeu sur les cinq semaines.

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores de cinq jeux se sont <u>très nettement améliorés</u> :
 - Les estimations de quantités 10-20
 - Les estimations de quantités 20-50
 - Les estimations de quantités 20-99
 - Les estimations de longueurs
 - Les estimations de résultats d'additions à trois chiffres
- Les scores d'un jeu ont fortement fluctué : les estimations de résultats d'additions à deux chiffres

Conclusion Thibaut:

Thibaut fait partie des enfants ayant amélioré le plus grand nombre de jeux. En effet, seule l'estimation de résultats d'additions à deux chiffres a fluctué (probablement car il a hésité entre utiliser un calcul exact - technique rassurante mais pas toujours efficace - et l'estimation). Ces améliorations concernent le domaine concret (quantités discrètes, longueurs) et symbolique (additions). Par ailleurs, on a vu que la performance aux épreuves analogiques des tests s'améliorait. On peut donc penser que l'entraînement lui a permis de consolider sa LNM et de mettre du sens sur les symboles dont il maîtrisait la manipulation mais pas la signification (valeur quantitative du nombre).

4. Ariel – 9 ans, CM1

4.1. Tests

Tableau 19 : comparatif des résultats d'Ariel par épreuve et en écart-type

	Ecart-type	Ecart-type	Temps	Temps	Temps
	Ariel test 1	Ariel test 2	moyen	test 1	test 2
Estimation visuelle	0	0			
Quantité contexte	+ 0.5	+1.2			
Répétition	- 0.6	0			
Echelles marquées	+ 0.6	+ 0.6			
Echelles vierges	- 1.3	+0.7			
Comptage rebours	- 1	+1			
Calcul mental +	+ 0.7	-1.4	55.9	92	108
Calcul mental –	- 0.8	-0.3	111.8	151	118
Calcul mental x	- 3	-1	24.2	29	40
Compteur vitesse	+0.6	+0.6			
Calcul écrit arrondi	-6	+0.3			

Tableau 20 : comparatif des résultats d'Ariel par épreuve selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle	X			X		
Quantité contexte	X			X		
Répétition	X			X		
Echelles marquées	X			X		
Echelles vierges		X		X		
Comptage rebours		X		X		
Calcul mental +	X				X	
Calcul mental -	X			X		
Calcul mental x			X		X	
Compteur vitesse	X			X		
Calcul écrit			X	X		
arrondi						

Tableau 21 : Comparatif des résultats d'Ariel aux épreuves personnelles

	Test 1	Test 2	Fourchette des
			scores du groupe
Ecarts	5	5	3-5
Echelle courbe P1	2	3	2-5
Echelle courbe P2	27	16.5	36-5
	Estimation	ns PPT	
Quantités discrètes	82	83	175-24
Longueurs	9	8	38-6
Résultats d'additions	183	75	981-0

→ Vitesse significativement supérieure au second test pour les épreuves :

Echelle courbe (surtout la partie 2), calcul mental : soustractions

→ Vitesse significativement inférieure au second test pour les épreuves :

Répétition de chiffres, estimations PowerPoint (résultats d'additions)

Synthèse des résultats d'Ariel

Au test 1, Ariel échoue aux épreuves de placement de nombres, quelle que soit l'orientation spatiale de la ligne proposée (échelles droites vierges et échelle courbe partie 2) mais pas aux épreuves des échelles droites marquées ; ce qui montre qu'Ariel est performant lorsqu'il dispose d'un indiçage (y compris les graduations déjà inscrites du compteur de vitesse) mais plus lorsqu'il s'agit d'évoquer la LNM pour placer un nombre sur une échelle vierge. De plus, sa représentation de la chaîne numérique semble assez figée puisque l'échelle courbe partie 1 (choix d'un nombre à placer parmi d'autres), est échouée, alors qu'en ligne droite elle est réussie. On peut donc penser que la construction ou l'accès à la chaîne numérique est difficile pour Ariel. Par ailleurs, les performances en calcul sont hétérogènes : le calcul mental est réussi (même si on peut penser qu'un léger déficit de la mémoire de travail ou de l'attention l'empêche(nt) de réaliser les soustractions et de mémoriser les tables de multiplication de façon parfaite), mais le calcul écrit arrondi est totalement échoué.

Au test 2, on note une amélioration des épreuves où Ariel était en difficulté, en particulier dans les tâches de placement de nombres. Le calcul écrit s'est normalisé et en parallèle, l'estimation de résultats d'additions a aussi nettement progressé.

4.2. Entraînement

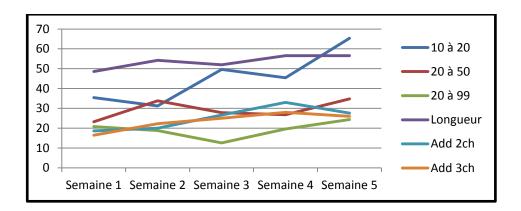


Figure 33: progression des scores d'Ariel pour chaque jeu sur les cinq semaines.

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores d'un jeu sont globalement <u>restés stables</u> : les estimations de quantités 20-99
- Les scores de quatre jeux se sont améliorés :
 - Les estimations de quantités 20-50
 - Les estimations de longueurs
 - Les estimations de résultats d'additions à deux et trois chiffres
- Les scores d'un jeu se sont <u>très nettement améliorés</u> : les estimations de quantités 10-20

Conclusion Ariel:

On voit que le jeu d'estimations de quantités 10-20 a très nettement progressé. On peut supposer qu'en appréhendant mieux les quantités entre 10 et 20, Ariel a pu construire la LNM pour ces quantités et ensuite la mobiliser pour améliorer sa performance dans toutes les tâches de placement de nombres. En améliorant ses estimations de longueurs, il a aussi pu dissocier correctement les « uns » et faciliter la segmentation des échelles qui lui ont ensuite été proposées. Par ailleurs, On remarque que les estimations d'additions se sont aussi améliorées, dans l'entraînement mais aussi dans l'épreuve PPT. En parallèle, le calcul écrit arrondi s'est normalisé. On peut faire l'hypothèse qu'en améliorant sa capacités à estimer le résultat d'une addition, c'est-à-dire à pouvoir identifier rapidement un ordre de grandeur, Ariel a pu améliorer sa performance au calcul écrit arrondi qui utilise cette notion d'ordre de grandeur. En ce qui concerne les variations de performances à l'épreuve de calcul mental, on peut penser qu'elles confirment un déficit de mémoire de travail ou d'attention.

5. Irène – 10 ans 8 mois, CM2

5.1. Tests

Tableau 22 : comparatif des résultats d'Irène par épreuve et en écart-type

	Ecart-type Irène test 1	Ecart-type Irène test 2	Temps moyen	Temps test 1	Temps test 2
Estimation visuelle	0	+1	•		
Quantité contexte	-0.75	-0.75			
Répétition	-0.5	+1			
Echelles marquées	+0.6	+0.6			
Echelles vierges	-0.6	+0.9			
Comptage rebours	-2.5	-1.4			
Calcul mental +	+0.4	+0.4	46.9	89	55
Calcul mental –	-2.6	-2.3	82.2	204	132
Calcul mental x	-0.5	-0.5	14.3	71	60
Compteur vitesse*	-1.7	-1.7			
Calcul écrit arrondi*	-0.6	+0.3			

^{*}Norme du Numerical pour 9 ans 5 mois

Tableau 23 : comparatif des résultats d'Irène par épreuve selon l'étalonnage

	Test 1				Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle	X			X		
Quantité contexte	X			X		
Répétition	X			X		
Echelles marquées	X			X		
Echelles vierges	X			X		
Comptage rebours			X		X	
Calcul mental +	X			X		
Calcul mental -			X			X
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse			X			X
Calcul écrit arrondi		X		X		

Tableau 24 : Comparatif des résultats d'Irène aux épreuves personnelles

	Test 1	Test 2	Fourchette des
			scores du groupe
Ecarts	4	5	3-5
Echelle courbe P1	3	3	2-5
Echelle courbe P2	36	19	36-5
	Estimation	is PPT	
Quantités discrètes	113	33	175-24
Longueurs	12	6	38-6
Résultats d'additions	330	199	981-0

→ Vitesse significativement supérieure au second test pour les épreuves :

Echelle droite vierge (deux entrées), échelle courbe : partie 2, comptage à rebours, calcul mental, estimations PowerPoint (longueurs et résultats d'additions).

Synthèse des résultats d'Irène:

On remarque d'abord au test 1 qu'Irène est très en difficulté dans les estimations PPT et à la limite de la difficulté dans les estimations de quantités en contexte. Il semble que tout le domaine analogique soit perturbé car les épreuves de l'échelle courbe et du compteur de vitesse sont échouées. Quant aux lignes droites vierges, plus conventionnelles et plus entraînées dans le domaine scolaire, elles sont dans la limite basse de la norme. On remarque aussi que le comptage à rebours est échoué. Globalement, Irène présente donc un trouble très important du domaine analogique et figuratif. En ce qui concerne le calcul mental il est dans la norme lorsqu'il s'agit d'additions mais très en dessous pour les soustractions. Notons que cette épreuve lui a demandé beaucoup plus de temps que la moyenne des enfants de son âge. Enfin, le calcul écrit arrondi est aussi difficile.

Au test 2, on remarque que globalement, les épreuves analogiques ont toutes progressé. La qualité des estimations s'est très nettement améliorée dans tous les domaines, et les tâches de placement de nombre sont meilleures aussi (nette amélioration de la précision à l'échelle courbe partie 2). Le score du compteur de vitesse ne varie pas mais on note une amélioration qualitative puisqu'Irène a réparti de façon plus cohérente et adaptée les vitesses proposées. Le comptage à rebours a aussi progressé. Le calcul écrit arrondi s'est amélioré, même s'il reste encore difficile, et les vitesses de calcul mental ont très nettement augmenté.

On constate ainsi des progrès importants dans le domaine figuratif (Irène a développé sa LNM) mais aussi dans le domaine symbolique.

5.2. Entraînement

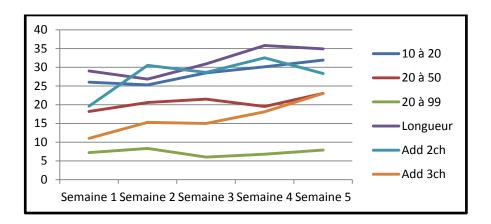


Figure 34 : progression des scores d'Irène pour chaque jeu sur les cinq semaines.

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores d'un jeu sont globalement restés stables : les estimations de quantités 20-99
- Les scores d'un jeu se sont <u>améliorés</u> : les estimations de quantités 20-50
- Les scores de quatre jeux se sont <u>très nettement améliorés</u> :
 - Les estimations de quantités 10-20
 - Les estimations de longueurs
 - Les estimations de résultats d'additions à trois chiffres
 - Les estimations de résultats d'additions à deux chiffres

Conclusion Irène:

L'analyse de la grille d'entraînement montre qu'Irène a réalisé des progrès dans de nombreux jeux. Elle a ainsi développé sa perception des petites quantités discrètes, même si pour l'instant les plus grandes fourchettes (20-50 et surtout 20-99) sont encore difficiles à appréhender pour elle. Elle a donc progressé dans le domaine du concret (quantités discrètes, longueurs) mais aussi dans le domaine du symbolique (résultats d'additions), confirmant les résultats obtenus aux tests. Cette cohérence entre les domaines améliorés à l'entraînement et aux tests nous laisse penser que le programme a contribué à construire les capacités dont Irène s'est servi pour être plus performante au second test.

6. Mathieu – 9 ans, CM1

6.1. Tests

Tableau 25 : comparatif des résultats de Mathieu par épreuve et en écart-type

	Ecart-type Mathieu test 1	Ecart-type Mathieu test 2	Temps moyen	Temps test 1	Temps test 2
Estimation visuelle	0	0			
Quantité contexte	-2.4	-1.1			
Répétition	-0.1	-0.1			
Echelles marquées	+0.6	+0.6			
Echelles vierges	+0.1	+0.6			
Comptage rebours	+0.6	+0.6			
Calcul mental +	-1.7	-2.4	46.9	143	128
Calcul mental –	impossible	impossible	82.2	-	•
Calcul mental x	+0.5	+0.5	14.3	22	20
Compteur vitesse	-1.7	-1.1			
Calcul écrit arrondi	+0.3	+7			

Tableau 26 : comparatif des résultats de Mathieu par épreuve selon l'étalonnage

		Test 1			Test 2	
Résultats	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté
Estimation visuelle	X			X		
Quantité contexte			X		X	
Répétition	X			X		
Echelles marquées	X			X		
Echelles vierges	X			X		
Comptage rebours	X			X		
Calcul mental +			X			X
Calcul mental -			X			X
Calcul mental x	X			X		
Compteur vitesse			X		X	
Calcul écrit	X			X		
arrondi						

Tableau 27 : Comparatif des résultats de Mathieu aux épreuves personnelles

	Test 1	Test 2	Fourchette des
			scores du groupe
Ecarts	3	5	3-5
Echelle courbe P1	2	4	2-5
Echelle courbe P2	8	5	36-5
	Estimation	ns PPT	
Quantités discrètes	69	49	175-24
Longueurs	13	10	38-6
Résultats d'additions	275	141	981-0

→ Vitesse significativement supérieure au second test pour les épreuves :

Calcul écrit arrondi, estimations PowerPoint (quantités discrètes et résultats d'additions)

Synthèse des résultats de Mathieu

Au test 1, Mathieu montre des résultats hétérogènes. Dans le domaine analogique, il réussit les épreuves des échelles droites et également la partie 2 de l'échelle courbe. Ses estimations visuelles sont donc, globalement, de bonne qualité. En revanche, dès qu'il s'agit d'associer une valeur sémantique au nombre, Mathieu se trouve en difficulté. Il échoue ainsi au compteur de vitesse, à la partie 1 de l'échelle courbe mais aussi aux quantités en contexte et aux écarts pour lesquels il reste figé à la valeur absolue des nombres présentés, ne tenant pas compte du contexte ou de la consigne. Il semble ainsi plaquer des connaissances qui lui permettent de réaliser correctement les épreuves les plus « faciles » (échelles droites). De même, on constate dans les épreuves de calcul une différence entre le calcul mental, totalement échoué, et le calcul écrit arrondi. Pour cette dernière épreuve, Mathieu a utilisé des techniques apprises et maîtrisées qui lui ont permis de réussir l'épreuve. En revanche, malgré une mémoire de travail fonctionnelle, il n'a pas réussi le calcul mental pour lequel il a parfois donné des résultats totalement incohérents.

Au second test, on constate une amélioration du compteur de vitesse, de l'estimation en contexte, des écarts, de la partie 1 de l'échelle courbe et des estimations PPT. Le calcul mental d'additions est aussi meilleur (même si le score reste inchangé), puisque Mathieu n'a plus donné de réponse incohérente; ses erreurs, plus habituelles, portaient sur des difficultés de réalisation des algorithmes.

6.2. Entraînement

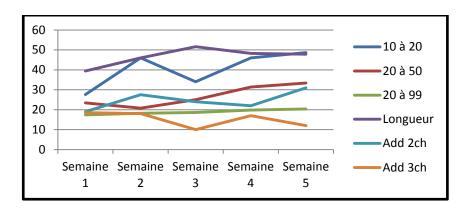


Figure 35 : progression des scores de Mathieu pour chaque jeu sur les cinq semaines.

Les scores ont évolué différemment :

- Les scores de deux jeux sont globalement <u>restés stables ou ont légèrement diminués</u> :
 - Les estimations de quantités 20-99
 - Les estimations de résultats d'additions à trois chiffres
- Les scores de quatre jeux se sont <u>nettement améliorés</u> :
 - Les estimations de quantités 20-50
 - Les estimations de quantités 10-20
 - Les estimations de longueurs
 - Les estimations de résultats d'additions à deux chiffres

Conclusion Mathieu

L'entraînement montre une amélioration des performances dans les domaines concrets et symboliques, surtout en ce qui concerne les plus petites quantités. Pour l'instant, Mathieu a encore du mal à appréhender les grandes quantités. Par ailleurs, on constate dans l'analyse des tests que Mathieu, qui semblait jusque-là utiliser des techniques compensatoires acquises, commence à développer une représentation sémantique des nombres. L'entraînement, en proposant la manipulation des quantités et en favorisant le lien entre celles-ci et son symbole, a permis à Mathieu de mieux se représenter les nombres, ce qui explique que les tâches faisant appel au « sens du nombre » (compteur de vitesse, estimations) soient mieux réalisées.

III. Résultats par épreuve

Nous ne détaillerons ici que les résultats du **groupe cible**, ceux du groupe témoin seront précisés un peu plus loin. Les analyses présentées sont à la fois qualitatives (observations des comportements, des stratégies et des erreurs, qualification des amplitudes d'amélioration) et quantitatives (les améliorations significatives constatées par rapport à l'étalonnage sont résumées en fin de paragraphe).

1. Estimations visuelles de quantités

Les scores de cette épreuve varient entre 3 et 5 (le maximum). On note que la totalité des sujets a obtenu le même score au second test qu'au premier, c'est-à-dire que les trois sujets qui ont obtenu un score de 3 au premier test sont les mêmes qui ont obtenu un score de 3 au second test. Cette épreuve n'a évolué pour aucun sujet.

Nous avons pu remarquer deux types de comportements : soit l'enfant est sûr de lui et la brièveté du temps de présentation ne le gêne pas ; soit il hésite, cherche à dénombrer et n'ose pas donner un résultat approximatif.

Il est intéressant de constater que sur les 7 sujets n'ayant pas obtenus le score maximal, 6 ont eu tendance à sous-estimer les quantités proposées. Si les scores sont identiques au second test pour tous, on ne retrouve pas forcément cette tendance à la sous-estimation au second test puisque pour les trois sujets ayant fait deux « erreurs », les quantités étaient tantôt sous-estimées, tantôt surestimées.

2. Estimations de quantités en contexte

Les scores varient (sur l'ensemble des deux tests) de 2 à 10 (maximum). Contrairement à l'épreuve précédente, seul deux sujets ont conservé le même score au second test.

Tableau 28 : Effectif par amplitude d'amélioration – épreuve d'estimations de quantités en contexte

	Diminution du score	Score identique	Amélioration de 1 point	Amélioration de 2 points	Amélioration de + de 2 points
Effectif	0	2	1	2	3

Nous avons pu observer que certains enfants ne tenaient pas du tout compte du contexte. Leur attention était focalisée sur la valeur absolue du nombre et son cardinal qu'ils ne mettaient pas en relation avec l'énoncé proposé. Ainsi, « quatre réfrigérateurs dans une cuisine » induit la réponse « peu » car quatre est considéré par le sujet comme un petit nombre. De même, « quinze mots dans un livre » est annoncé comme « moyen/normal » car 15 est compris comme un nombre moyen (ni petit ni grand). On voit bien que dans ce cas-là, l'enfant ne passe pas par la représentation de la situation comme nous pouvons le faire. Le nombre est ici dans une représentation unique et il est difficile de le mettre en relation avec un contexte.

Il serait intéressant de mettre en lien les résultats de cette épreuve avec la construction de la notion de sériation. En effet, on peut penser que l'enfant qui considère le 15 comme « moyen » quelle que soit la situation et qui considère donc sa valeur comme absolue et non relative, aura une faible capacité de sériation. Dans l'épreuve des baguettes de Piaget, on peut supposer qu'il qualifiera alors un bâton comme « petit, moyen ou grand » sans le mettre en relation avec les autres comme on peut s'y attendre lorsque la notion de sériation est construite (l'enfant verbalise alors par « il est *plus grand que* celui-ci mais *plus petit que* celui-là » ou bien « c'est *le plus* petit » et non plus « il est petit »).

3. Répétition

L'épreuve de répétition avait pour objectif de détecter un éventuel déficit mnésique, en particulier de la mémoire de travail. Notre entraînement n'avait pas pour ambition d'améliorer cette mémoire. Nous avons utilisé les normes du Zareki-R pour mieux cerner notre population.

L'ensemble des sujets se situe dans la norme pour cette épreuve. Les écarts à la norme sont mineurs (entre -0.6 et +1,3).

4. Comptage à rebours

Les scores de cette épreuve vont de 1 à 4 (le maximum) sur l'ensemble des deux tests.

Tableau 29 : effectif par progression du score – épreuve de comptage à rebours

	Score diminué	Score stable	Score augmenté de 2 points
Effectif	2	4 (3 ont obtenu le score maximal)	2

En majorité, les erreurs portent sur le passage à la dizaine inférieure. Le nombre rond de la dizaine peut être supprimé (« 21, 19 »), ou bien le passage entraîne une inversion de sens (« 61, 60, 61 »). Le reste est souvent bien énoncé.

Parfois, c'est la représentation figée de la chaîne numérique qui gêne sa manipulation. Pas encore bidirectionnelle, il est difficile de la manipuler dans les deux sens (cf cas d'Amélia). Les nombres sont alors énoncés lentement et au prix d'un effort important.

5. Calcul écrit arrondi

Les scores de cette épreuve vont de 1 à 8 (le maximum).

Tableau 30 : effectif par progression du score - épreuve de calcul écrit arrondi

	Score diminué	Score stable	Amélioration de 1 point	Amélioration de 2 points	Amélioration de 3 points et plus
Effectif	1	0	2	2	3

Plusieurs enfants ont appliqué des techniques scolaires de calcul, beaucoup ont ainsi inscrit leur résultat en commençant par le chiffre le plus à droite, certainement parce qu'ils ont additionné (ou soustrait) progressivement les chiffres de chaque terme, sans tenir compte de l'ensemble. Une enfant n'a pas pu réaliser ces opérations de tête, elle a dû les poser. Deux autres n'ont pas remarqué qu'il y avait des soustractions et n'ont réalisé que des additions. Globalement, on remarque que ces enfants en difficulté cherchent à se sécuriser en appliquant des techniques scolaires sans tenir compte du sens du nombre, de son cardinal, ce qui aboutit souvent (si les techniques sont mal maîtrisées) à un résultat final impossible et incohérent.

6. Calcul mental

Pour les additions, les scores vont de 6 à 16 (maximum). Pour les soustractions, ils vont de 2 à 16, et pour les multiplications (tables) : de 3 à 12.

Tableau 31 : effectif par progression du score - épreuve de calcul mental

	Score	Score	Amélioration	Amélioration de 3
	diminué	stable	de 2 points	points et plus
Additions	4	1	2	1
Soustractions	2	3	3	0
Multiplications	0	7 (max)	0	1

Nous ne détaillerons pas toutes les stratégies de calcul utilisées mais on retiendra qu'elles sont souvent assez primaires : comptage sur les doigts, surcomptage à partir d'un terme, comptage à rebours ...

7. Compteur de vitesse

Les scores vont de 0 à 8 (le maximum).

Tableau 32 : effectif par progression du score - épreuve du compteur de vitesse

	Score	Score stable	Amélioration	Amélioration	Amélioration
	diminué		de 1 point	de 2 points	de 3 points
					et plus
Effectif	0	4	0	2	2

8. Ecarts

Les scores vont de 3 à 5 (le maximum).

Tableau 33 : effectif par progression du score - épreuve des écarts

	Score	Score	Amélioration	Amélioration	Amélioration
	diminué	stable	de 1 point	de 2 points	de 3 points et
					plus
Effectif	0	2 (max)	4	2	0

Même lorsque nous avons réexpliqué la consigne et corrigé l'exemple, certains enfants se sont fiés au cardinal des nombres présentés, comme lors de l'épreuve « Estimation de quantités en contexte ». Ils n'ont pas tenu compte de la notion d'écarts et ont répondu en choisissant la paire qui contenait le nombre le plus important. Par exemple, à la question « il y a plus d'écart entre 95 et 78 ou bien entre 69 et 32 ? » ils choisissaient sans hésitation la 1ère paire.

Les enfants ayant bien réussi cette épreuve ont montré peu de signes d'hésitation et ont dit avoir « calculé » en se basant sur les chiffres de gauche (dizaines ou centaines).

9. Echelles droites

Tableau 34 : effectif par progression du score - épreuve des échelles droites

	Score	Score	Amélioration	Amélioration de
	diminué	stable	de 0.5 à 1.5	2 points et plus
			points	
Marquée, entrée	1	6 (dont 5	0	1
auditive		max)		
Marquée, entrée écrite	0	7 (max)	0	1
Vierge, entrée auditive	1	3	1	3
Vierge, entrée écrite	1	1	4	2

En ce qui concerne les échelles marquées, on remarque que les scores maximum sont souvent atteints, dès le premier test. Les enfants sont souvent sûrs d'eux. Pour ce qui est des échelles vierges, nous avons observé plusieurs comportements. Certains enfants sont très hésitants et prennent leur temps, allant jusqu'à démarrer une graduation arbitraire qui part de 0 (sans tenir compte du 100). Dans ce cas-là, le nombre placé n'est pas mis en comparaison avec les deux extrêmes.

D'autres, au contraire, s'écartent de la feuille et visualisent la longueur du segment qu'ils coupent ensuite selon leur représentation pour arriver à placer le nombre demandé. Parfois, les enfants s'aident de l'échelle précédente pour comparer, mais la grande majorité considère chaque échelle comme individuelle. Par exemple, certains ont mis sur la seconde échelle le 53 puis sur la troisième le 76 au même niveau sans s'en rendre compte.

10. Echelle courbe

Pour la partie 1, les scores vont de 2 à 4. Pour la partie 2, ils vont de 7.5 à 34 (cf description de l'épreuve pour le calcul du score).

Tableau 35 : effectif par progression du score - épreuve de l'échelle courbe

	Perf.	Perf. stable	Amélioration	Amélioration	Amélioration
	diminuée		de 2 à 5	de 5 à 10	de plus de 10
			points	points	points
Partie 1:	0	6	2	-	-
choix					
multiple					
Partie 2 :	1	0	2	1	4
placement					

Partie 1 : Il est intéressant de noter que le plus grand nombre d'erreurs concerne le choix n°4 (choix entre 82, 100 et 210) ; c'est toujours le 82 qui a été choisi à la place du 100. Le dernier nombre-repère étant le 78, on peut penser que beaucoup d'enfants se sont basés sur le chiffre des dizaines pour faire leur choix. En effet, ils ont estimé la dizaine « 80 » comme celle juste après la dizaine « 70 » et ont peut-être pensé 100 comme étant beaucoup trop grand. Pour choisir la bonne réponse (le 100), il faut considérer qu'entre 82 et 78 il n'y a que 4 et qu'il est donc impossible, au vu de la distance proposée sur l'échelle courbe, que le 82 soit la bonne réponse.

Le choix n° 1 a aussi posé des difficultés mais les erreurs sont réparties entre le 8 et le 20 (la bonne réponse étant 12). Certains choix (32 et 52) ont été bien réussis, certainement grâce à la proximité spatiale (sur l'échelle) avec un nombre repère placé (le 35 et le 58).

Partie 2 : Nous avons retrouvé chez deux enfants l'utilisation d'une graduation arbitraire, en particulier pour le placement du 7. Ils partaient du 2 et graduaient au hasard pour arriver jusqu'au 7, sans tenir compte de l'autre borne. On peut penser que ces deux enfants ont considéré le 7 comme « grand » par rapport à 2 et n'ont pas cherché à le replacer dans la suite numérique dans laquelle la valeur de chaque nombre est relative à celle des autres. C'est ici la construction de sériation qui semble être absente.

On remarque aussi qu'au premier test, trois enfants ont placé le 36 à droite du 35 (dans le sens conventionnel gauche droite pour l'ordre croissant), ne tenant pas compte du sens de l'échelle. Aucun d'eux n'a refait cette erreur au second test.

11. Estimations PowerPoint

Pour les quantités discrètes, les scores vont de 175 à 24 (rappel : plus le score est bas, meilleure est la performance). Pour les longueurs, ils vont de 38 à 7. Pour les additions, ils vont de 981 à 0.

Tableau 36 : effectif par progression du score - épreuve de l'estimation PowerPoint

	Perf.	Perf.	Amélioration	Amélioration	Amélioration	Amélioration
	diminuée	stable	de 1 à 10	de 11 à 20	de 21 à 60	de plus de 60
			points			points
Quantités discrètes	2	1	1	1	1	2
Longueurs	1	1	4	2	0	0
Additions	2	0	0	1	0	5

En ce qui concerne les quantités discrètes, on relève des équilibres différents entre vitesse et précision. Certains enfants regardent assez longuement chaque diapo et d'autres donnent une réponse immédiate mais ce n'est pas parce qu'ils sont plus rapides que leur estimation est moins précise. Nous n'avons pas observé de corrélation entre le temps de réponse et la précision de l'estimation.

L'estimation de longueurs semble la plus réussie. Les écarts entre les réponses des enfants et la réponse exacte ne dépassent jamais 3. On remarque au premier test (pour l'enfant la plus en difficulté) un recours aux doigts pour matérialiser la mesure-étalon : l'enfant a approché le pouce et l'index de l'écran et s'en est servi pour reporter la mesure étalon et donner son résultat final. Au second test, cette stratégie n'était plus présente chez cette enfant qui a obtenu l'amélioration la plus importante des scores à cette épreuve (elle passe de 38 à 9 points).

Enfin, l'estimation de résultats d'additions nous a permis d'observer deux types d'enfants. Les premiers vont chercher à calculer de façon exacte et de tête l'addition proposée puis à en donner le résultat à l'oral, avant de le placer sur la ligne numérique affichée. On obtient alors de bons scores car le calcul est précis mais l'enfant n'utilise pas l'estimation car il n'en est pas capable ou il n'ose pas le faire ; il prend donc beaucoup de temps pour réaliser l'ensemble des opérations proposées. Cette stratégie a majoritairement été utilisée lors du premier test.

Les seconds sujets vont réussir à estimer globalement le résultat de l'addition (souvent en additionnant les chiffres des unités les plus grandes) pour avoir un ordre de grandeur. Dans ce cas-là, les enfants n'énoncent pas le résultat à l'oral mais montrent directement sur la ligne numérique le résultat en disant souvent : « c'est par là ». Les scores sont alors un peu moins bons en termes de précision mais le temps de réalisation de l'épreuve est nettement diminué. Notons donc que la prise en compte du temps et de la stratégie employée est donc capitale dans l'analyse de cette épreuve ; les scores pris isolément ne sont pas informatifs. Minoritaire au premier test, cette stratégie a été utilisée de façon beaucoup plus systématique après l'entraînement.

12. Le temps

Tableau 37 : analyse du facteur temps pour chaque épreuve et pour l'ensemble du groupe cible

			Vites	se	
	Inférieure	Stable	Légère	Nette	Augmentation majeure
Estimation visuelle		7	1		
Quantités contexte	3	4	1		
Echelles droites					
marquées	1	5		2	
Echelles droites vierges		2		4	2
Echelle courbe partie 1	1	4		2	1
Echelle courbe partie 2		2	3	1	2
Comptage rebours	3	2	2	1	
Compteur vitesse	2	2	1	1	1
Ecarts	1	5	2		
Calcul écrit arrondi		4		2	2
Calcul mental (+)	1	3	4		
Calcul mental (-)	1	2	2	3	
Calcul mental (x)	1	6	1		
Estimations quantités discrètes	1	2	2	1	1
Estimations longueur	1	4	1		2
Estimations additions	2	1	1	4	1
Total	18	55	21	21	12

Le tableau ci-dessus permet de visualiser pour chaque épreuve l'évolution de la vitesse entre les deux tests. Par exemple, pour l'épreuve de calcul écrit arrondi, on voit que quatre enfants ne modifient pas leur vitesse de réalisation, un l'améliore nettement et les deux derniers l'améliorent de façon majeure (vitesse au moins multipliée par deux).

Nous voyons que la vitesse évolue de façon hétérogène dans chaque épreuve. On peut tout de même noter que parmi les épreuves dont la vitesse évolue peu, on trouve : le comptage à rebours, le calcul mental d'additions et de multiplications, les écarts. A l'inverse, l'épreuve des échelles droites vierges voit sa vitesse très souvent augmentée.

Au total, 54 épreuves sont effectuées avec une vitesse supérieure au second test (toutes améliorations confondues), 54 sont effectuées avec une vitesse stable et 18 sont effectuées avec une vitesse diminuée.

Tableau 38 : effectif en fonction du nombre d'épreuves dont la vitesse s'est améliorée

Nombre d'épreuves dans lesquelles la vitesse a augmentée	Entre 1 et 4	Entre 5 et 7	Entre 8 et 11	Entre 12 et 15
Effectif	1	5	2	

Le tableau ci-dessus montre que sept enfants sur huit ont augmenté leur vitesse dans 5 à 11 épreuves.

13. Analyse des épreuves par rapport à l'étalonnage

Tableau 39 : comparatif des effectifs par épreuve selon l'étalonnage

		Test 1		Test 2			
	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	Norme ou > norme	Difficulté	Grande difficulté	
Estimation visuelle	5	3		5	3		
Quantité contexte	4	1	3	6	2		
Répétition	8			8			
Echelles marquées	6	2		7	1		
Echelles vierges	5	2	1	8			
Comptage rebours	5	1	2	5	3		
Calcul mental +	5		3	3	3	2	
Calcul mental –	4		4	3	1	4	
Calcul mental x	7		1	7	1		
Compteur vitesse	2		6	4	3	1	
Calcul écrit arrondi	3	1	4	7	1		

Tableau 40 : effectif des améliorations par épreuve, selon l'étalonnage

	Amélioration						
	Grande difficulté vers Difficulté	Difficulté vers norme	Grande difficulté vers norme				
Estimation visuelle		stable					
Quantité contexte	2	1	1				
Répétition	stable						
Echelles marquées		1					
Echelles vierges		2	1				
Comptage rebours	1	1	1				
Calcul mental +	2						
Calcul mental –	1*						
Calcul mental x	1						
Compteur vitesse	3		2 +1*				
Calcul écrit arrondi	1	1	3				

^{*}nous avons inclus deux améliorations qualitatives qui sont assez significatives pour être comptabilisées, malgré des scores identiques.

Synthèse:

Il y a deux épreuves où aucun sujet n'a évolué : les estimations visuelles et la répétition (tous les sujets étaient déjà dans la norme pour cette dernière). Au premier test, huit épreuves ont mis au moins un sujet en grande difficulté. Au second, il n'y en a plus que trois, ce qui montre que de façon générale, l'entraînement a amélioré la performance de plusieurs sujets.

Dans les <u>estimations</u> de quantités en contexte, quatre enfants se sont améliorés. Ainsi, au second test, on ne trouve plus aucun enfant en grande difficulté alors qu'ils étaient trois au test 1. Pour les <u>échelles vierges</u>, les trois enfants qui étaient en difficulté ou en grande difficulté sont passés dans la norme. Dans l'épreuve de <u>comptage à rebours</u>, trois enfants se sont améliorés et les deux qui étaient en grande difficulté ont progressé. Dans le <u>compteur de vitesse</u>, six enfants étaient en grande difficulté au test 1 et il n'en reste plus qu'un au second test. D'ailleurs, trois enfants sont passés de la grande difficulté à la norme. Les progrès constatés dans presque l'ensemble des épreuves de type « sens du nombre » mettent en évidence **l'amélioration nette des performances dans le domaine analogique**.

En ce qui concerne le calcul, on constate une légère amélioration pour le <u>calcul mental</u> <u>d'additions</u>, pour lequel deux enfants passent de la grande difficulté à la difficulté. Les performances de plusieurs sujets ont été moins bonnes au second test. Pour ce qui est du <u>calcul mental de soustractions</u>, épreuve difficile pour la moitié des sujets, on note une progression qualitative pour un seul enfant. En revanche, l'épreuve de <u>calcul écrit arrondi</u> s'est clairement améliorée pour quatre enfants (dont trois sont passés de la grande difficulté vers la norme). Cinq enfants étaient en difficulté ou grande difficulté au test 1, et un seul l'est au test 2. Les analyses précédentes mettent en évidence qu'on note une amélioration sur le plan symbolique, plus nette dans une situation de calcul écrit arrondi que dans du calcul mental.

IV. Corrélations

1. Estimations de longueurs et placement de nombres sur les échelles

La totalité du groupe cible a amélioré ses performances dans le jeu « estimations de longueurs » au fil des cinq semaines. Ce jeu est d'ailleurs celui dont les scores se sont le plus améliorés.

Dans le même temps, on constate que les tâches de placement de nombres sur une échelle, qu'elle soit droite ou courbe, se sont améliorées. Les scores mais aussi les vitesses sont meilleurs au second test chez sept enfants sur huit.

On peut donc établir un lien entre les estimations de longueurs et le placement de nombres sur les échelles. En entraînant le découpage d'un segment en « uns » réguliers, notre programme développe les capacités nécessaires à la bonne construction de la LNM, conduisant à de meilleures performances dans les tâches de placement de nombres.

2. Estimations de résultats d'additions et calcul écrit arrondi

Six enfants ont amélioré leurs performances dans au moins un jeu d'estimations de résultats d'additions (à deux ou trois chiffres). Ces six enfants ont aussi amélioré l'épreuve de calcul écrit arrondi.

On peut donc faire l'hypothèse que l'entraînement de l'estimation aux résultats d'additions est responsable des progrès observés dans l'épreuve de calcul écrit arrondi. Cela semble cohérent puisque le calcul écrit arrondi mobilise des stratégies développées par l'entraînement, et notamment la notion d'ordre de grandeur. L'enfant peut alors « s'autoriser » à estimer le résultat de façon approximative et à le considérer comme juste, même s'il n'est pas exact. En revanche, l'épreuve de calcul mental est différente puisqu'on attend un résultat réellement exact. Elle mobilise davantage la connaissance de la numération (en particulier l'équivalence) et la mémoire de travail, non travaillées par l'entraînement. C'est pourquoi nous ne relevons pas la même amplitude d'amélioration dans le calcul écrit et dans le calcul mental.

Seul un enfant a amélioré sa performance à l'entraînement mais pas à l'épreuve de calcul et pour lequel on peut faire l'hypothèse que, placé dans une situation scolaire, il préfère choisir une stratégie qu'il connait, puisqu'il n'est pas encore prêt à changer ses habitudes rassurantes.

Notre travail met donc en évidence un lien entre l'entraînement de l'estimation des résultats d'additions et la performance aux épreuves de type calcul écrit arrondi.

V. Discussion

1. Limites et problèmes rencontrés

Notre étude présente plusieurs limites et certains facteurs ont pu influencer les résultats obtenus. Malgré des échanges continus et un partenariat efficace avec les orthophonistes qui suivaient les patients de l'étude, il a été difficile de maîtriser parfaitement le contenu de la prise en charge orthophonique menée au moment de l'entraînement. A notre connaissance, aucune notion susceptible d'impacter les résultats n'a été travaillée entre les deux tests.

Un autre point doit être pris en considération dans la validation des résultats : la taille des groupes. En effet, le groupe-cible n'est composé que de huit enfants, ce qui rend impossible toute généralisation des résultats obtenus. De plus, le groupe témoin, qui permet d'éliminer tout effet d'apprentissage dû à la brièveté de l'intervalle entre les deux tests (cinq semaines), est lui aussi très réduit. Les enfants qui le composent ne peuvent pas être appariés à ceux du groupe-cible car ils n'ont pas le même âge. Ce groupe ne constitue qu'un indicateur et ne peut pas être réellement mis en comparaison avec le groupe témoin.

Durant l'élaboration et la réalisation de notre projet, nous avons rencontré plusieurs difficultés. Tout d'abord, nous souhaitions réaliser un troisième test six mois après la fin de l'entraînement de façon à évaluer le maintien des progrès obtenus, s'il y en avait. Malgré un lancement rapide du projet, nous n'avons pas réussi à organiser le calendrier de façon à pouvoir effectuer ce dernier test.

Nous avons aussi été confrontées à la difficulté pratique de réalisation de l'entraînement. En effet, plusieurs bilans et protocoles proposés n'ont pas abouti pour plusieurs raisons. Soit l'enfant n'a pas compris la consigne et a inscrit des scores incohérents et inexploitables, soit il a trouvé un moyen de biaiser les scores en exploitant une faille du programme (appui de la barre espace du clavier sans chercher à réaliser le jeu, ce qui donne des scores anormalement élevés), soit encore il n'a pas réussi à consacrer assez de temps au cours des cinq semaines. Dans une optique de rééducation, proposer cet entraînement n'est donc pas anodin, et ces difficultés témoignent, entre autres, de la nécessité d'une grande implication de l'entourage du patient pour le soutenir.

2. Validation des hypothèses

2.1. Hypothèse n°1 : « l'entraînement est réalisable dans le cadre d'une prise en charge orthophonique ».

Nous avons travaillé avec six orthophonistes et proposé notre projet à dix enfants. Les résultats de seulement deux d'entre eux n'ont pas été exploitables. Nous pouvons donc conclure que **cette hypothèse est validée**. Il faut cependant tenir compte des difficultés que nous avons rencontrées et qui sont énoncées au paragraphe précédent. En effet, elles conduisent à définir plus précisément les critères à respecter (notamment l'importance du soutien familial) pour une sélection pertinente des enfants qui pourraient suivre l'entraînement. Par ailleurs, les familles nous ont toutes signalé que la dernière semaine avait été difficile. Sans le soutien des parents, beaucoup d'enfants n'auraient pas terminé le programme. Ce sera donc à l'orthophoniste de mettre en avant l'intérêt de cet entraînement, pour inciter au maximum le patient et sa famille à faire preuve d'assiduité.

2.2. Hypothèse n° 2 : « la qualité de l'estimation numérique s'améliore »

On peut mettre en évidence la progression des scores de chaque jeu sur les cinq semaines (analyse de la grille de réponse).

Tableau 41 : nombre de sujets qui s'améliorent en fonction des jeux

	10-20	20-50	20-99	Longueurs	Add 2ch	Add 3ch
Nombre d'enfants qui						
s'améliorent (/8)	7	6	4	8	6	5

On remarque que pour les estimations de quantités discrètes, le jeu 20-99 est amélioré par moins d'enfants que le jeu 10-20. Cela semble cohérent au vu de la théorie exposée au paragraphe 2 (voir partie théorique) selon laquelle les manipulations de grandes magnitudes sont plus difficiles à gérer que celle des plus petites (comme 10-20). L'effet de taille s'applique ici, puisqu'on voit que la fourchette de quantité la plus faible est celle qui a le plus progressé.

Tableau 42 : effectif par nombre de jeux améliorés

Nombre de jeux où on	1	2	3	4	5	6
note une amélioration						
Effectif	0	1	0	2	5	0

On note que tous les enfants ont amélioré leurs scores dans au moins deux jeux. La majorité a amélioré cinq jeux sur six, nous pouvons donc valider notre hypothèse. Ce sont surtout les estimations de longueurs et de quantités entre 10 et 20 qui ont progressé chez le plus d'enfants. Rappelons que ces deux jeux constituent la base du domaine figuratif puisqu'ils permettent une meilleure conception du « un » et du principe d'itération (la numération est construite sur l'itération +1). Notre programme permet donc de développer le domaine concret et la numération figurale, à travers l'entraînement aux estimations de quantités et de longueurs.

On remarque que la progression des scores n'est pas régulière au fil des semaines. Cela peut s'expliquer par un effet de fatigue qui survient à la fin de chaque séance de 15 minutes mais aussi dans la dernière semaine. Ainsi, les scores de la semaine finale ne sont pas toujours les meilleurs de la période entière. De plus, les items proposés de chaque jeu sont aléatoires, ce qui peut parfois provoquer des parties plus difficiles que d'autres pour l'enfant.

Tableau 43 : progression des places des enfants dans le groupe et par jeu

Jeux	Moyenne de la semaine 1 (ordre croissant)	Moyenne de la semaine 5 (ordre croissant)	
10-20	Emilie, Ludivine, Irène, Léo, Mathieu,	Emilie, Irène, Ludivine, Mathieu, Ariel,	
	Ariel, Thibaut, Amélia	Léo et Thibaut (=), Amélia	
20-50	Emilie, Irène, Ludivine, Ariel,	Emilie, Ludivine, Irène, Mathieu, Ariel,	
	Mathieu, Thibaut, Léo, Amélia	Amélia, Léo, Thibaut	
20-99	Irène, Emilie, Ludivine, Mathieu,	Irène, Emilie, Mathieu, Ludivine et	
	Ariel, Thibaut, Amélia et Léo (=)	Ariel (=), Amélia, Léo, Thibaut	
Long	Emilie, Irène, Ludivine, Mathieu,	Irène, Ludivine, Emilie, Mathieu, Ariel,	
	Thibaut, Ariel, Léo, Amélia	Ariel, Léo, Amélia Thibaut, Léo, Amélia	
Add 2ch	Ludivine, Ariel, Mathieu, Irène et	Ludivine, Ariel, Irène et Emilie (=),	
	Emilie (=), Léo, Amélia, Thibaut	Mathieu, Amélia, Thibaut, Léo	
Add 3 ch	Add 3 ch Emilie, Irène, Thibaut, Ludivine, Mathieu, Ludivine, Emilie, Irène,		
	Ariel, Mathieu, Léo, Amélia	Thibaut, Amélia, Léo	

Tableau 44 : amplitude de l'amélioration par jeu et par enfant

	10-20	20-50	20-99	Long.	add 2ch	add 3ch
Léo	38,2	7,5	16	16,8	33	48,5
Thibaut	27	33,8	37,4	9,4	-3,3	16
Emilie	1,8	8,8	12	27,8	8,7	13
Amélia	17	-8,8	5,2	34	-1	0,5
Ariel	30	11,6	3,6	8	9	9,5
Ludivine	13,8	0,4	8,1	7,5	4	-0,2
Irène	5,9	4,8	0,7	5,9	8,7	12
Mathieu	21	10	3	8,4	12	-6,5

NB : les amplitudes correspondent à l'écart entre la moyenne des scores obtenus à la semaine 1 et la moyenne obtenue à la semaine 5.

Nous voyons qu'Amélia (voir étude de cas numéro 1), qui avait de grandes difficultés dans le domaine analogique et en particulier dans la construction de sa LNM, a la plus grande amplitude d'amélioration dans le domaine des longueurs, et ce jeu est celui qu'elle a le plus amélioré. Par ailleurs, elle a nettement amélioré ses scores dans les épreuves du domaine analogique, notamment du placement de nombre sur des échelles. On voit donc que les progrès qu'elle a réalisés dans le domaine des longueurs l'ont aidée à découper de façon plus régulière une suite de nombre matérialisée par un segment (droit, courbe selon les épreuves), l'aidant ainsi à construire une bonne LNM.

Léo, l'enfant le plus âgé du groupe (13 ans et 7 mois), a réalisé la plus grande amplitude d'amélioration pour les quantités 10-20, qui sont pourtant la base de la LNM et qui devraient être construites et appréhendées facilement à son âge. Nous voyons qu'il se situe à la limite entre les deux moitiés du groupe (constitué d'enfants plus jeunes) au test 1 ce qui est sa moins bonne « place » pour l'ensemble des jeux. Au test 2, il revient dans la moitié forte du groupe.

Ariel, dont les difficultés de placement de nombres et de comptage à rebours laissaient penser une faible construction de la LNM, a développé de façon très importante l'estimation de quantités 10-20. L'amplitude de l'amélioration au jeu des longueurs est plus faible, mais il faut noter qu'Ariel était déjà dans la moitié forte du groupe. Ariel a amélioré au second test ses performances dans ces épreuves qui lui ont été difficiles. Mieux appréhender les petites quantités lui a permis de mettre en place la chaîne numérique qui lui faisait défaut.

Nous pouvons ainsi penser que chaque enfant développe de façon plus importante les jeux qui mobilisent ses compétences lacunaires. Chaque enfant présente un ensemble de troubles différent, ce qui explique que les progrès se réalisent dans des domaines variés. Tous les enfants ont pu tirer un intérêt à ce programme qui leur a permis de développer des constructions et des compétences faibles pour eux.

Notons que les progrès les plus importants sont réalisés dans le domaine du concret (quantités discrètes et longueurs) ce qui montre, d'une part, que tous ces enfants en difficulté ont besoin de consolider leur numération figurale en repassant par de la manipulation et de l'analogique, et d'autre part, que l'entraînement permet de développer cette numération figurale, suivant ainsi la progression utilisée en rééducation orthophonique.

Nous verrons un peu plus loin que l'entraînement du domaine symbolique (additions), n'est pas inutile, même si on note des amplitudes d'amélioration plus faibles.

2.3. Hypothèse n°3 : les scores aux épreuves de « sens du nombre » augmenteront.

Tableau 45 : effectif par type d'amélioration et par épreuve du domaine « sens du nombre »

		Amélioration				
Epreuves étalonnées	Déjà dans la norme	di	Grande ifficulté vers Difficulté	Difficulté vers norme	Grande difficulté vers norme	
Echelles droites marquées	6			1		
Echelles droites vierges	5			2	1	
Compteur vitesse	2		3		3	
Epreuves personnelles	+1 poin	+2 à +5 point		+6 à +9 points	+10 points et plus	
Echelle courbe P1			2			
Echelle courbe P2		2		1	4	
Ecarts	4		2			

Nous pouvons considérer que ces épreuves sont significativement améliorées après l'entrainement. C'est le cas du compteur de vitesse puisque six enfants sur huit se sont significativement améliorés, du placement de nombres sur l'échelle courbe, des échelles droites marquées (dans une moindre mesure car sur les deux enfants en difficulté, seul un est rentré dans la norme), et des échelles droites vierges (épreuve pour laquelle les trois enfants en difficulté sont rentrés dans la norme). L'épreuve des écarts a aussi été améliorée pour six enfants.

Nous pouvons donc valider notre hypothèse et considérer que l'entraînement, en développant l'accès à la numérosité et la perception des quantités, a permis aux sujets d'améliorer leur « sens du nombre », et donc leur numération figurale qui constitue une étape indispensable à la construction d'une numération symbolique maîtrisée.

2.4. Hypothèse n°4 : « l'entraînement impactera d'autres domaines des habiletés mathématiques ».

Tableau 46 : effectif par nombre d'épreuves améliorées

Nombre d'épreuves où on	0	1	2	3	4
note une amélioration					
Effectif	1*	3	2	2	0

^{*}Ce sujet était déjà dans la norme pour toutes les épreuves.

On remarque que tous les sujets ont au moins amélioré une épreuve. Quatre en ont amélioré deux ou plus.

Tableau 47 : effectif selon le profil des améliorations par épreuve et selon l'étalonnage

	Amélioration							
	Déjà dans la norme	Grande difficulté vers Difficulté	Difficulté vers norme	Grande difficulté vers norme				
Comptage rebours	5	1	1	1				
Calcul mental +	5	2						
Calcul mental –	4	1						
Calcul écrit arrondi	3	1	1	3				

Le comptage à rebours s'est amélioré pour trois enfants dont deux qui étaient en grande difficulté. Le calcul écrit arrondi a aussi progressé pour cinq enfants, dont trois étaient en grande difficulté. Au second test, sept enfants sur dix sont dans la norme (rappelons tout de même qu'il s'agit de la norme pour 9 ans et 5 mois du Numerical). On peut expliquer cette amélioration significative par le fait que ces deux épreuves mobilisent des compétences développées par l'entraînement. En effet, le comptage à rebours nécessite une bonne construction de la LNM qui doit être flexible, et le calcul écrit arrondi utilise les estimations de résultats d'additions.

A la différence du calcul mental, l'épreuve du calcul écrit arrondi « autorise » l'enfant à utiliser les stratégies d'estimations développées par l'entraînement. Ainsi, il peut accepter qu'une réponse approximative soit considérée comme juste, alors qu'on constate souvent que les patients cherchent à tout prix le résultat exact, seule réponse qu'ils considèrent comme juste. L'enfant peut donc développer la notion d'ordre de grandeur, qui est une réponse juste mais non exacte. Cette notion d'ordre de grandeur lui permet, entre autres, d'évaluer rapidement le résultat d'un calcul comme impossible (ce qui a été le cas pour Mathieu, qui n'a plus donné de réponses incohérentes au test 2).

En ce qui concerne le calcul mental, les résultats sont moins significatifs puisque seuls deux enfants se sont améliorés pour les additions. Pour les soustractions, quatre enfants étaient en très grande difficulté et un seul s'est amélioré. Le calcul mental, qui est un calcul exact, mobilise surtout des ressources de mémoire et de connaissances de la numération (en particulier la notion d'équivalence et de base) et très peu les compétences développées par l'entraînement. Il est donc cohérent que ce domaine s'améliore peu, après que l'enfant a suivi le programme.

Notre hypothèse est donc validée : l'entraînement impacte d'autres domaines des habiletés arithmétiques, à condition qu'ils mobilisent les compétences développées par le programme (LNM, estimations, ...).

2.5. Hypothèse n°5 : « les bénéfices ne sont attribuables qu'à l'entraînement (comparaison avec le groupe témoin) ».

Nous avons comparé les résultats du groupe cible à ceux du groupe témoin en terme d'amélioration des scores au test 2.

Tableau 48 : Effectif de progression des scores pour chaque épreuve (groupe témoin)

	Score diminué	Score stable	Légère amélioration
Estimation visuelle	1	3	
Quantités contexte	1	3	
Echelles droite marquée oral		4	
Echelles droite marquée écrit		4	
Echelle droite vierge oral		2	2
Echelle droite vierge écrit	1		3
Echelle courbe partie 1	1	1	2
Echelle courbe partie 2	2	1	1
Comptage rebours	1	3	
Compteur vitesse		3	1
Ecarts		3	1
Calcul écrit arrondi		3	1
Calcul mental +		3	1
Calcul mental -		2	2
Calcul mental x		4	
Estimations quantités discrètes		3	1
Estimations Longueur		4	
Estimations Additions	2	2	

Nous voyons d'abord qu'aucune épreuve n'a été améliorée de façon nette; les améliorations constatées sont toujours légères. Concernant l'épreuve personnelle de l'échelle courbe partie 1, nous relevons que deux sujets ont amélioré leur score de 1 point. Lors de l'analyse des résultats du groupe-cible, on ne considèrera donc que les améliorations supérieures à 1 point.

Notons que les épreuves d'estimation PowerPoint n'ont pas été améliorées, à l'exception d'une légère amélioration pour les quantités discrètes. On peut donc penser que les progrès constatés dans cette épreuve ont été réalisés grâce à l'entraînement. De même, l'épreuve de calcul écrit arrondi, améliorée chez six sujets du groupe cible, ne l'a été que légèrement chez un sujet du groupe témoin. L'épreuve des écarts (amélioration chez cinq sujets du groupe cible) n'a progressé que pour un seul sujet du groupe témoin.

L'analyse du groupe témoin permet de préciser la marge de stabilité des scores, cela nous a conduit à identifier les progrès du groupe cible de façon plus affinée. **Nous pouvons donc valider cette hypothèse** car ces progrès semblent bien être attribuables à l'entraînement. Néanmoins, il est important de relativiser la validité de notre groupe témoin, étant donné sa faible taille.

2.6. Hypothèse générale

L'analyse des résultats montre :

- que l'entraînement améliore la qualité de l'estimation numérique au fil des semaines, en particulier dans le domaine concret analogique (quantités et longueurs),
- que cette amélioration de la numération figurale développe le « sens du nombre » et permet une meilleure construction de la ligne numérique mentale,
- que les progrès constatés ci-dessus impactent d'autres domaines, comme le calcul arrondi, en modifiant notamment les procédures et les stratégies utilisées par l'enfant,
- que l'entraînement peut être proposé dans le cadre thérapeutique de la prise en charge, cadre qui s'étend ici au domicile du patient.

En conclusion, nous pouvons donc valider notre hypothèse générale puisque notre entraînement présente réellement un intérêt dans la prise en charge des troubles logico-mathématiques.

3. Apports

3.1. Pour la pratique orthophonique

Nous savons que l'appellation « troubles logico-mathématiques » regroupe une grande variété de difficultés, et l'orthophoniste y faisant face ne peut pas toujours les cloisonner. Avec le développement des supports technologiques et médiatiques (tablettes, ordinateurs, sites Internet ...), il dispose de moyens de plus en plus larges pour mener sa rééducation. Il peut choisir de proposer aux patients des activités quotidiennes qui visent à entraîner intensivement certaines fonctions et qui peuvent être complémentaires aux séances de rééducation. En effet, l'orthophoniste pourra, lors des consultations habituelles, observer le fonctionnement de l'enfant face à des tâches d'estimation numérique, de façon à pouvoir le guider en lui proposant des éléments d'aide et de construction (par exemple, en l'incitant à utiliser le feed-back de l'entraînement). Cependant, l'entraînement devant s'effectuer avec une fréquence élevée et sur une durée limitée, il semble plus judicieux de proposer au patient de le faire à domicile, de façon à pouvoir travailler d'autres domaines (notamment le domaine symbolique) en séance, en s'appuyant sur ce qui est construit grâce à l'entraînement (par exemple, la chaîne numérique) et en surveillant son évolution.

Notre programme permet de développer la numération figurale et le domaine analogique à domicile, tandis que le passage au symbolisme sera amené par l'orthophoniste en séance. Ainsi, la progression de la construction de la numération (voir partie théorique, paragraphe I), est bien respectée, et l'entraînement à l'estimation numérique devient un outil supplémentaire que l'orthophoniste peut proposer à la famille dans le cadre thérapeutique. Il faut néanmoins rappeler que l'orthophoniste devra tenir compte de certaines conditions pour conseiller de façon adaptée le suivi de l'entraînement : l'âge recommandé du patient est d'au moins neuf ans, et ce dernier doit bénéficier d'une famille soutenante et être lui-même très impliqué car le programme demande de l'assiduité. Les résultats de notre étude montrent que l'entraînement est efficace à partir d'une durée de cinq semaines, cependant l'orthophoniste pourra envisager de proposer des durées plus courtes (quatre semaines) mais répétées au fil de la prise en charge, en fonction de la motivation de la famille. Il est néanmoins primordial de pouvoir mobiliser l'enfant et ses parents pour inclure ce type d'entraînement dans le contrat thérapeutique.

Notre travail met aussi en évidence que suivre une progression rigoureuse dans la construction du concept de numération est indispensable dans la prise en charge. En effet, il est important de partir de la base (travail de la manipulation et de la numération figurale) pour construire des fondations solides, et ce quel que soit l'âge de l'enfant. D'ailleurs, nous avons pu observer que certains enfants parmi les plus âgés de notre groupe, semblaient bien maîtriser la manipulation des symboles (calculs corrects) sans pour autant pouvoir raccrocher une réalité sémantique (notion de quantité analogique) à ces symboles. Notre entraînement les a aidés à développer ces bases manquantes.

3.2. Personnels

La réalisation de cette étude, en partenariat avec ma directrice, m'a permis de mieux connaître cette vaste pathologie que sont les troubles logico-mathématiques. J'ai pu rencontrer de nombreux enfants en difficulté et mesurer la complexité de leurs troubles. Il m'a semblé difficile de compartimenter ces difficultés dans la perspective d'isoler un déficit particulier dont la remédiation compenserait le trouble. J'ai pu sentir au contraire qu'il me fallait regrouper toutes les informations obtenues par les entrevues, l'analyse des tests et les commentaires des orthophonistes référentes pour me faire une idée du fonctionnement des enfants, différent pour chacun.

Par ailleurs, la réalisation de la partie théorique a aussi été riche d'enseignements. En confrontant les points de vue et les hypothèses des différents auteurs, en cherchant les limites des différentes études menées, j'ai pu aiguiser mon sens critique de façon à ne jamais considérer comme absolue toute conclusion obtenue.

Il me semble que ce questionnement permanent est devenu la base de ma future pratique professionnelle.

CONCLUSION

Dans le cadre des recherches sur la cognition mathématique et en particulier sur la représentation du nombre et des quantités, nous avons cherché à mettre en évidence l'intérêt d'un entraînement de l'estimation numérique dans la prise en charge des troubles logico-mathématiques. Notre entraînement s'inscrit dans la lignée des entraînements déjà élaborés dans le domaine de la représentation mentale des nombres (« La course aux nombres », « l'Estimateur », le jeu de plateau de Siegler et Ramani).

Nous voulions d'abord montrer que cet entraînement pouvait constituer un nouvel outil à la disposition de l'orthophoniste. Cette première hypothèse a été validée puisque le programme a pu être suivi sérieusement par huit enfants. Néanmoins, nous avons pu dégager certaines conditions indispensables (âge, implication de la famille, motivation) à son bon déroulement, et qui permettent à l'orthophoniste de sélectionner les patients susceptibles d'en bénéficier au maximum. L'intérêt de ce programme réside aussi dans le fait qu'il permet de développer de façon intensive (puisque la fréquence des séances est élevée) certaines bases du concept de numération (chaîne numérique, appréhension des quantités, etc.), ce qui justifie de proposer sa mise en place à domicile en autonomie. Il est donc utile de l'intégrer au contrat thérapeutique en mettant en avant ses apports, de façon à mobiliser au mieux le patient et sa famille.

Nous souhaitions ensuite montrer que l'entraînement pouvait améliorer les performances dans les tâches d'estimations numériques. Cette seconde hypothèse est validée puisque tous les enfants ont amélioré leurs scores dans au moins deux jeux. Par ailleurs, on constate que pour plusieurs enfants, les jeux ayant le plus progressé correspondent à leurs compétences déficitaires. On voit donc que le programme entraîne plus particulièrement les domaines difficiles pour l'enfant. Chacun présente des troubles différents mais on note néanmoins que les progressions les plus importantes s'effectuent dans le domaine du concret (quantités discrètes 10-20, longueurs), ce qui montre que l'entraînement les a aidés à construire les bases de la numération figurale, préalable à une numération symbolique.

Puis, nous avons cherché à mettre en évidence une amélioration des performances dans les tâches mobilisant le « sens du nombre » (compteur de vitesse, placement de nombres sur des échelles, etc.), à la suite de l'entraînement. Là encore, notre hypothèse est validée puisque six enfants sur huit, en difficulté à l'épreuve du compteur de vitesse, se sont améliorés. De même, trois enfants étaient en difficulté pour le placement de nombres sur une échelle vierge, et tous sont rentrés dans la norme au second test. Notre programme, en entraînant la capacité à segmenter les longueurs et à mieux appréhender les « uns » qui constituent chaque quantité, a permis aux sujets de mieux construire leur ligne numérique mentale et de développer leur « sens du nombre ».

Selon notre quatrième hypothèse, l'entraînement à l'estimation numérique devait impacter d'autres habiletés mathématiques (calcul mental, comptage à rebours, calcul écrit arrondi). Nous avons pu constater que les épreuves de calcul écrit arrondi s'étaient améliorées chez beaucoup d'enfants. On peut donc penser que l'entraînement, en développant les estimations aux résultats d'additions, les a « autorisé » à utiliser la stratégie de quantification approximative qui leur a permis de mieux réussir cette épreuve, notamment en les aidant à identifier les résultats incohérents qu'ils seraient susceptibles de produire. Nous relevons aussi une amélioration du comptage à rebours, qui s'explique par la meilleure construction de la chaîne numérique, développée par l'entraînement. En ce qui concerne le calcul mental, nous ne notons pas d'améliorations significatives, ce qui peut s'expliquer par le fait que cette épreuve mobilise davantage la connaissance de la numération et la mémoire de travail, compétences qui n'ont pas été travaillées dans l'entraînement.

Enfin, nous souhaitions montrer que les progrès obtenus n'étaient attribuables qu'à l'entraînement, en comparant les résultats du groupe cible avec ceux du groupe témoin n'ayant pas suivi l'entraînement. Chez ce dernier groupe, nous n'avons pas relevé d'amélioration nette dans les performances, ce qui laisse penser que notre hypothèse pourrait être validée. Cependant, la validité de cette comparaison doit être relativisée car la taille réduite et la composition de notre groupe témoin ne permettent pas une conclusion définitive.

L'analyse des résultats nous a permis d'identifier les faiblesses méthodologiques de notre recherche, mais aussi d'entrevoir des possibilités d'approfondissement de notre travail. Par exemple, des épreuves de sériation pourraient être incluses pour mieux identifier le rôle de cette structure dans la représentation mentale du nombre. Nous savons aussi que les entraînements intensifs réalisables à domicile sont élaborés pour beaucoup de pathologies et sont de plus en plus nombreux. Par exemple, il existe un logiciel pour la dyslexie (« Gnosia ») qui peut être utilisé comme complément dans la prise en charge orthophonique. Notre recherche utilisait un site gratuit mais il serait intéressant d'élaborer un logiciel spécifique, qui permettrait l'entraînement aux estimations ou à d'autres compétences (la mémorisation des faits arithmétiques par exemple).

En conclusion, notre travail démontre qu'entraîner les capacités d'estimations des patients en difficulté logico-mathématique présente un intérêt significatif. Comme les précédents entraînements élaborés (voir partie théorique), il met en évidence des progrès significatifs constatés après le suivi du programme. Ainsi, notre entraînement pourra donc être utilisé par les orthophonistes dans le cadre de leur projet thérapeutique, puisqu'ils ont connaissance de toutes les informations permettant de sélectionner les patients susceptibles d'en bénéficier au maximum. Les progrès constatés dans notre étude constituent un argument à mettre en évidence pour motiver le patient et sa famille - dont l'implication sera indispensable - à suivre cet entraînement qui fera ainsi partie du contrat thérapeutique.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

Barrouillet P. et Camos V. *La Cognition mathématique chez l'enfant*, Marseille, Solal, 2006, 263 p.

Bideaud J., Lehalle H. et Vilette B. La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant, Lille, Presses universitaires du Septentrion, 2004, 371 pages.

Chokron S., Demonet J.-F. Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages, Marseille, Solal, 2010, 382 p.

Dehaene S., La bosse des maths, Paris, Odile Jacob, 1997, rééd. 2003, 363 p.

Gueritte B., Bacquet M., Le nombre et la numération, Editions du Papyrus, 1998, 235 p.

Habib M., Noël M.-P. George-Poracchia F. et Brun V. *Calculs et dyscalculies. Des modèles à la rééducation*, Paris, Elsevier Masson, 2011, 96 p.

INSERM. Dyslexie, Dysorthographie, Dyscalculie: bilan des données scientifiques. Paris, Inserm, 2007, 842 p.

Noël M.-P. *La Dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant*, Marseille, Solal, 2005, 251 p.

Van Hout, A.Meljac C. et Fischer J.-P. *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* Paris, Elsevier Masson, 2001, rééd. 2005, 425 p.

Van Nieuwenhoven C., L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et support d'intervention, Marseille, Solal, 2010, 270 p.

Articles

Allik J., Tuulmets T. *Occupancy model of perceived numerosity*, Perception & Psychophysics, 49 (4). 303-314, Université de Tartu (Estonie), 1991.

Barouillet P. *Un nouveau modèle de transcodage des nombres : aspects développementaux, neuropsychologiques et computationnels*, Rapport de fin de recherche. Psychological Review, 2002.

Dionnet S. Dyscalculie et innumérisme : troubles du calcul ou enfant troublé par les maths ? ANAE, 2012, Vol 24, N° 120-121, Déc. 2012, p. 523

Lafay A., Saint-Pierre M.-C., Macoir J. Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. Glossa, n°112 (1-17), 2013, 17 p.

Wilson A. *Dyscalculie développementale : l'approche « neurocognitive »*. Fondation Fyssen, annales n°20, 2004.

Cours:

Dehaene, S. *L'impact des symboles sur la cognition numérique. Fondements cognitifs de l'arithmétique élémentaire*. Cinquième Cours au Collège de France. 2008. Disponible sur : http://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/course-2007-2008.htm (consulté le 10/08/2014).

Dehaene, S. *Représentation spatiale des nombres et Synesthésie numérique*. Cinquième cours au Collège de France. 2008. Disponible sur : http://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL153_Cours2008_6_NombresEtEspace.pdf. (consulté le 10/08/2014).

Collège de France, Piazza M. *Sciences cognitives et éducation*, 2012-2013. Disponible sur : http://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/symposium-2012-11-20-15h30.htm (consulté le 10/08/2014).

Thèses et mémoires

Batilly L., Denednia M., Sélection et exécution stratégiques en estimation numérique chez des enfants de 10 et 12 ans. Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste, dirigé par Lemaire P. Université Claude Bernard Lyon, 2008.

Bouvier-Pouch F., Catier-Hauville M.-A. *Habiletés numériques à l'entrée en maternelle et facteurs prédictifs de leur évolution*, Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste, dirigé par le Pr. Fayol M. Université Paris VI, 2013.

Gandini D. *Effet du vieillissement sur une habileté numérique particulière, la quantification approximative : Combinaison d'une approche comportementale et neurofonctionnelle* (en ligne). Thèse de Psychologie, en vue de l'obtention du grade de Docteur, dirigée par Lemaire P. Université Aix-Marseille, 2007, 308 p. Disponible sur : http://www.risc.cnrs.fr/mem_theses_pdf/2007_Gandini.pdf (consulté le 12/12/2014).

Gendre N. et Pautonnier L. *Peut-on améliorer les performances arithmétiques par des entrainements aux configurations de doigts ou à un jeu de plateau linéaire?* Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste, dirigé par le Pr. Fayol M. Université Claude Bernard Lyon, 2012.

Guillaume M. *Arithmétique mentale et Sens du Nombre : le rôle des habiletés numériques dans le choix et l'exécution des stratégies de résolution d'additions complexes* (en ligne). Thèse de Psychologie, en vue de l'obtention du Doctorat en Sciences Psychologiques et de l'éducation, dirigée par Content A. Université Libre de Bruxelles, 2013. Disponible sur : http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-09242013-162345/. Consulté le 23/10/2014.

Saad L. *Transcodage des nombres chez l'enfant : approche développementale, interlinguistique et différentielle*. Thèse de Psychologie, en vue de l'obtention du grade de Docteur, dirigée par Barouillet P. et Lecas J.-F., Dijon, 2010.

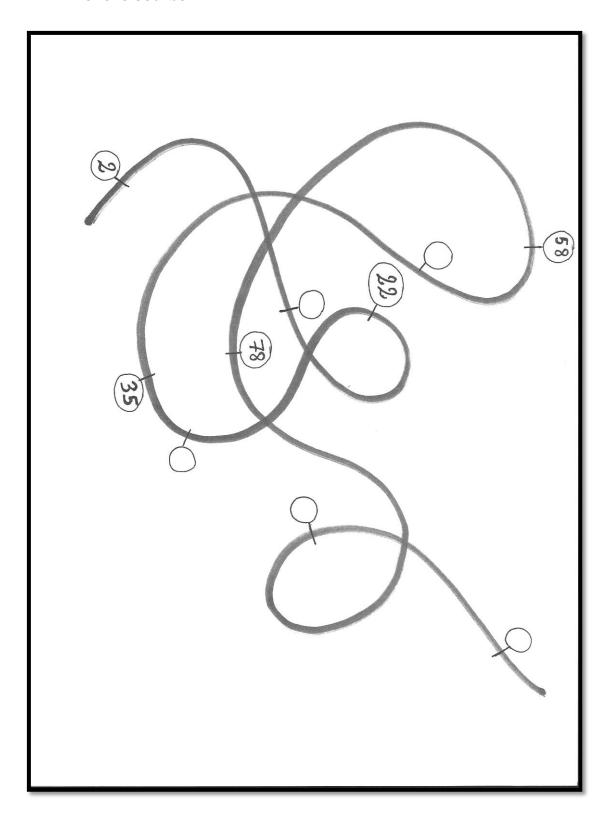
Sites

Université Aix-Marseille, Centre de Recherche en Psychologie de la Connaissance, du Langage et de l'Émotion, Vauclair J. *Les capacités de dénombrement chez les primates*. Disponible sur : http://sites.univ-provence.fr/wpsycle/documentpdf/DocVauclair/chapSolal00.pdf. (consulté le 25/09/2014).

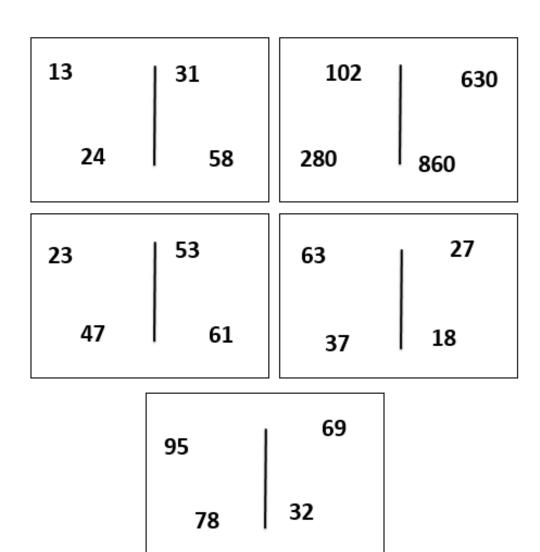
ANNEXES

Annexe I : Epreuves personnelles

1. Echelle courbe



2. Ecarts



3. Tableau de réponse pour l'épreuve Estimation PowerPoint

Quan	Quantités discrètes			Longueurs			Additions		
Quantité	Réponse	Ecart	Quantité	Réponse	Ecart	Résultat	Réponse	Ecart	
3	_		2			81			
5			6			24			
7			4			69			
13			5			53			
22			6			61			
18			9			79			
15			7			257			
37			5			622			
47			8			549			
13						811			
15			Temps lon	gueurs:					
65						Temps addi	tions :		
55			Total écart	s:					
Temps qua	antités :	·				Total écarts	:		
Total écar	ts:								

Annexe II : Grille de réponse pour l'entraînement

	Jour	H	Jour	2	Jour		ω		Jour	4	Jour	5
	10-20		Add 3ch	3 7	20-99	38	966		Long.		20-50	
	20-50		Long.		10-20				20-50		Add, 2ch	
Semaine 1	20-99		20-99		Long.				10-20		20-99	
1	Long.		20-50		Add 2ch				Add 3ch		10-20	
	Add 2ch		10-20		20-50				20-99		Long.	
\vdash	10-20		Add 2ch		20-99				Long.		20-50	
	20-50		Long.		10-20				20-50		Add 3ch	
Semaine 2	20-99		20-99		Long.				10-20		20-99	
2	Long.		20-50		Add.3ch			ĺ	Add 2ch		10-20	
	Add 3ch		10-20		20-50				20-99		Long.	
	10-20		Add 3ch		20-99				Long.		20-50	
	20-50		Long.		10-20				20-50		Add 2ch	
Semaine 3	20-99		20-99		Long.	98	300		10-20		20-99	
3	Long.		20-50		Add 2ch				Add 3ch		10-20	
	Add 2ch		10-20		20-50	965			20-99		Long.	

	1	Por	2	Jour	ω	Jour	4	Jour	5
	10-20	Add 2		20-99		Long.		20-50	
	20-50	Long.		10-20		20-50		Add 3ch	
Semaine 4	20-99	20-99		Long.		10-20		20-99	
4	Long.	20-50		Add 3ch		Add 2ch		10-20	
	Add 3ch	10-20		20-50		20-99		Long.	
	10-20	Add 3ch		20-99		Long.		20-50	
	20-50	Long.		10-20		20-50		Add 2ch	
Semaine 5	20-99	20-99		Long.		10-20		20-99	
5	Long.	20-50		Add 2ch		Add 3ch		10-20	
	Add 2ch	10-20		20-50		20-99		Long.	

Remarques:	Age :	Prénom :	Nom:

Annexe III : Résultats détaillés par enfant

1. Amélia

1.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

	Amélia	Amélia
	1	2
Estimation visuelle /5	5	5
Temps (en secondes)	45	43
Quantités contexte /10	6	9
Temps	55	75
Répétition endroit /12	10	8
Temps	105	107
Répétition envers /12	8	9
Temps	152	123
Echelles droites		
Echelles marquées (entrée		
auditive) /6	4	6
Echelles marquées (entrée	_	_
lecture) /6	6	6
Temps	79	47
Echelle vierge (entrée		
auditive) /6	3	4
Echelle vierge (entrée		
lecture) /6	1,5	1,5
Temps	123	44
Echelle courbe		
Partie 1 : choix multiple /5	4	4
Temps 1	270	119
Partie 2 : placement	32,5	7,5
Temps 2	200	69
Comptage rebours /4	4	2
Temps	64	109

Compteur vitesse /8	0	2
Temps	246	169
Ecarts /5	5	5
Temps	63	63
Calcul écrit arrondi /8	7	8
Temps	257	142
Calcul mental		
Calcul mental + (/16)	14	16
Temps	74	120
Calcul mental - (/16)	16	11
Temps	308	329
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	48	38
Estimations PowerPoint		
Quantités discrètes	24	42
Fourchette écarts donnés	0-10	0-10
Temps	92	100
Longueur	7	13
Fourchette écarts donnés	0-3	0-3
Temps	55	85
Additions	0	267
Fourchette écarts donnés	0	0-193*
Temps	220	125

^{*} Un item, donné avec un écart de 193, impacte fortement la moyenne. Sans celui-ci, la fourchette est 0-31

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	58,2	45,6	30,6	59,6	38	36
Semaine 2	68,2	39,8	33,8	78,8	44,5	39
Semaine 3	67,2	32,8	31	75,6	42	41,5
Semaine 4	72,2	38,2	36,6	81,8	40	34
Semaine 5	75,2	36,8	35,8	93,6	37	36,5

2. Emilie

2.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

1		
	Emilie 1	Emilie 2
Estimation visuelle /5	3	3
Temps (en secondes)	46	45
Quantités contexte /10	5	7
Temps	73	56
Répétition endroit /12	8	9
Temps	116	127
Répétition envers /12	4	4
Temps	70	77
Echelles droites Echelles désignation orale /6 Echelles désignation	4	4
écrite /6	6	6
Temps	85	54
Echelle production orale /6 Echelle production écrit	1,5	4
/6	0	2,5
Temps	139	61
Echelle courbe		
Partie 1 /5	3	4
Temps 1	93	50
Partie 2	34	10
Temps 2	110	80
Comptage rebours /4	4	4
Temps	64	48

Compteur vitesse /8	0	0
Temps	113	176
Ecarts /5	3	5
Temps	72	66
Calcul écrit arrondi /8	4	7
Temps	122	129
Calcul mental		
Calcul mental + (/16)	8	10
Temps	81	99
Calcul mental - (/16)	4	6
Temps	137	139
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	25	30
Estimations PPT		
Quantités discrètes	147*	90
Fourchette écarts donnés	0-77	0-26
Temps	130	73
Longueur	29	11
Fourchette écarts donnés	0-13	0-3
Temps	113	50
Additions	981	974
Fourchette écarts donnés	0-411	0-453
Temps	190	138

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	23,8	8,8	7,4	19	19,6	7,5
Semaine 2	23	11,2	10	29,4	30,5	15,3
Semaine 3	22,6	16	20	41,8	28,6	18
Semaine 4	22,4	16,4	12,8	50,2	32,5	19,3
Semaine 5	25,6	17,6	19,4	43,8	28,3	20,5

^{*}Une estimation est très imprécise

3. Léo

3.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

	Léo 1	Léo 2
Estimation visuelle /5	4	4
Temps (en secondes)	43	38
Quantités contexte /10	9	9
Temps	58	59
Répétition endroit /12	6	7
Temps	77	116
Répétition envers /12	8	9
Temps	87	114
Echelles droites Echelles désignation orale /6 Echelles désignation écrite	6	6
/6	6	6
Temps	42	43
Echelle production orale /6	4	4
Echelle production écrit /6	3,5	4,5
Temps	60	32
Echelle courbe		
Partie 1 /5	3	3
Temps 1	80	85
Partie 2	11,5	9
Temps 2	45	40

Comptage rebours /4	2	4
Temps	24	36
Compteur vitesse /8	8	8
Temps	68	163
Ecarts /5	4	5
Temps	58	43
Calcul écrit arrondi /8	7	1
Temps	210	122
Calcul mental		
Calcul mental + (/16)	14	7
Temps	76	80
Calcul mental - (/16)	11	4
Temps	105	71
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	22	20
Estimations PPT		
Quantités discrètes	54	64
Temps	99	84
Longueur	11	9
Temps	68	45
Additions	204	233
Temps	176	107

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	27,4	35	30,6	57,2	33	32,5
Semaine 2	47,8	49,6	31,6	68	40	37,6
Semaine 3	53,4	44,4	30,6	70,6	42	73,5
Semaine 4	64,2	44,2	37,4	73,2	66,5	86
Semaine 5	65,6	42,5	46,6	74	66	81

4. Thibaut

4.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

		Thibaut
	Thibaut 1	2
Estimation visuelle /5	3	3
Temps (en secondes)	43	41
Quantités contexte /10	2	5
Temps	48	57
Répétition endroit /12	9	6
Temps	109	60
Répétition envers /12	9	11
Temps	125	127
<u>Echelles droites</u> Echelles désignation		
orale /6	6	4
Echelles désignation		
écrite /6	6	6
Temps Echelle production	48	49
orale /6	3	3
Echelle production écrit		
/6	3,5	3
Temps	54	37
Echelle courbe		
Partie 1 /5	3	3
Temps 1	55	90
Partie 2	8,5	10

•	-	
Temps 2	65	40
Comptage rebours /4	4	2
Temps	23	60
Compteur vitesse /8	0	7
Temps	105	90
Ecarts /5	4	5
Temps	53	69
Calcul écrit arrondi /8	4	7
Temps	112	128
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	13	12
Temps	89	78
Calcul mental - (/16)	14	16
Temps	115	94
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	20	16
Estimations PPT		
Quantités discrètes	31	28
Temps	120	90
Longueur	14	10
Temps	105	95
Additions	374*	125
Temps	125	120

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	38,6	25	21,4	48	43,3	12
Semaine 2	41,8	35	24,6	51,4	59,5	18,6
Semaine 3	54	47	47,8	50,4	48	24
Semaine 4	62,4	57,2	57,2	53,6	39	33
Semaine 5	65,6	58,8	58,8	57,4	40	28

[|] Partie 2 *Seulement 3 erreurs

5. Ludivine

5.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

		Ludivine
	Ludivine 1	2
Estimation visuelle /5	3	3
Temps (en secondes)	50	49
Quantités contexte /10	7	8
Temps	58	57
Répétition endroit /12	7	6
Temps	120	93
Répétition envers /12	4	5
Temps	60	66
Echelles droites Echelles désignation orale /6	6	6
Echelles désignation écrite		
/6	4	6
Temps	25	43
Echelle production orale /6	5,5	5
Echelle production écrit /6	3	4,5
Temps	60	37
Echelle courbe		
Partie 1 /5	4	4
Temps 1	57	58
Partie 2	17,5	9,5
Temps 2	71	60

Comptage rebours /4	4	4
Temps	54	41
Compteur vitesse /8	1	8
Temps	115	72
Ecarts /5	3	4
Temps	46	49
Calcul écrit arrondi /8	3	4
Temps	131	73
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	6	10
Temps	98	74
Calcul mental - (/16)	6	6
Temps	118	79
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	29	20
Estimations PPT		
Quantités discrètes	175	64
Temps	114	100
Longueur	38	9
Temps	114	55
Additions	339	184
Temps	155	170

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	25,4	20,6	16,3	32,3	15,3	12,9
Semaine 2	21,3	14,7	18,8	30,1	14	13
Semaine 3	36	16,3	18,9	35,6	18,6	12,9
Semaine 4	34,2	21,2	19,9	40,2	17,9	11,3
Semaine 5	39,2	21	24,4	39,8	19,3	12,7

6. Ariel

6.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

	Ariel 1	Ariel 2
Estimation visuelle /5	4	4
Temps (en secondes)	51	42
Quantités contexte /10	8	10
Temps	48	53
Répétition endroit /12	6	7
Temps	72	98
Répétition envers /12	5	6
Temps	61	90
Echelles droites Echelles désignation orale /6 Echelles désignation écrite	6	6
/6	6	6
Temps	37	45
Echelle production orale /6	1	3,5
Echelle production écrit /6	2	5
Temps	72	82
Echelle courbe		
Partie 1 /5	2	3
Temps 1	89	79
Partie 2	27	16,5
Temps 2	100	55

_		
Comptage rebours /4	2	4
Temps	69	70
Compteur vitesse /8	8	8
Temps	120	140
Ecarts /5	5	5
Temps	30	48
Calcul écrit arrondi /8	3	5
Temps	207	220
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	14	8
Temps	92	108
Calcul mental - (/16)	4	6
Temps	151	118
Calcul mental x (/12)	3	8
Temps	29	40
Estimations PPT		
Quantités discrètes	82	83
Temps	75	91
Longueur	9	8
Temps	55	55
Additions	183	75
Temps	140	200

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	35,4	23,2	20,8	48,6	18,6	16,5
Semaine 2	31,2	33,8	18,8	54,2	20	22,3
Semaine 3	49,6	27,8	12,6	52	26,6	25
Semaine 4	45,4	26,8	19,6	56,6	33	28
Semaine 5	65,4	34,8	24,4	56,6	27,6	26

7. Irène

7.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

	Irène 1	Irène 2
Estimation visuelle /5	4	5
Temps (en secondes)	54	50
Quantités contexte /10	6	6
Temps	48	60
Répétition endroit /12	8	9
Temps	110	60
Répétition envers /12	4	8
Temps	106	62
Echelles droites Echelles désignation orale		
/6	6	6
Echelles désignation écrite		_
/6	6	6
Temps	49	40
Echelle production orale /6	1	3,5
Echelle production écrit /6	4	5,5
Temps	110	60
Echelle courbe		
Partie 1 /5	3	3
Temps 1	62	54
Partie 2	36	19
Temps 2	94	63

		ı
Comptage rebours /4	1	2
Temps	91	52
Compteur vitesse /8	0	0
Temps	135	120
Ecarts /5	4	5
Temps	63	60
Calcul écrit arrondi /8	3	6
Temps	205	210
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	14	14
Temps	89	55
Calcul mental - (/16)	2	3
Temps	204	132
Calcul mental x (/12)	10	10
Temps	71	60
Estimations PPT		
Quantités discrètes	113	33
Temps	76	80
Longueur	12	6
Temps	60	45
Additions	330	199
Temps	240	113

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	26	18,2	7,2	29	19,6	11
Semaine 2	25,3	20,6	8,3	26,8	30,5	15,3
Semaine 3	28,5	21,5	6	30,9	28,6	15
Semaine 4	30,1	19,5	6,8	35,8	32,5	18,1
Semaine 5	31,9	23	7,9	34,9	28,3	23

8. Mathieu

8.1. Comparatif détaillé scores et temps aux tests 1 et 2

	Mathieu 1	Mathieu 2
Estimation visuelle /5	4	4
Temps (en secondes)	48	40
Quantités contexte		
/10	2	5
Temps	62	58
Répétition endroit		
/12	6	5
Temps	99	61
Répétition envers /12	7	8
Temps	104	61
Echelles droites		
Echelles désignation		
orale /6	6	6
Echelles désignation	_	
écrite /6	6	6
Temps	42	49
Echelle production orale /6	4	4
Echelle production	4	4
écrit /6	3	4,5
Temps	57	52
Echelle courbe	<u> </u>	
Partie 1 /5	2	4
, ,	_	•
Temps 1	72	82
Partie 2	8	5

Temps 2	70	60
Comptage rebours /4	4	4
Temps	45	40
Compteur vitesse /8	0	2
Temps	98	115
Ecarts /5	3	5
Temps	44	51
Calcul écrit arrondi /8	5	7
Temps	295	210
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	8	6
Temps	143	128
Calcul mental - (/16)	arret	arret
Temps	arret	arret
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	22	20
Estimations PPT		
Quantités discrètes	69	49
Temps	100	88
Longueur	13	10
Temps	68	68
Additions	275	141
Temps	187	124

	10 à 20	20 à 50	20 à 99	Longueur	Add 2ch	Add 3ch
Semaine 1	27,6	23,4	17,4	39,4	19	18,5
Semaine 2	46	20,8	18,2	46	27,5	18
Semaine 3	34	25	18,6	51,6	24	10
Semaine 4	46	31,4	19,8	48,2	22	17
Semaine 5	48,6	33,4	20,4	47,8	31	12

9. Résultats du groupe témoin

9.1. Raphaël

	Raphaël	Raphaël
	1	2
Estimation visuelle /5	4	4
Temps (en secondes)	69	52
Quantités contexte /10	10	10
Temps	45	42
Répétition endroit /12	9	9
Temps	116	98
Répétition envers /12	8	9
Temps	102	75
Echelles droites		
Echelles désignation		
orale /6	4	4
Echelles désignation		
écrite /6	6	6
Temps	51	47
Echelle production orale		
/6	2,5	3
Echelle production écrit		
/6	1,5	2
Temps	50	34
Echelle courbe		
Partie 1 /5	2	3
Temps 1	117	64
Partie 2	16	18,5

Temps 2	45	35
Comptage rebours /4	4	4
Temps	37	23
Compteur vitesse /8	8	8
Temps	86	75
Ecarts /5	5	5
Temps	109	72
Calcul écrit arrondi /8	7	7
Temps	145	95
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	16	16
Temps	114	86
Calcul mental - (/16)	10	12
Temps	82	92
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	16	20
Estimations PPT		
Quantités discrètes	64	55
Temps	80	89
Longueur	11	12
Temps	55	64
Additions	94	136
Temps	210	163

9.2. Régis

	Régis 1	Régis 2
Estimation visuelle /5	5	5
Temps (en secondes)	46	60
Quantités contexte /10	10	10
Temps	55	41
Répétition endroit /12	8	7
Temps	120	94
Répétition envers /12	9	8
Temps	119	96
Echelles droites		
Echelles désignation		
orale /6	6	6
Echelles désignation		
écrite /6	6	6
Temps	44	39
Echelle production		
orale /6	5,5	5,5
Echelle production		
écrit /6	6	5,5
Temps	45	60
Echelle courbe		
Partie 1 /5	4	4
Temps 1	133	96
Partie 2	10,5	9,5

Temps 2	137	102
Comptage rebours /4	4	4
Temps	40	35
Compteur vitesse /8	8	8
Temps	75	125
Ecarts /5	3	4
Temps	76	68
Calcul écrit arrondi /8	8	8
Temps	76	129
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	14	14
Temps	67	71
Calcul mental - (/16)	12	14
Temps	84	80
Calcul mental x (/12)	10	10
Temps	27	22
Estimations PPT		
Quantités discrètes	34	35
Temps	113	125
Longueur	6	5
Temps	72	69
Additions	16	21
Temps	169	123

9.3. Fabien

	Fabien 1	Fabien 2
Estimation visuelle /5	5	2
Temps (en secondes)	45	43
Quantités contexte /10	6	6
Temps	59	78
Répétition endroit /12	7	8
Temps	124	117
Répétition envers /12	4	4
Temps	55	45
Echelles droites		
Echelles désignation		
orale /6	4	4
Echelles désignation		
écrite /6	6	6
Temps	52	41
Echelle production		
orale /6	3	3
Echelle production		
écrit /6	1,5	2
Temps	70	75
Echelle courbe		
Partie 1 /5	1	2
Temps 1	110	96
Partie 2	13,5	12

-		
Temps 2	130	100
Comptage rebours /4	4	2
Temps	92	89
Compteur vitesse /8	2	3
Temps	145	80
Ecarts /5	3	3
Temps	51	45
Calcul écrit arrondi /8	3	3
Temps	278	149
<u>Calcul mental</u>		
Calcul mental + (/16)	12	12
Temps	140	120
Calcul mental - (/16)	6	6
Temps	179	133
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	35	29
Estimations PPT		
Quantités discrètes	76	65
Temps	159	120
Longueur	12	11
Temps	84	70
Additions	389	664
Temps	188	132

9.4. Maya

	Maya 1	Maya 2
Estimation visuelle /5	5	5
Temps (en secondes)	56	65
Quantités contexte /10	9	8
Temps	37	45
Répétition endroit /12	11	12
Temps	81	69
Répétition envers /12	8	8
Temps	35	40
Echelles droites		
Echelles désignation		
orale /6	6	6
Echelles désignation		
écrite /6	6	6
Temps	42	56
Echelle production orale		
/6	5	5,5
Echelle production écrit		
/6	2,5	3
Temps	46	42
Echelle courbe		
Partie 1 /5	5	4
Temps 1	61	52
Partie 2	6	12

Temps 2	68	95
Comptage rebours /4	4	4
Temps	25	31
Compteur vitesse /8	8	8
Temps	58	42
Ecarts /5	4	4
Temps	53	68
Calcul écrit arrondi /8	7	8
Temps	101	156
Calcul mental		
Calcul mental + (/16)	8	10
Temps	50	96
Calcul mental - (/16)	12	12
Temps	77	69
Calcul mental x (/12)	12	12
Temps	24	32
Estimations PPT		
Quantités discrètes	57	49
Temps	110	97
Longueur	7	6
Temps	56	63
Additions	220	265
Temps	100	154

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : groupe cible	59
Tableau 2 : groupe témoin	59
Tableau 3 : résultats d'Amélia par rapport à la norme au test 1	77
Tableau 4 : comparatif des résultats d'Amélia par épreuve en écart-type	83
Tableau 5 : comparatif des résultats d'Amélia par épreuve selon l'étalonnage	83
Tableau 6 : progression des scores d'Amélia sur les cinq semaines	86
Tableau 7 : résultats d'Emilie par rapport à la norme de son âge au test 1	88
Tableau 8 : comparatif des résultats d'Emilie en écart-type	94
Tableau 9 : comparatif des résultats d'Emilie par épreuve selon l'étalonnage	94
Tableau 10 : comparatif des résultats de Ludivine par épreuve et en écart-type	101
Tableau 11 : comparatif des résultats de Ludivine par épreuve selon l'étalonnage	101
Tableau 12 : Comparatif des résultats de Ludivine aux épreuves personnelles	102
Tableau 13 : comparatif des résultats de Léo par épreuve et en écart-type	104
Tableau 14 : comparatif des résultats de Léo par épreuve selon l'étalonnage	104
Tableau 15 : Comparatif des résultats de Léo aux épreuves personnelles	105
Tableau 16 : comparatif des résultats de Thibaut par épreuve et en écart-type	107
Tableau 17 : comparatif des résultats de Thibaut par épreuve selon l'étalonnage	107
Tableau 18 : comparatif des résultats de Thibaut aux épreuves personnelles	108
Tableau 19 : comparatif des résultats d'Ariel par épreuve et en écart-type	110
Tableau 20 : comparatif des résultats d'Ariel par épreuve selon l'étalonnage	110
Tableau 21 : Comparatif des résultats d'Ariel aux épreuves personnelles	111

Tableau 22 : comparatif des résultats d'Irène par épreuve et en écart-type
Tableau 23 : comparatif des résultats d'Irène par épreuve selon l'étalonnage
Tableau 24 : Comparatif des résultats d'Irène aux épreuves personnelles
Tableau 25 : comparatif des résultats de Mathieu par épreuve et en écart-type
Tableau 26 : comparatif des résultats de Mathieu par épreuve selon l'étalonnage 116
Tableau 27 : Comparatif des résultats de Mathieu aux épreuves personnelles
Tableau 28 : Effectif par amplitude d'amélioration – épreuve d'estimations de quantités en contexte
Tableau 29 : effectif par progression du score – épreuve de comptage à rebours
Tableau 30 : effectif par progression du score - épreuve de calcul écrit arrondi
Tableau 31 : effectif par progression du score - épreuve de calcul mental
Tableau 32 : effectif par progression du score - épreuve du compteur de vitesse
Tableau 33 : effectif par progression du score - épreuve des écarts
Tableau 34 : effectif par progression du score - épreuve des échelles droites
Tableau 35 : effectif par progression du score - épreuve de l'échelle courbe
Tableau 36 : effectif par progression du score - épreuve de l'estimation PowerPoint
Tableau 37 : analyse du facteur temps pour chaque épreuve et pour l'ensemble du groupe cible 129
Tableau 38 : effectif en fonction du nombre d'épreuves dont la vitesse s'est améliorée
Tableau 39 : comparatif des effectifs par épreuve selon l'étalonnage
Tableau 40 : effectif des améliorations par épreuve, selon l'étalonnage
Tableau 41 : nombre de sujets qui s'améliorent en fonction des jeux
Tableau 42 : effectif par nombre de jeux améliorés
Tableau 43 : progression des places des enfants dans le groupe et par ieu 136

	Tableau 44 : amplitude de l'amélioration par jeu et par enfant	. 137
	Tableau 45 : effectif par type d'amélioration et par épreuve du domaine « sens du nombre »	. 138
	Tableau 46 : effectif par nombre d'épreuves améliorées	. 139
	Tableau 47 : effectif selon le profil des améliorations par épreuve et selon l'étalonnage	. 139
	Tableau 48 : Effectif de progression des scores pour chaque épreuve (groupe témoin)	. 141
_	Figure 1 : progression du concept de numération	8
	Figure 2 : l'expérience de Rumbaugh, Savage-Rumbaugh & Hegel, 1987	
	Figure 3 : expérience de Wynn	23
	Figure 4 : 7ème expérience de Feigenson.	24
	Figure 5 : Modèle du triple code, Dehaene.	29
	Figure 6 : effet de distance	30
	Figure 7 : illusion du "solitaire", Frith & Frith, 1972	37
	Figure 8 : agglomérats "subitizés"	38
	Figure 9 : modèle "de la zone d'occupation"	38
	Figure 10 : effet de distance	39
	Figure 11 : exemples de grilles à estimer	40
	Figure 12 : modèle de Von Aster et Shalev (2007)	48
	Figure 13 : jeu de plateau, Siegler et Ramani, 2008	51
	Figure 14 : protocole expérimental	59
	Figure 15 : épreuve de l'échelle courbe	64
	Figure 16 : exemples de paires présentées	65
	Figure 17 : les différents jeux d'estimation proposés par le site www.mathsisfun.com	
	Comments of the contract of th	

Figure 18 : Jeu 1, estimer une quantité d'éléments entre 10 et 20
Figure 19 : Jeu 2, estimer une quantité d'éléments entre 20 et 50
Figure 20 : jeu 3, estimer une quantité d'éléments entre 20 et 99
Figure 21 : jeu n°3, estimation de longueurs
Figure 22 : jeu n°5, estimer le résultat d'une addition à 2 ou 3 chiffres
Figure 23 : extrait de la grille de réponse
Figure 24 : compteurs de vitesse du test 1 (en haut) et de test 2 (en bas) d'Amélia
Figure 25 : échelles courbes du test 1 (en haut) et du test 2 (en bas) d'Amélia
Figure 26 : comparatif des compteurs du test 1 (en haut) et 2 (en bas) d'Emilie
Figure 27 : comparatif des échelles courbes du test 1 (en haut) et 2 (en bas) d'Emilie
Figure 28 : comparatif des échelles droites vierges du test 1 (en haut) et 2 (en bas) d'Emilie 98
Figure 29 : progression des scores d'Emilie pour chaque jeu sur les cinq semaines
Figure 30 : progression des scores de Ludivine pour chaque jeu sur les cinq semaines 103
Figure 31 : progression des scores de Léo pour chaque jeu sur les cinq semaines
Figure 32 : progression des scores de Thibaut pour chaque jeu sur les cinq semaines 109
Figure 33 : progression des scores d'Ariel pour chaque jeu sur les cinq semaines
Figure 34 : progression des scores d'Irène pour chaque jeu sur les cinq semaines
Figure 35 : progression des scores de Mathieu pour chaque jeu sur les cinq semaines

Clara POLLEDRI

INTERET D'UN ENTRAINEMENT DE L'ESTIMATION NUMERIQUE DANS LES TROUBLES LOGICO-MATHEMATIQUES.

150 pages, 24 références bibliographiques

Mémoire d'orthophonie – UNS / Faculté de Médecine – Nice, juin 2015

RESUME

Certaines recherches de la neuropsychologie cognitive dans le domaine de la cognition mathématique supposent l'existence d'un « sens du nombre » (Dehaene) – compétence intuitive, précoce et partagée avec certains animaux – qui interviendrait dans la conception du nombre et dans de nombreuses compétences arithmétiques. Nous avons émis l'hypothèse qu'un entraînement de l'estimation numérique - tâche développant le code analogique et la numération figurale - mobiliserait le « sens du nombre » qui est perturbé chez les dyscalculiques, et présenterait donc un intérêt dans les troubles logico-mathématiques. Nous avons donc élaboré un programme basé sur un site Internet (consistant à estimer la quantité de divers éléments puis à la donner en chiffres, dans les domaines concrets et symboliques) que nous avons proposé à huit enfants. Nous avons évalué l'impact de l'entraînement sur différentes compétences mathématiques grâce à un test (proposé avant et après le programme) dont nous avons comparé les résultats avec un groupe témoin. Ces résultats nous permettent de conclure à la validation de notre hypothèse puisque notre programme a permis à tous les enfants de développer certaines de leurs compétences « faibles » (souvent dans le domaine de la numération figurale), les aidant ainsi à mieux organiser mentalement les nombres et à mieux appréhender les quantités symbolisées.

Some researches in cognitive neuropsychology in the field of mathematical cognition presuppose the existence of a "number sense" (Dehaene) - Intuitive competence, shared with early and some animals - which intervene in the design of many and many arithmetic skills. We hypothesize that workout numerical estimation - task developing the analog code and counting figural - mobilize the "number sense" that is disrupted in dyscalculia, and therefore would be of interest in disorders logico-mathematics. So we have developed a program based on an Internet site (of estimating the quantity of various elements and to give figures, in both concrete and symbolic areas) we proposed to eight children. We assessed the impact of training on different mathematical skills through a test (proposed before and after the program) we compared the results with a control group. These results allow us to conclude the validation of our hypothesis as our program has allowed all children to develop some of their powers "weak" (often in the field of figural count), helping them to better organize the numbers mentally and to better understand the symbolized quantities.

MOTS-CLES / KEYWORDS

 $\label{eq:continuous} \textbf{DYSCALCULIE} - \textbf{ORTHOPHONIE} - \textbf{RECHERCHE} - \textbf{ENFANT} - \textbf{ADOLESCENT} - \textbf{ENTRAINEMENT} - \textbf{ESTIMATION}$

 $\ \, \mathsf{DYSCALCULIA} - \mathsf{SPEECH} \,\, \mathsf{THERAPY} - \mathsf{RESEARCH} - \mathsf{CHILD} - \mathsf{ADOLESCENT} - \mathsf{TRAINING} - \mathsf{ESTIMATION} \\$

Directeur DE MEMOIRE: Isabelle THUBE-POLI