



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

MEMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

SIMON Camille

Née le 09 avril 1990 à Viriat (Ain)

**EVALUATION LOGICO-
MATHEMATIQUE A TRAVERS LE
LOGICIEL MATHEVAL**

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

Nice

2014

MEMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

SIMON Camille

Née le 09 avril 1990 à Viriat (Ain)

**EVALUATION LOGICO-
MATHEMATIQUE A TRAVERS LE
LOGICIEL MATHEVAL**

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

Orthophoniste

Membres du jury : **HEREMANS Marc,** Psychologue

BONGIOVANI Marine, Orthophoniste

BERTINO Anne-Catherine, Orthophoniste

Nice

2014

REMERCIEMENTS

Je tiens particulièrement à remercier Marc Heremans pour sa disponibilité, la rapidité de ses réponses et pour nos échanges très enrichissants.

J'aimerais également remercier Isabelle Thubé-Poli qui, en sa qualité de Directrice de Mémoire et de Maître de Stage, m'a permis de découvrir la richesse des prises en charge des troubles logico-mathématiques, impliquant une écoute et une adaptation aux patients sans pareilles.

J'ai le plaisir de remercier Anne-Catherine Bertino et Marine Bongiovani pour leur lecture et corrections avisées.

Un grand merci également à Olivia et Solène qui, en plus de m'avoir ouvert les portes de leur cabinet, m'ont accordé leur confiance pour l'installation du logiciel et sa passation auprès de certains de leurs petits patients, dans un désir d'échange guidé par le plaisir et la passion qu'elles entretiennent pour le métier d'orthophoniste.

Merci aux enfants ayant participé à l'élaboration de la partie pratique de ce mémoire pour leurs sourires, leur naturel et toutes les pépites qu'ils m'ont donné à voir, entendre, étudier et apprécier.

Merci enfin à ma famille et aux amis précieux qui ont su, comme toujours, m'apporter leur soutien et m'entourer des plus délicates attentions : Raphaël pour son pragmatisme à toute épreuve, Camille qui aura été et sera toujours la meilleure des marraines, Aude et ses messages réconfortants, Catherine pour la douceur de nos échanges ponctués d'éclats de rire, Marianne pour sa bienveillance et sa bonne humeur communicatives, Clémence et Julie pour leurs gentils mots malgré la distance, Cindy pour son sourire qui semble tout rendre possible, Laëtitia pour sa franchise et son inconditionnel soutien, Maud pour sa présence rassurante, à Mamita pour nos conversations téléphoniques hebdomadaires, mes frère et sœurs, Pierre-Alexandre, Marie, Alice et Louise pour leur fraîcheur et leur présence, et pour finir un énorme merci à mes parents pour leur amour et leur implication, tant pécuniaire que morale, dans mes études.

Merci affectueux à Maguy et ses ronrons apaisants, à Oréo® pour ses sucres rapides, à Lindt® pour ses tablettes réconfortantes, à Monoprix Gourmet® pour son nectar gourmand de goyave ingurgités en quantités industrielles lors de la rédaction de ce mémoire.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION.....	6
PARTIE THEORIQUE.....	7
I. DYS CALCULIE(S).....	8
1. <i>Historique et études scientifiques</i>	8
1.1. Introduction	8
1.2. Données scientifiques	8
1.3. Dyscalculie développementale	9
2. <i>La vision Piagétienne</i>	10
2.1. La période de l'intelligence sensorimotrice	10
2.2. La période de l'intelligence préopératoire	11
2.3. Le stade de la pensée symbolique	11
2.4. Le stade de la pensée intuitive	12
2.5. La période des opérations concrètes ou de l'intelligence opératoire	12
2.6. La période des opérations formelles	13
3. <i>Perspectives neuro-psychologiques</i>	13
4. <i>Compétences cognitives du domaine logico-mathématique altérées dans la dyscalculie</i>	15
5. <i>Manifestations des troubles chez l'individu dyscalculique</i>	15
6. <i>"Diagnostic" de dyscalculie</i>	16
6.1. Précautions d'usage	16
6.2. Classification de la dyscalculie	17
6.3. Prévalence	17
7. <i>Evaluation des dyscalculies</i>	17
7.1. Critères diagnostiques	18
7.2. L'évaluation orthophonique	19
7.3. Les modèles cognitifs	25
7.4. Les tests	28
7.5. Conclusions	37
II. LE LOGICIEL MATHÉVAL.....	38
1. <i>Présentation du logiciel</i>	38
1.1. Conception	38
1.2. Un logiciel expert	39
1.3. Téléchargement et première utilisation	39
1.4. Introduction par Marc Heremans	39
1.5. MathEval en regard des autres tests d'évaluation diagnostique	41
1.6. Un logiciel en constante évolution	43
1.7. Risques et précautions à prendre avec l'informatique comme support d'un test	43
1.8. Aide apportée par le logiciel lors de la passation	44
1.9. Secteurs évalués par MathEval	45
2. <i>Déroulement de la séance d'utilisation de MathEval avec l'enfant</i>	46
2.1. Déroulement d'une passation intéressant le niveau "MSM" test entier	47
3. <i>Les domaines intéressant le nombre</i>	63
3.1. Les procédures de quantification chez l'enfant	63
3.2. Le transcodage	73
3.3. Les gnosies digitales	84
3.4. Le calcul mental	87
3.5. Le sens des nombres	97
4. <i>Exemple de rapport fourni par le logiciel MathEval</i>	99
PARTIE PRATIQUE.....	100
I. EXEMPLES DE PASSATIONS ET RESULTATS OBTENUS AVEC MATHÉVAL	101
1. <i>Méthodologie</i>	101
1.1. Démarche	101
1.2. Population	102

2.	<i>Interviews</i>	102
3.	<i>Passations</i>	104
3.1.	Julie, 9 ans et 9 mois, Ce2	104
3.2.	Léa, 7 ans et 10 mois, Ce1	115
3.3.	Agathe, 6 ans et 7 mois, CP	125
3.4.	Cas des 5 autres enfants	137
3.5.	Conclusions	152
II.	COULISSES DE L'UTILISATION DU LOGICIEL MATHEVAL.....	154
1.	« <i>Soucis</i> » techniques rencontrés lors de l'installation-utilisation du logiciel	154
2.	<i>Echanges avec Marc Heremans</i>	155
3.	<i>Suggestions de modifications éventuelles</i>	159
CONCLUSION		160
BIBLIOGRAPHIE		161
ANNEXES		168
ANNEXE I : DESSIN DE MAINS UTILISE POUR L'ITEM « GNOSIES DIGITALES »		169
ANNEXE II : COMPTE RENDU WORD DE JULIE		170
ANNEXE III : COMPTE RENDU "TEXT EDIT" DE JULIE		171
ANNEXE IV : SCHEMA EXPLIQUANT LE TRANSCODAGE ERRONE DE JULIE		172
ANNEXE V : SCHEMA EXPLIQUANT LE TRANSCODAGE ERRONE DE JULIE		173
ANNEXE VI : COMPTE RENDU EXCEL DE JULIE (NORMES CE1)		174
ANNEXE VII : COMPTE RENDU EXCEL DE JULIE (NORMES CP)		178
ANNEXE VIII : COMPTE RENDU WORD DE LEA		176
ANNEXE IX : COMPTE RENDU "TEXT EDIT" DE LEA		178
ANNEXE X : SCHEMA EXPLIQUANT LE TRANSCODAGE ERRONE DE LEA (1)		180
ANNEXE XI : SCHEMA EXPLIQUANT LE TRANSCODAGE ERRONE DE LEA (2)		181
ANNEXE XII : COMPTE RENDU EXCEL DE LEA (NORMES CE1)		182
ANNEXE XIII : COMPTE RENDU EXCEL DE LEA (NORMES CP)		183
ANNEXE XIV : COMPTE RENDU WORD D'AGATHE		184
ANNEXE XV : COMPTE RENDU "TEXT EDIT" D'AGATHE.....		186
ANNEXE XVI : SCHEMA EXPLIQUANT LA TECHNIQUE DE RECOMPTAGE DU TOUT DEVELOPPEE PAR A... 188		
ANNEXE XVII : SCHEMA EXPLIQUANT LA TECHNIQUE DE RECOMPTAGE DU RESTE DEVELOPPEE PAR A 189		
ANNEXE XVIII : SCHEMA EXPLIQUANT LA TECHNIQUE DE RECOMPTAGE DU RESTE DEVELOPPEE PAR A 190		
ANNEXE XIX : SCHEMA EXPLIQUANT LE TRANSCODAGE ERRONE D'AGATHE		191
ANNEXE XX : COMPTE RENDU EXCEL D'AGATHE		192
ANNEXE XXI : AIDE A L'INSTALLATION DU LOGICIEL MATHEVAL.....		193

INTRODUCTION

Suite à l'appréhension générale que peut générer le simple terme de « troubles logico-maths » que ce soit auprès des patients ou des orthophonistes et le flou parfois total qui encadre cette pathologie, il nous a semblé intéressant d'y consacrer notre mémoire de fin d'études.

Ainsi ce mémoire a comme objectif premier de rassembler les données actuelles de la science à propos des troubles logico-maths, en répertoriant les principaux outils diagnostiques mis à la disposition des orthophonistes pour évaluer leurs patients et envisager des pistes de rééducation.

Outre la présentation des principaux tests disponibles sur le marché, ce mémoire s'intéressera également, en détails, au fonctionnement du logiciel « MathEval », développé par Marc Heremans, un psychologue Belge, au regard de l'évaluation logico-mathématique, et plus particulièrement des domaines intéressant le nombre.

La dernière partie de ce mémoire intéressera l'étude détaillée de passations réalisées à l'aide du logiciel MathEval auprès de jeunes patients suivis pour des troubles orthophoniques mais pas forcément dyscalculiques, tout en recueillant les impressions des deux orthophonistes ayant pris part à cette expérience.

S'en suivra une discussion sur l'évolution du logiciel et son utilisation, dans quelles conditions et à quel moment de la pratique orthophonique, qui conclura ce mémoire.

PARTIE THEORIQUE

I. Dyscalculie(s)

1. Historique et études scientifiques

1.1. Introduction

De nombreux élèves connaissent, pour des raisons diverses, des difficultés dans le domaine du calcul et ce, dès l'école élémentaire. Cela peut aller du simple ennui à une véritable terreur de cet apprentissage et une phobie des nombres. Toutefois, l'instauration d'un soutien personnalisé ou le suivi de séances de remédiation vont permettre, dans bien des cas, à l'élève de combler ses lacunes et de sortir des difficultés provisoires qui le gênaient dans ses apprentissages.

D'ailleurs, certains auteurs considèrent que l'échec des enfants fragiles en mathématiques est dû à l'enchaînement trop rapide des concepts sans leur laisser le temps de les assimiler, de les exercer avant d'en introduire de nouveaux (Cawley 2002). Effectivement, *« ce que l'on enseigne trop vite, trop tôt, ne laisse que des traces imprécises et confuses, qui se combinent en connaissances lacunaires et instables avec, toutefois, cette impression insaisissable de « déjà vu » qui donne un sentiment d'incertitude inquiétante. »* (Gibello-Verdier 2003).

Cependant, pour d'autres élèves, les difficultés se révèlent plus sévères : en effet, malgré tous leurs efforts, ceux de leur famille et de leurs enseignants, les difficultés s'installent dans la durée, engendrant l'incapacité pour ces élèves de comprendre et d'utiliser les nombres et de faire fonctionner de manière autonome les techniques de base utilisées dans le domaine numérique. Ces élèves sont qualifiés de « dyscalculiques ». Mais qu'englobe exactement ce qualificatif ?

1.2. Données scientifiques

La dyscalculie est un trouble d'apprentissage aussi fréquent que la dyslexie. Ces deux grands troubles des apprentissages ont été découverts au même moment, au début du XX^e siècle, mais depuis, les troubles des aptitudes numériques ont fait l'objet de beaucoup moins d'études que ceux concernant les troubles du langage et de la lecture. Aujourd'hui encore, le terme même de « dyscalculie », plus d'un siècle après son apparition, ne fait toujours pas l'objet d'une définition unanimement admise.

« Les bases génétiques de la dyslexie commencent à être élucidées. Il est maintenant bien établi que le risque de dyslexie augmente considérablement dans les familles où l'un au moins des parents est atteint ; les premiers gènes candidats ont été découverts, et l'on voit même apparaître, en recherche, des indices d'activité cérébrale qui permettent d'identifier, dès la première année de vie, les enfants les plus à même de devenir dyslexiques. Dans le domaine de la dyscalculie, par contre, tout reste à faire. Des progrès

essentiels pourraient être réalisés si l'on parvenait à identifier des familles à risque, dont plusieurs membres sont affectés d'une dyscalculie sévère. »¹

Elle peut apparaître de manière isolée ou associée à la dyslexie, ou encore à des troubles déficitaires de l'attention avec ou sans hyperactivité. Son incidence augmente progressivement au cours de la scolarité primaire et ces difficultés sont persistantes. Certaines classifications ont été proposées, mais aucune ne semble particulièrement convaincante.

Un certain nombre de facteurs cognitifs généraux ont été évoqués comme causes possibles de la dyscalculie. Certains, comme un problème d'inhibition ou de récupération de l'information en mémoire à long terme, ne sont pas soutenus par les données empiriques. D'autres, en revanche, semblent pouvoir être mis en lien avec des difficultés d'apprentissage des mathématiques. En particulier de **faibles gnosies digitales** (*utilisation spontanée de l'enfant pour montrer une certaine numérosité, pointer les objets lors d'un dénombrement ou encore tenir le compte de ses pas de comptage dans la résolution de petites opérations arithmétiques*), des difficultés en mémoire de travail (composante administrateur central surtout) ou dans les tâches de conscience phonologique sont des prédicteurs significatifs de difficultés d'apprentissage en mathématiques. Ces deux derniers facteurs ne sont toutefois pas des prédicteurs spécifiques, puisqu'ils sont également liés à d'autres troubles d'apprentissage, comme la dyslexie, par exemple.

1.3. Dyscalculie développementale

Sans évoquer ici des altérations de la capacité à comprendre et à utiliser les nombres qui trouveraient leur origine dans des traumatismes, des lésions organiques ou des dégénérescences, nous n'aborderons ici que le cas de « **dyscalculie développementale** », c'est-à-dire, d' « un trouble spécifique de l'acquisition des compétences numériques et des habiletés arithmétiques – manipulation des nombres et leur mise en relation - qui se manifeste chez des élèves d'intelligence normale ne présentant pas de déficit neurologique acquis ».

Selon le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM IV²), section « trouble de l'apprentissage », trois critères diagnostiques sont proposés pour la dyscalculie développementale :

- les aptitudes arithmétiques, évaluées par des tests standardisés, sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge du sujet, de son niveau intellectuel et d'un enseignement approprié à son âge ;
- cette perturbation interfère de manière significative avec la réussite scolaire de l'enfant ou les activités de la vie courante ;
- les difficultés en mathématiques ne sont pas la résultante d'un déficit sensoriel.

¹ MOLKO, WILSON et DEHAENE

² AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 1996

La dyscalculie développementale se définit donc par des difficultés inhabituelles dans l'apprentissage de l'arithmétique qui ne peuvent pas être expliquées par un manque d'intelligence, une scolarité inappropriée ou un manque de motivation. Le plus souvent, aucune cause n'est retrouvée dans la dyscalculie, et l'hypothèse avancée est que, sous l'influence de facteurs génétiques et environnementaux, il existerait une anomalie du développement des réseaux neuronaux impliqués dans la perception des nombres.

2. La vision Piagétienne

Selon Piaget, l'origine de la pensée humaine ne naît pas de la simple sensation, elle n'est pas non plus un élément inné. Elle se construit progressivement lorsque l'individu, et en particulier, l'enfant, entre en contact avec le monde.

Piaget est contre les concepts de l'innéisme. Il tente de modéliser le développement de l'intelligence sur la base de principes logiques. L'enfant est un logicien en herbe, qui donne un sens aux objets en faisant émerger leurs propriétés et fonctions. Il réinvente le monde physique (théorie constructiviste). Piaget parle alors d'actions extériorisées et intériorisées. Ce sont des conceptions physiques avant tout.

La logique et les mathématiques sont le raisonnement, qui lui est la forme optimale de l'adaptation biologique, donc du cerveau.

Ainsi, il divise le développement psychologique de l'enfant en plusieurs périodes (chacune elle-même divisée en stades, conditionnant le suivant) qui sont :

- la période de l'intelligence sensorimotrice (de la naissance à 2 ans)
- la période de l'intelligence préopératoire (de 2 à 6 ans)
- la période des opérations concrètes ou de l'intelligence opératoire (de 6 à 10 ans)
- la période des opérations formelles (de 10 à 16 ans)

Les âges qui voient le passage d'un stade à l'autre sont donnés à titre indicatif et basés sur une moyenne. Certains enfants peuvent ainsi commencer le passage du troisième au quatrième stade dès 10 ans alors que d'autres y parviendront vers 12 ans.

2.1. La période de l'intelligence sensorimotrice (0-2 ans)

Au début l'intelligence est essentiellement pratique. Elle se construit en fonction des sens et de la motricité de l'enfant. Elle permet d'organiser le réel selon un ensemble de structures spatio-temporelles et causales.

Ainsi la période sensorimotrice se divise en 6 stades : le stade de l'exercice des réflexes, des réactions circulaires primaires, des réactions circulaires secondaires, de la coordination des schèmes secondaires, des réactions circulaires tertiaires et le stade de la représentation symbolique.

A cette période, l'enfant ne possédant ni langage ni fonction symbolique, ces constructions s'effectuent en s'appuyant exclusivement sur des perceptions et des mouvements, autrement dit, par une coordination sensorimotrice des actions sans intervention de la représentation ou de la pensée. Les principales acquisitions cognitives de l'enfant sont donc la causalité, la permanence de l'objet et la représentation symbolique. C'est d'ailleurs l'accès à la fonction symbolique qui marque la fin de cette première période, car à partir de cet instant le bébé est capable de se représenter des objets et situations non directement perceptibles à l'aide de signes (mots) ou de symboles (dessins).

2.2. La période de l'intelligence préopératoire (2-6 ans)

Elle se divise en deux stades : celui de la pensée symbolique (ou préconceptuelle), concernant l'enfant de 2 à 4 ans environ, et celui de la pensée intuitive, concernant l'enfant de 4 à 6 ans.

2.3. Le stade de la pensée symbolique (2-4 ans)

Le stade de la pensée symbolique se caractérise par les préconcepts (premières ébauches de concepts développés par l'enfant pour schématiser ses premières représentations des gens et des choses en associant leurs similarités), l'égoïsme intellectuel (révélé à l'enfant par la causalité morale et le finalisme), le raisonnement transductif (fait de passer d'un cas particulier à un autre pour arriver à une conclusion, le plus souvent erronée) et la pensée animiste (fait de prêter des caractéristiques humaines aux objets et aux événements).

Cette période est surtout marquée par diverses acquisitions : développement des capacités langagières, capacité à dialoguer, formation de la notion de quantité.

Il est aussi à noter qu'à ce stade l'enfant vit dans la contradiction : il peut affirmer une chose et son contraire immédiatement après sans que cela ne le gêne.

Dans le cadre des opérations logiques, il commence à être capable de classer ou de sérier des objets mais sans notion de réversibilité (il est encore incapable de faire une opération et son inverse).

2.4. Le stade de la pensée intuitive (4-6 ans)

Ce stade se caractérise quant à lui par l'intuition (les perceptions visuelles de l'enfant l'aident à comprendre la réalité sur un monde intuitif), la centration (produit par les interactions entre éléments perçus simultanément lors d'une seule fixation du regard) et les précatégories (collections figurales et non figurales).

Le meilleur exemple de la centration chez l'enfant au stade préopératoire est sa difficulté à comprendre la notion de **conservation**. Certaines choses, que ce soit une quantité ou un volume, ne changent pas si on modifie juste leur apparence sans opérer de transformation réelle (*comme le fait de transvaser le contenu d'un bol de forme ronde dans un vase de forme cylindrique allongée*). Elles sont ainsi « conservées ».

Les collections figurales peuvent être des configurations auxquelles l'enfant attribue une signification ou des alignements d'éléments qui se ressemblent ou s'accordent pour des raisons qui changent constamment. Les collections non figurales, elles, sont des ensembles complémentaires, mais pas encore des classes logiques, sans hiérarchie inclusive des ensembles d'éléments. L'enfant ne comprend pas le principe de l'inclusion des classes, selon lequel les classes en incluent d'autres (appelées sous-classes).

2.5. La période des opérations concrètes ou de l'intelligence opératoire (de 6 à 10 ans)

Pendant cette période, l'intelligence dite opératoire reste dépendante de la présence (dans le champ de la perception) des éléments sur lesquels porte la réflexion, marquée par la réversibilité de toute opération. La période des opérations concrètes correspond au stade des conduites opératoires. Elle est marquée par l'acquisition de certaines notions :

- les conservations physiques :
 - o **Conservation de la quantité de la matière** (7-8 ans)
 - o **Conservation de la quantité de poids** (8-9 ans)
 - o **Conservation de la quantité de volume** (11-12 ans)
- les conservations spatiales :
 - o **Conservation des quantités numériques** (7 ans)
 - o **Classification** (8 ans)
 - o **Sérialisation** (8 ans)
 - o **Groupements multiplicatifs** ou la capacité à combiner classification et sérialisation.

2.6. La période des opérations formelles

Cette période est caractérisée par 5 éléments : le passage du concret à l'abstrait, le passage du réel au possible, la prévision des conséquences à long terme, la logique déductive et la résolution systématique des problèmes.

Cette période est aussi celle de l'adolescence. Alors que l'enfant ne pouvait jusqu'ici raisonner que sur du concret, l'adolescent peut établir des hypothèses détachées du monde sensible.

Dans la théorie piagétienne, l'accès à la logique formelle est la dernière étape d'un processus qui débute dès la naissance, fruit d'une succession d'adaptations au réel.

Pour résumer, l'acquisition des concepts numériques s'effectue au départ par l'exploration des propriétés physiques de l'objet (période sensori-motrice) et tout particulièrement de leurs caractéristiques spatiales. Parmi les importants pré requis au calcul, on retrouve à la fois la maîtrise de la sériation et celle des quantités.

Selon cette conception, l'établissement de notions logico-mathématiques s'effectue par passages en stades obligatoires et relativement fixes au cours du développement. La fin des stades opératoires concrets se produit quasiment au même âge pour des relations logiques et pour des relations spatiales, ce qui indiquerait leur dépendance relative.

Piaget, et Siegler à sa suite, considèrent que le nombre est une activité, et qu'en conséquence, les compétences s'acquièrent par les performances : c'est donc à partir des activités numériques que nous construisons les compétences.

3. Perspectives neuro-psychologiques

Grâce au développement de l'imagerie cérébrale, et par comparaison avec des adultes cérébro-lésés présentant des troubles du calcul, ou l'observation des capacités perceptives du nourrisson, d'autres théories ont vu le jour.

Elles révèlent, chez un enfant âgé de moins d'un an, des capacités bien plus étendues que ne le laisse supposer la théorie piagétienne des stades sensori-moteurs : en effet, un certain degré de comptage et d'appréhension spatiale serait maîtrisé avant toute manipulation effective d'objets (soit la notion de subitizing, que nous détaillerons plus tard³ dans ce mémoire).

³ Se référer au chapitre II, paragraphe 1.1 « le Subitizing ».

Par ailleurs, des expériences sur le regroupement en configuration ludique spontané d'objets par les jeunes enfants semblent le confirmer : il existerait des variations développementales dans la pertinence des critères de regroupement d'objets, avec jusqu'à trois ans, une tendance au mélange des critères logiques et spatiaux.

Après cet âge, on assiste à l'installation progressive de l'indépendance de ces deux critères. Dans cette perspective, il semble que le développement logique (base du calcul), et celui des fonctions spatiales soient plus indépendants qu'on ne le pensait ultérieurement.

Aussi, la neuropsychologie accepte l'idée d'un déterminisme spatial dans les troubles du calcul, par observation de cas de dysfonctionnement de **l'hémisphère droit**.

Ce dernier prendrait en charge :

- ***La conceptualisation des quantités numériques***
- ***Le comptage sans support écrit ou manuel (donc mentalisé)***
- ***Les aspects visuo-spatiaux***
- ***Les fonctions piagésiennes***
- ***La coordination pour la main gauche***

Tandis que **l'hémisphère gauche** gèrerait :

- ***La production et la reconnaissance des nombres*** (soit le transcodage des nombres, leur production comme leur lecture et écriture)
- ***La séquenciation⁴ et le stockage des faits numériques dans la mémoire sémantique*** (tables d'addition, de multiplication et résultats d'opérations élémentaires)

Ainsi, avant de pouvoir manipuler les procédures et passer à un traitement verbalisé des opérations (mené par l'hémisphère gauche), l'enfant doit maîtriser la compréhension des concepts concrets à leur origine (compréhension dépendant initialement de l'hémisphère droit).

⁴ le terme de « séquenciation » permet d'intégrer une dimension temporelle en rappelant que les opérations de découpage se font par rapport à un ensemble qui ne doit jamais être perdu de vue : une séquence à certes son unité, mais celle-ci fait partie d'une unité plus globale dans laquelle elle trouve tout son sens. En d'autres termes, la nécessaire segmentation ne doit pas simplement aboutir à une fragmentation.

4. Compétences cognitives du domaine logico-mathématique altérées dans la dyscalculie

Le domaine logico-mathématique regroupe une série de compétences cognitives distinctes comprenant :

- 1) la **numération** : ou compétence permettant le sens des nombres, de la suite des nombres, leurs représentations, ainsi que la capacité de faire une correspondance terme à terme ;
- 2) le **principe de conservation** : s'appliquant aux quantités, aux volumes, aux grandeurs... ;
- 3) la **catégorisation** (regroupement d'éléments en fonction de critères communs) et la **sérialisation** ;
- 4) la **maîtrise des opérations** : soit la compréhension du principe de l'addition, de la soustraction, de la multiplication et de la division, et la connaissance de la procédure pour arriver au bon résultat (comprenant la pose des opérations et les stratégies de calcul mental) ;
- 5) le **raisonnement logique** : compétence permettant de faire des liens de causalité, tirer des conclusions à partir d'hypothèses ou encore sortir des données pertinentes d'un énoncé pour mener à bien une résolution de problème.

5. Manifestations des troubles chez l'individu dyscalculique

Les « troubles du calcul » dont souffre l'élève dyscalculique peuvent affecter une seule, plusieurs, ou l'ensemble des compétences cognitives mobilisées dans ces aspects procéduraux et conceptuels des entités cliniques très diverses, et leur description reste donc essentiellement symptomatique. La manifestation de ces troubles peut se retrouver dans des difficultés à :

- compter
- dénombrer
- reconnaître immédiatement les petites quantités
- connaître les systèmes numériques oraux et/ou écrits (chiffres arabes)
- passer d'un code numérique à un autre
- manier la numération en base 10
- se représenter en analogique une quantité
- effectuer un calcul mental
- poser un calcul par écrit
- résoudre des problèmes
- apprendre des faits numériques (comme les tables de multiplication)

6. « Diagnostic » de dyscalculie

6.1. Précautions d'usage

Le diagnostic de « dyscalculie » est posé par les orthophonistes, professionnels formés à évaluer et à rééduquer ce trouble. L'évaluation va pouvoir démontrer l'hypothèse diagnostique de dyscalculie chez la personne et cette évaluation pourra aider les orthophonistes à poser leur diagnostic. Une prise en charge précoce permettra de pallier les difficultés de la personne, ce qui favorisera une meilleure insertion au quotidien (notamment à l'école et au moment de son orientation).

Il est important de ne pas parler de « dyscalculie » trop rapidement et, en tous cas, pas avant l'âge de 8 ans car les différences interindividuelles avant les apprentissages formalisés et surtout au début des apprentissages scolaires sont encore très importantes.

Avant tout diagnostic, il est également important de tenir compte de la date anniversaire des enfants (les consultations les plus fréquentes concernent des enfants nés en fin d'année civile – entre le mois d'octobre et le mois de décembre-) car la maturité cognitive développée par ces enfants ne leur permet pas toujours de suivre le rythme souvent rapide des apprentissages numériques, ces derniers témoignant souvent d'une mobilité logique réduite (en effet, selon Piaget, ils ne disposent pas encore des structures logiques nécessaires à la construction des nombres. Ils utilisent encore souvent des stratégies primitives de comptage et de dénombrement qui ne leur permettent pas de disposer d'outils fiables pour résoudre les opérations mathématiques proposées⁵).

Cette description correspond donc à des difficultés réelles, mais ne permettant pas de faire un diagnostic étiologique, ce qui complique d'autant la mise en œuvre de véritables tests d'évaluation et celle de protocoles-types de « rééducation ». En outre, ces troubles du domaine logico-mathématique sont la plupart du temps associés à d'autres troubles cognitifs spécifiques (regroupés sous l'appellation « dys ») : troubles de l'attention et exécutifs, troubles du langage, troubles visuo-spatiaux, difficultés mnésiques. Il faut toutefois noter que quelques cas remarquables montrent que la dyscalculie peut aussi exister de façon isolée, c'est-à-dire sans déficit associé).

Une classification reste malgré tout utile pour repérer le type des difficultés que présentent l'enfant en calcul.

⁵ DE VRIENDT S., VAN NIEUWENHOVEN C. 2010

6.2. Classification de la dyscalculie

On distingue ainsi trois grandes formes de dyscalculie :

- 1) une **dyscalculie du traitement numérique**, qui se traduit par des difficultés à lire et/ou écrire les nombres. Cette « dyscalculie par alexie ou agraphie des nombres » résulte de difficultés de transcodage, soit le passage de l'oral (phonologie) aux chiffres arabes et/ou aux lettres (alphabétisation), avec des erreurs de type lexical ou syntaxique.
- 2) une **dyscalculie « mémorielle »**, qui se traduit par une incapacité à acquérir les faits numériques, comme les tables d'addition et de multiplication.
- 3) une **dyscalculie « procédurale »**, qui entraîne des difficultés dans la mise en œuvre de procédures, ou algorithmes (+, -, x, :), et de raisonnements. L'enfant va ainsi échouer à résoudre une opération écrite, à donner du sens aux opérations ou encore à maîtriser des priorités dans une chaîne de calcul. Ces altérations de fonctions peuvent résulter d'une immaturité des stratégies de comptage ou de troubles oculo-moteurs, de l'orientation droite-gauche, des signes miroirs, d'une mauvaise maîtrise du système positionnel entraînant des difficultés persistantes d'apprentissage de l'écriture des opérations posées verticalement et en géométrie.

6.3. Prévalence

Il existe une grande variabilité au sein des études réalisées pour établir la prévalence de la dyscalculie, intéressant notamment la population testée et les tests utilisés.

Ainsi, selon l'INSERM, la dyscalculie touche plus les filles que les garçons (bien que les filles soient moins stimulées socialement dans cet apprentissage).

Des études portant sur d'assez larges échantillons font apparaître qu'entre 3,5 et 7% d'enfants seraient «dyscalculiques»⁶.

7. Evaluation des dyscalculies

La dyscalculie développementale est un trouble d'apprentissage touchant spécifiquement le calcul. Selon Temple⁷, les enfants dyscalculiques présentent : « *un trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques qui se manifeste chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficits neurologiques acquis.* »

⁶INSERM, janvier 2014

⁷TEMPLE

La dyscalculie peut être isolée, sans autre trouble associé, mais elle est aussi fréquemment associée à des difficultés d'apprentissage de la langue écrite.

Comme pour les autres troubles d'apprentissage Dys, une évaluation diagnostique est nécessaire pour préciser et examiner les compétences numériques qui ne se limitent pas à un problème de calcul ; les difficultés peuvent être variées et toucher le comptage, le calcul, la maîtrise des systèmes numériques, le transcodage, la résolution de problèmes... Les évaluations s'attacheront donc particulièrement à ces indicateurs.

7.1. Critères diagnostiques

Reprenons le DSM-IV et ses trois critères diagnostiques de la dyscalculie :

- 1) ***les aptitudes numériques, évaluées par des tests standardisés, sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge, du niveau intellectuel et de l'enseignement approprié à son âge ;***

Ainsi suivant ce premier critère, les performances de l'enfant en calcul, mesurée à l'aide d'une épreuve standardisée, doivent être nettement inférieures à celles qui sont normalement attendues chez un enfant de son âge.

- 2) ***le trouble interfère de façon significative avec la réussite scolaire de l'enfant ou les activités de la vie courante ;***

Ce deuxième critère fait référence à l'impact du trouble du calcul dans la vie quotidienne de l'enfant. En effet, outre les difficultés scolaires (que ce soit en mathématiques et/ou dans les matières nécessitant l'utilisation de données numériques), les dyscalculies ont surtout des répercussions importantes dans la vie quotidienne, comme des difficultés liées à la manipulation des sommes d'argent (pour régler des courses) et à manier les nombres et les chiffres (appréciation des durées, des distances ou des quantités ...).

Ainsi on ne parlera pas de trouble du calcul si le sujet est adapté à son environnement et n'éprouve aucun désagrément lié aux difficultés mises en évidence dans les tests.

- 3) ***les difficultés en mathématiques ne résultent pas d'un déficit sensoriel ;***

Le troisième critère permet quant à lui le diagnostic différentiel entre trouble spécifique d'apprentissage et trouble secondaire à un déficit sensoriel.

Le diagnostic de dyscalculie sera envisagé dans le cas où l'enfant obtient des performances très inférieures à la moyenne des enfants de son âge aux tests standardisés, alors que son niveau intellectuel est tout à fait dans la norme.

Il est donc primordial de disposer d'outils d'évaluation diagnostique standardisés afin de distinguer un trouble d'un retard d'apprentissage.

7.2. L'évaluation orthophonique

L'évaluation diagnostique doit s'intéresser aux performances et aux compétences.

En effet, nous évaluons chez l'enfant à la fois :

- les **connaissances et le savoir (acquis)** qui nous révèlent les performances (pouvant être chiffrées) de l'enfant
- les **stratégies et les procédures** qui, quant à elles, nous révèlent les compétences de l'enfant, à travers des investigations du type « *Quels moyens met-il en place ?* » ou encore « *Cet enfant utilise-t-il l'aide implicite que nous pouvons lui apporter ?* ».

Les compétences pourraient ainsi se définir comme la capacité développée par l'enfant à trouver des solutions et à modifier ses stratégies lui permettant d'aboutir.

Les tests évaluant les performances font référence à des comportements directement observables et ne s'appuient sur aucun modèle de l'activité mentale mise en oeuvre dans les épreuves, ne s'intéressant qu'à la qualité des tâches réalisées par l'enfant.

Selon Grégoire⁸, « *les tests centrés sur les performances scolaires souffrent du manque de référence théorique permettant de comprendre les causes profondes des phénomènes observés* ».

En revanche, l'évaluation des compétences vise les capacités cognitives qui interviennent dans la réalisation des tâches. Les tests de compétence s'appuient nécessairement sur un modèle cognitif et les outils dont nous disposons se sont appuyés sur les travaux piagétien et/ou neuropsychologiques.

Ainsi, **ces deux niveaux (performances/compétences) doivent normalement être corrélés afin d'établir un profil représentatif du fonctionnement de l'enfant.** Le niveau de performances va situer quantitativement l'enfant selon un profil dicté par son niveau scolaire ou par sa classe d'âge. C'est pour cela qu'il est primordial de situer l'enfant à la fois selon un niveau de performance, comme un niveau de compétence. Ainsi les mêmes chiffres relatifs à deux enfants différents peuvent ne pas du tout avoir la même valeur.

⁸ GREGOIRE, VAN NIEUWENHOVEN et NOEL, 2002

Réaliser un bilan c'est à la fois :

- **mesurer**, à l'aide d'outils de mesures que sont les tests, afin d'obtenir des résultats sous forme d'écarts-types et de moyennes (*bien que pour le bilan de la dyscalculie la mesure ne s'établit pas en fonction d'écarts-types mais par rapport à ce qui est attendu pour chaque niveau d'âge*), soit **l'aspect quantitatif du bilan**
- **évaluer**, à l'aide cette fois d'outils d'analyse (analyse propre à notre compétence clinique en tant qu'orthophoniste) sous forme de grilles, permettant **l'aspect qualitatif du bilan**.

Il est important de ne pas perdre de vue que **le bilan est également un point de repère par rapport aux bilans précédents et suivants, et qu'il représente un état ponctuel**, une fenêtre ouverte sur le fonctionnement de l'enfant, soit ce que l'on a vu tel jour à tel moment.

7.2.1. L'anamnèse

Au préalable, lors de l'anamnèse, le rééducateur doit s'attacher à préciser les difficultés de l'enfant, en évaluant le contexte actuel propre à la manifestation des difficultés.

Effectivement, **un diagnostic différentiel est nécessaire** car des troubles de l'humeur tels que la dépression peuvent avoir pour symptômes des difficultés de calcul, de mémoire et d'attention. Un bilan logico-mathématiques n'est alors pas approprié et/ou devra intervenir à la suite du traitement de ces troubles de l'humeur.

De manière générale, l'anamnèse consiste à recueillir des informations précises sur :

- **Le déroulement de la grossesse**
- **Les antécédents médicaux et familiaux** (les parents ont-ils eu des difficultés dans leur apprentissage ?)
- **L'âge des acquisitions concernant le développement moteur de l'enfant** : la marche, le fait de pédaler sans les petites roues, la nage, ses relations aux puzzles, lego et autre mécano, l'autonomie de l'habillage et développement de la motricité fine (faire ses lacets, s'habiller tout seul).
- **Le développement des notions de temps** : hier/demain, lire l'heure, se repérer dans la semaine et dans la journée
- **Les acquisitions scolaires** : difficultés, opérations, problèmes, géométrie, apprentissage des tables, tableaux de conversions, utilisation des instruments
- **L'appréciation des parents concernant leur enfant** : comment le qualifieraient-ils ?
- **La réalisation de bilans orthophoniques ou autres** : en cas de bilan psychométrique il faut être attentif à un éventuel différentiel QIV (Quotient Intellectuel Verbal) – QIP (Quotient Intellectuel Performance). En effet, si l'Indice de Compréhension Verbale est supérieur à l'Indice de Raisonnement Perceptif, il ne s'agit pas d'une dysphasie mais cela peut présager des troubles logico-mathématiques importants.

7.2.2. Evaluation des outils fondamentaux

7.2.2.a. L'espace

L'espace est investigué à travers 4 domaines particuliers :

- Le lexique spatial :
 - o « **Montre-moi** », on va tester les différentes notions « haut/bas », « droite/gauche » (*acquis vers 6-7 ans*), « en haut à droite/en bas à gauche »
 - o **Les points cardinaux** (*pour les plus grands*)
 - o **Les termes de position** : « sous/sur », « devant/à côté/entre », etc ...
- L'heure : (*à tester à partir de 8 ans*)
 - o **à partir d'une représentation corporelle**
 - o **sur une représentation figurale d'horloge vierge** (*orientation des aiguilles*)
- La mesure :
 - o **A travers la taille de l'enfant**
 - o **L'évaluation de mesure d'objets tels que le bureau et la pièce**
 - o **L'évaluation de distance** (*entre le cabinet et sa maison*)
 - o **La re/connaissance des unités de mesures**
- La latéralité :
 - o **De l'œil**
 - o **De la main**
 - o **Du pied**
 - o **Imitation**
 - o **Reproduction de figures géométriques**
 - o **Copie/réalisation d'une figure à l'aide de cubes de Khos**
 - o **Test de la goutte** (*pour les petits*) **ou figure de Rey** (*pour les plus grands*) : *réalisation en mémoire et en copie*

7.2.2.b. Le temps

Le temps va, quant à lui, être évalué à travers divers questions que nous allons poser à l'enfant intéressant :

- Sa date de naissance
- La date du jour
- Le nombre de jours par semaine
- Le nombre de mois dans une année
- Le repérage dans la journée

- Les notions temporelles : présent/passé/futur
- La successivité
- L'heure (notion de temps qui passe)
- L'anticipation
- La durée
- Les unités de temps (seconde, minute, heure, jour, semaine, mois, année, etc... selon une épreuve de sériation)
- Les histoires en images
- Reproduction de structures rythmiques (test de Mira Stamback)

7.2.2.c. Le langage propre aux activités logico-mathématiques

Investigué à travers la compréhension et l'utilisation des notions « chaque », « égalité », « autant », « partie », « avec », « entre », « de plus », « fois plus », « et », « sauf », « double », « moitié », « tous », « aucun », « quelques », etc ...

7.2.2.d. Les images mentales

Les images mentales vont faire l'objet d'épreuves d'anticipation, de manipulation d'objets cachés, puis de nombres cachés.

Pour conclure, l'évaluation de ces outils fondamentaux est importante, notamment pour mettre en évidence certaines difficultés propres à chacun de ces outils, corrélées directement à des difficultés d'ordre logique et/ou mathématiques..

En effet, les difficultés de repérage dans l'espace et dans le temps peuvent être des signes précurseurs de difficultés futures en arithmétique. Des études ont également montré que chez les enfants scolarisés en grande section de maternelle (GSM), l'évaluation des gnosies et des praxies digitales seraient des prédicateurs de futurs bons ou « mauvais » calculateurs. Cependant, ces études sont critiquées du point de vue de leur démarche expérimentale, nous aurons l'occasion d'y revenir dans le chapitre II de ce mémoire⁹.

Enfin, lors d'une évaluation des troubles logico-mathématiques, il convient d'analyser d'une part les structures de pensée et d'autre part le nombre en lui-même, à travers des épreuves testant le comptage, le dénombrement, etc ...

Si les structures de pensée font appel en partie à l'hémisphère droit, la deuxième partie de cette évaluation concerne spécifiquement l'hémisphère gauche.

⁹ Se référer au chapitre II, paragraphe 1.3 intitulé « *les gnosies digitales* ».

7.2.3. Evaluation « logique » des structures de pensée

Lors de l'évaluation des structures de pensée, on s'attachera tout particulièrement à rechercher les habiletés :

- de **classification**, soit la capacité de « mettre des choses ensemble », donc de regrouper des objets selon leur(s) critère(s) commun(s) sans ordre sériel.
 - o Au sein desquelles nous retrouvons la catégorisation : **une classe se caractérisant toujours par sa compréhension** (qui rassemble les caractères communs s'appliquant aux individus qui la composent, soit la liste des critères ou attributs définis pour constituer cette classe) **et son extension** (qui concerne l'ensemble des individus auxquels s'appliquent les caractères communs, soit une relation de partie à tout) ;
 - o Et la notion d'inclusion de classe (ou quantification de l'inclusion): **on étudiera les groupements de type additif** (concernant deux types de classes : symétriques et asymétriques) **comme ceux de type multiplicatif** (concernant deux autres types de classes : biunivoques et co-univoques).
- de **sériation**, soit la mise en relation de différences pouvant s'ordonner car dans la sériation un objet ne se définit qu'en fonction d'un ou de plusieurs autres.

On s'attachera à évaluer **l'acquisition de la conservation**, des **longueurs**, de la **masse**, du **volume**.

La **correspondance terme à terme** est également à investiguer, cette épreuve permettant de situer l'enfant en nous apportant un aperçu supplémentaire de ses capacités abstractives.

Lors de l'évaluation logique, on évaluera la **compréhension du tout et de ses parties**, de la **variance et de l'invariance de ce tout en fonction de l'action faite**.

Le domaine de la **résolution de problème** doit également être évalué par le biais de petits problèmes assez simples où l'inconnue devra se placer aux différentes étapes de résolution (soit au début, au milieu ou à la fin). Il faut savoir que la recherche de l'inconnue en étape finale est la plus facile, tandis que les recherches de la transformation puis de l'étape initiale sont plus élaborées.

7.2.4. Evaluation des domaines propres au nombre

La partie numérique est primordiale lors d'une tentative d'explication des troubles du calcul. Effectivement, si le versant logique est préservé alors que la partie numérique est échouée il faudra alors se poser la question d'une dyslexie éventuelle, pouvant être à l'origine des difficultés de transcodage.

Cette partie numérique s'attache à vérifier :

- L'**acquisition du comptage oral** (comptine numérique, comptage jusqu'à une borne, comptage entre deux bornes, comptage à rebours, comptage par pas, ...)
- Les **capacités de dénombrement** et la **bonne coordination langage-pointage**
- L'**acquisition du comptage écrit**, impliquant les **capacités de transcodage** (phonologique oral vers phonologique écrit et vice versa, phonologique oral vers numération en chiffres arabes et inverse, ou encore phonologique écrit vers numération en chiffres arabes dans les deux sens¹⁰)
- Les **faits arithmétiques** (soit les tables d'addition, de multiplication mais également les doubles ainsi que les complémentaires à 10, etc ...)
- Le **calcul mental**

7.2.5. Evaluation du langage

L'évaluation des habiletés langagières est bien évidemment incontournable de toute évaluation logico-mathématique, voire toute évaluation en général, et s'effectue en général dès l'anamnèse.

En effet, les difficultés de résolution de problèmes peuvent être liées à des difficultés de lecture, trop fastidieuse pour permettre à l'enfant d'accéder au sens de ce qu'il lit, voire pour permettre le stockage en mémoire des informations. Ce qui explique la forte corrélation existant entre la dyslexie et la dyscalculie.

Un niveau d'inférences logiques (verbales ou non) trop faible peut également perturber significativement les performances en mathématiques. Aussi, le versant réceptif du langage doit faire l'objet d'une évaluation précise.

¹⁰ Nous détaillerons plus en détails les mécanismes propres au transcodage dans le chapitre II, paragraphe 1.2 « le transcodage ».

7.2.6. Evaluation des « acquisitions scolaires »

Enfin, en fonction du niveau scolaire de l'enfant, on évaluera les connaissances conceptuelles et les notions scolaires.

Pour se faire, les opérations seront testées afin de savoir si l'enfant les a acquises en compétences. Les équivalences numériques sont elles aussi de bons indicateurs des capacités de l'enfant à changer de point de vue et de sa compréhension du système décimal.

D'autres notions devront également être contrôlées en fonction de la classe d'âge de l'enfant.

En fonction des domaines et de leur affectation, un type de dyscalculie peut être isolé. Hormis les dyscalculies verbales très spécifiques, une distinction entre les autres types de dyscalculies est difficile car généralement plusieurs domaines sont touchés.

Le bilan à travers son analyse et interprétation orthophonique permet ainsi d'entreprendre une remédiation sur les domaines perturbés apparus lors du bilan.

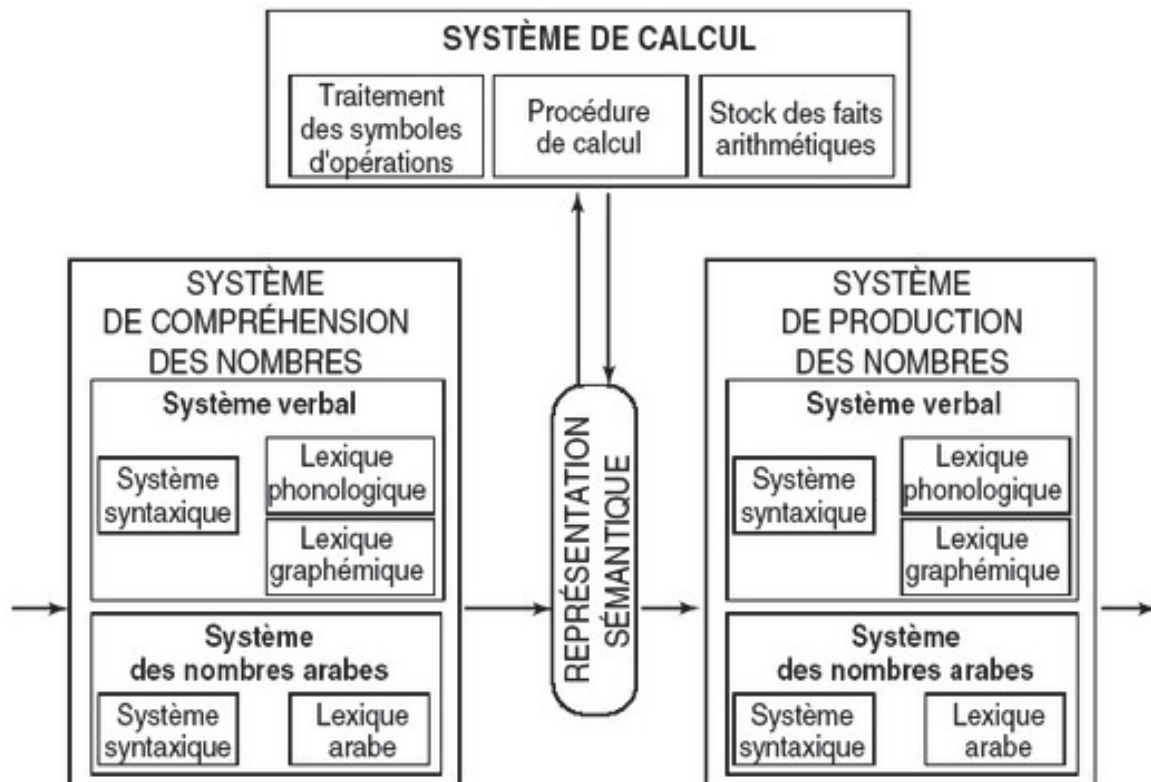
7.3. Les modèles cognitifs

7.3.1 Le modèle modulaire ¹¹

Les auteurs décrivent plusieurs composantes :

- un système de compréhension des nombres
- un système de production des nombres
- un système de calcul
- une représentation sémantique

¹¹ MCCLOSKEY, CARAMAZZA et BASILI, 1985



Pour McCloskey et al., la représentation sémantique du nombre est codée sous un format interne unique et amodal. Ainsi la représentation sémantique correspondant au nombre écrit cinq mille trente est exactement la même que celle de la séquence phonologique correspondante ou de la séquence écrite 5030. Les auteurs isolent des mécanismes responsables de la compréhension des nombres et d'autres, responsables de la production. Le système de compréhension permet de construire, à partir d'un input donné, la représentation sémantique en un nombre dans le code de sortie requis.

A l'intérieur de ces deux systèmes, les auteurs distinguent un sous-système responsable du traitement des nombres dans le code verbal et un sous-système pour le code arabe. A l'intérieur des sous-systèmes, on distingue les mécanismes lexicaux et syntaxiques : les mécanismes lexicaux permettent de comprendre ou produire les mots ou chiffres composant le nombre et les mécanismes syntaxiques permettent de traiter les relations qui unissent les éléments constitutifs du nombre pour comprendre ou produire un nombre.

Ce modèle distingue une phase de compréhension et une phase de production des nombres. Ainsi, un trouble du décodage doit nous faire envisager une analyse précise de chacun des composants et d'identifier quel composant est responsable de cette difficulté.

7.3.2. Le modèle intégratif du développement des compétences numériques

L'évaluation selon ce modèle est basée sur cinq facettes. La forme circulaire de ce schéma traduit la complexité du développement des compétences numériques qui n'est pas linéaire mais hiérarchique. Le développement des compétences numériques prend souvent une forme circulaire : une capacité A stimule le développement d'une capacité B qui, en retour, favorise un plus grand développement de la capacité A.

Tous les enfants ne suivent pas le même chemin développemental et les acquisitions A peuvent précéder l'acquisition B chez un enfant, mais un autre enfant peut suivre le chemin inverse.

Les cinq facettes du développement des compétences numériques sont :

- les **compétences logiques** : pour calculer, en particulier mentalement, nous devons raisonner sur le nombre. Ce raisonnement est sous-tendu par les opérations décrites par Piaget. Ces opérations structurent le nombre et donnent sens aux calculs arithmétiques.
- Le **comptage et le dénombrement** : l'évaluation de la maîtrise des cinq principes du dénombrement décrits par Gallistel et Gelman doit faire partie de toute évaluation du calcul. Les niveaux d'élaboration de la chaîne numérique et du comptage ainsi que les 5 principes du dénombrement constituent les fondements pour l'utilisation fonctionnelle du nombre.
- La **représentation de la numérosité** : l'enfant naît avec la capacité de se représenter de petites quantités de manière analogique. Cette capacité de reconnaissance des petites quantités serait innée. Cette représentation analogique évolue au cours du développement. Gallistel et Gelman appellent « numérosité » cette représentation analogique. A distinguer du « numéral » qui symbolise cette numérosité à l'aide du langage et du système de numération. Cette représentation de la numérosité intervient dans l'estimation des grandeurs numériques et l'appréciation de l'écart relatif entre deux nombres par rapport à une cible.
- La **connaissance du système de numération** : la représentation symbolique des nombres utilise un système conventionnel qui dans notre société est un système de numération en base dix. Ce système permet de représenter une infinité de nombres à partir d'un ensemble de symboles et de règles et il est un système de position. En effet, la valeur d'un chiffre est définie selon sa position dans le nombre. Le modèle de McCloskey décrit les mécanismes qui interviennent dans la compréhension et la production des nombres.
- Les **opérations arithmétiques** : de nombreuses recherches ont mis en évidence des séquences développementales dans l'acquisition des opérations. Des différences sont observées selon que le calcul s'appuie ou non sur des quantités représentées de manière concrète, ou s'il est sous la forme d'un problème verbal...

7.3.3 Le modèle du triple code

Dehaene¹² propose un traitement numérique reposant sur **trois systèmes de représentation mentale des nombres : le code analogique, le code verbal et le code arabe**. Ce modèle anatomofonctionnel consiste en un ensemble de proposition visant à projeter le modèle fonctionnel du triple code sur les substrats cérébraux correspondants¹³.

Le code analogique est la représentation non symbolique du nombre qui confère à l'enfant le sens du nombre et même une capacité de calcul approximatif. Il correspond aux zones pariétales inférieures bilatérales. Le code analogique permet ainsi la réalisation de tâches d'estimation, de comparaison de quantités et de calcul approximatif.

Le code verbal est la représentation verbale avec mise en relation quantité et nom de nombres. Très jeunes les enfants savent qu'un nom de nombre correspond à une quantité, mais un long développement sera nécessaire pour qu'ils acquièrent la correspondance exacte entre quantité et mot-nombre. L'accès à ce code suppose un certain degré d'abstraction. Le code verbal est utilisé pour l'accès aux faits arithmétiques, le comptage et le calcul exact. La représentation verbale (orale et écrite) intéresse l'hémisphère gauche, dans les aires classiques du langage (Broca et la partie supérieure du lobe temporal).

Le code arabe est la représentation visuelle-arabe des nombres en chiffres. Elle intéresse les régions bilatérales occipitotemporales. L'enfant acquiert dans un premier temps les mots-nombres puis, par un apprentissage spécifique, accède à ce code qui repose sur une notation positionnelle liée à la notion de base¹⁴ et de rang. Ce code intervient pour les jugements de parité et pour l'arithmétique écrite et sa maîtrise nécessite un bon traitement visuospatial.

7.4. Les tests

Ils mesurent les compétences numériques et s'appuient sur des modèles d'activité de la cognition arithmétique impliquée dans les tâches demandées.

Plusieurs tests existent sur le marché, parmi eux l'UDN II, le Tedi-Math et le Zareki sont les plus connus.

¹² DEHAENE, 1992

¹³ DEHAENE et COHEN, 1995

¹⁴ GREGOIRE, 1996

7.4.1. L'UDN II¹⁵

L'UDN II « Construction et utilisation du nombre », ou l'Evaluation de la structure logique de la pensée chez l'enfant, a été élaborée à partir des théories piagésiennes du développement de l'intelligence chez l'enfant (détaillées précédemment). Elle se compose de 8 épreuves inspirées des expériences de Piaget et de 8 épreuves originales centrées sur l'étude des premières notions logico-mathématiques.

Il s'agit d'un outil développé sur la démarche clinique piagésienne, fondée sur l'interactivité, basé sur le développement des structures logiques. En effet cette batterie permet d'explorer les capacités numériques et logicomathématiques des enfants de 4 ans à 11 ans.

Cinq rubriques sont concernées :

- la **conservation** (des quantités continues ou discontinues comme le poids, la longueur ou le volume)
- les **opérations logiques** (classification, sériation, inclusion, transitivité)
- l'**utilisation fonctionnelle du nombre** (pour décrire, comparer ou reproduire une collection)
- l'**origine spatiale** (utilisation des repères spatiaux pour construire un objet identique à un témoin, comme découper une ficelle ou une bande de papier)
- la **connaissance des nombres** (compréhension des termes linguistiques « autant, plus que... », transcodage des nombres, calculs...)

Etalonnée sur 420 enfants, cette batterie a pour objectifs de :

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- situer l'enfant examiné dans ses démarches numériques et plus généralement logico-mathématiques.- analyser la répartition des réussites et des échecs selon la nature des tâches proposées.- Repérer les procédures préférentiellement employées.- Evaluer le niveau de l'argumentation fournie par l'enfant et le degré d'élaboration des concepts qu'il utilise, ainsi que ses possibilités dynamiques d'évolution. |
|--|

La passation de l'UDN II peut être fractionnée et demande 45 min à 1 heure selon l'âge de l'enfant testé.

¹⁵ MELJAC et LEMMEL, 1999

Pour ces épreuves piagésiennes, les performances de l'enfant sont cotées en termes d'échec, de réussite ou de niveau intermédiaire. Les performances sont comparées à des âges clés. L'évaluation par l'UDN II est davantage qualitative que quantitative.

Elle s'acquiert actuellement pour 753,60€¹⁶.

7.4.2. Le Tedi-Math¹⁷

Le Tedi-Math, ou Test diagnostique des compétences de base en mathématiques, permet un diagnostic des troubles des apprentissages numériques de la fin de la 2^{ème} année de maternelle (MSM) à la fin du CE2, soit de 5 à 8 ans.

Cette batterie est basée sur les travaux piagésiens ainsi que sur les connaissances les plus récentes en psychologie du développement (cognitive) et en neuropsychologie de l'adulte.

Les épreuves ont été conçues pour permettre une évaluation aisée et précise des divers troubles qui peuvent apparaître au cours des premiers apprentissages de la notion de nombre et du calcul.

Elle évalue les cinq facettes des compétences numériques :

- **Les opérations logiques sur les nombres** : bien que la batterie se soit inspirée des travaux de Piaget, les opérations logiques, à l'inverse de l'UND II sont uniquement appréhendées dans le domaine numérique. L'évaluation de la logique est réalisée par les épreuves de sériation, de classification et de conservation numériques ainsi que par une épreuve d'inclusion numérique et de composition additive.

- **Le comptage et le dénombrement** : avec l'évaluation de la maîtrise de la chaîne numérique (niveau d'acquisition et d'élaboration) et des principes de dénombrement. Le comptage fait référence à la connaissance de la chaîne numérique orale et le dénombrement évalue l'application des cinq principes pour déterminer le cardinal d'une collection.

- **Les systèmes numériques** : par le traitement des nombres arabes et verbaux et le passage d'un code à l'autre (ou transcodage). Les épreuves retenues pour évaluer les mécanismes mis en jeu portent sur le jugement de grammaticalité, la décision numérique, le système en base dix et le transcodage, tant au niveau du système numérique arabe qu'oral.

¹⁶ Prix constaté sur le site internet de l'ECPA, mars 2014

¹⁷ VAN NIEUWENHOVEN, GREGOIRE et NOEL, 2001

- **La sémantique des nombres** : évaluée par la comparaison de patterns de points, grandeurs relatives, compréhension et raisonnement sur la base 10 de notre système de numération.

- **L'arithmétique** : au travers de calculs de complexité variable et la résolution de problèmes. Les épreuves sont présentées selon trois modalités : items imagés, verbaux et arithmétiques portant sur les additions, soustractions et multiplications. Ces épreuves permettent d'évaluer la compétence nécessaire pour résoudre les premiers problèmes numériques.

Etalonnée sur 583 enfants, cette batterie propose une **cotation facile** en 0 ou 1 avec correction pendant la passation puis demandant 15 minutes au thérapeute pour le calcul des notes totales et l'interprétation du profil.

Le Tedi-Math propose des exercices et des supports variés permettant un support ludique et attractif pour l'enfant, malgré la durée de passation un peu longue (environ une heure). L'outil permet un diagnostic des difficultés en mathématiques dès le plus jeune âge.

Il s'acquiert pour 478,80€¹⁸.

7.4.3. Numérical¹⁹

Cette batterie est inspirée du modèle de McCloskey, Caramazza et Basili et s'adresse aux enfants bénéficiant déjà d'une année complète de scolarité primaire (CE1 à CM1, soit des enfants de 7-8 à 8-9 ans).

Inspirée de la batterie pour adulte EC 301, Numérical privilégie les représentation orales, analogiques, spatiales et finalement écrites du nombre, où les codes alphabétique et digital sont systématiquement comparés. Les acquisitions du nombre peuvent donc être confrontées à celles du langage oral et écrit. L'épreuve permet une analyse des difficultés spécifiques d'apprentissage, dans lesquelles le nombre occupe parfois une place à part. Elle procure un outil de prévention, de diagnostic, et d'indication thérapeutique pour la dyscalculie.

L'épreuve multifactorielle que propose cette batterie permet de comparer les difficultés contrastées d'un enfant à l'autre et de dépasser le simple constat du « blocage » indifférencié dans l'apprentissage du calcul. Elle démontre également la pluralité et la diversité des dyscalculies, tout en ouvrant un chemin thérapeutique en désignant les apprentissages à « reprendre », et, le cas échéant, les obstacles à contourner.

¹⁸ Prix constaté sur le site internet de l'ECPA, mars 2014

¹⁹ GAILLARD, 2000.

Elle permet l'exploration de trois domaines :

- le **traitement du nombre**
- la **sémantique**
- le **calcul**

Plusieurs tâches évaluent le transcodage, le comptage, le dénombrement, le calcul, la comparaison de nombres, l'estimation de quantité, le positionnement de nombres arabes sur des lignes, etc... mais par contre aucune tâche de résolution de problèmes n'est proposée.

Cette passation prend en compte quantitativement et qualitativement les procédures utilisées par l'enfant et permet l'analyse des procédures concernant l'usage des codes numériques, le passage d'un code à l'autre, le lien entre la représentation du nombre lui-même et sa sémantique²⁰.

Étalonnée sur un échantillon de 280 élèves de Lausanne, en Suisse francophone, puis sur différents échantillons d'écoliers Français, Finlandais et Argentins, la batterie décrit et commente dans son manuel les résultats des écoliers internationaux comparés à ceux des écoliers Suisses.

les résultats d'un enfant particulier sont restitués sous forme de deux profils : l'un quantitatif, qui compare les performances en huit facteurs et deux échelles, l'autre, qualitatif, qui rend compte de l'état d'acquisition de chaque épreuve : indiqué par les mentions « pas acquis », « en voie d'acquisition » et « acquis ».

Il faut compter une heure et demi à deux heures pour l'ensemble de l'épreuve.

Il s'acquiert pour 139€²¹.

7.4.4. Le Zareki²²

Il s'agit d'une batterie d'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant, étalonnée du CP au CM2 (de 6 ans à 11 ans et demi) et s'appuie, elle aussi, sur les travaux récents en neuropsychologie (travaux de Meljac, McCloskey, Dehaene...), montrant le caractère complexe, multifactoriel, de la capacité à utiliser les nombres et à effectuer des calculs élémentaires.

²⁰ MIRASSOU, 2010.

²¹ Prix proposé par Signes.ed, mars 2014.

²² DELLATOLAS et VON ASTER, 2005.

L'évaluation permet de tester :

- **la connaissance de la séquence des nombres**
- **l'aptitude à dénombrer**
- **le passage correct d'un système de représentation des nombres à l'autre** (nombres en écriture arabe, présentés oralement, écrits en toutes lettres)
- **la connaissance des faits numériques** (comme les tables de multiplication)
- **la connaissance et l'application des procédures pour les opérations élémentaires**
- **la capacité à estimer et à comparer des nombres et des quantités**
- **la compréhension du sens des nombres**

Ces aptitudes élémentaires pouvant mettre en jeu, à des degrés divers la mémoire de travail, la perception de l'espace et le raisonnement, qui sont souvent fortement dépendants de l'éducation.

Elle comprend 12 épreuves :

- 1) **Dénombrement de points** : cette épreuve permet de voir si l'enfant utilise spontanément les procédures de dénombrement et s'il possède les cinq principes proposés par Gelman et Gallistel²³.
- 2) **Comptage oral à rebours** : compter à rebours est une capacité importante, considérée comme essentielle pour l'acquisition de la soustraction chez l'enfant²⁴.
- 3) **Dictée de nombres** : il s'agit d'une épreuve de transcodage sémantique, impliquant le transcodage de la forme orale d'un nombre à sa forme écrite en chiffres arabes.
- 4) **Calcul mental oral** : soit les additions, soustractions, multiplications et opérations liées au code verbal selon Dehaene et Cohen.²⁵
- 5) **Lecture de nombres** : transcodage inverse de la dictée
- 6) **Positionnement de nombres sur une échelle verticale** : cette épreuve implique la compréhension « du sens » des nombres. Cela permet d'évaluer la capacité de l'enfant à traiter la quantité associée à un nombre et la perception du rapport entre deux quantités, deux longueurs
- 7) **Répétition de chiffres** : évalue la mémoire verbale immédiate et la mémoire de travail

²³ GELMAN et GALLISTEL, 1978.

²⁴ FUSON, RICHARD et BRIARD, 1982.

²⁵ DEHAENE et COHEN, 2000.

- 8) **Comparaison de deux nombres présentés oralement** : cette épreuve nécessite de passer par leur représentation analogique selon le modèle de Dehaene et Cohen.
- 9) **Estimation visuelle de quantités** : la capacité de calcul approximatif est liée au code analogique selon le modèle du triple code
- 10) **Estimation qualitative de quantités en contexte** : la capacité de juger correctement une quantité dans un contexte particulier dépend non seulement de la compréhension du sens des nombres mais aussi de la connaissance du monde.
- 11) **Problèmes arithmétiques présentés oralement** : cela suppose la compréhension de phrases, la capacité de faire un choix d'opération et d'effectuer des opérations arithmétiques pour résoudre un problème. La mémoire de travail est donc fortement impliquée dans cette épreuve.
- 12) **Comparaison de deux nombres écrits** : l'enfant peut procéder par comparaison séquentielle des chiffres, sans prendre en considération la magnitude des nombres.

Étalonnée sur 250 enfants (en ZEP (Zone d'Enseignement Prioritaire) et non ZEP) par âge, cette batterie demande 40 à 50 minutes de passation pour une cotation immédiate.

Elle s'acquiert pour 255,60€²⁶.

7.4.5. La BLM cycle II

Créée par Emmanuelle Metral, la mallette B-LM cycle II est une batterie permettant d'évaluer de manière fine des enfants présentant des troubles du raisonnement et des difficultés d'acquisition des mathématiques dès la Grande Section et jusqu'à la fin du primaire.

Le matériel est étalonné de manière très précise auprès d'enfants de cycle II (GS, CP, CE1 soit pour des enfants de 5 ans à 8 ans ½) mais peut être proposé à tout enfant de primaire présentant des difficultés dans les premiers apprentissages mathématiques (numération, opérations, problèmes).

Elle se répartit en 19 épreuves pouvant être scindées en deux blocs distincts :

- 9 épreuves d'évaluation des structures logiques :
 - o **2 épreuves de classification** (jetons : matériel à 2 critères / cartes : matériel à 3 critères)
 - o **2 épreuves de combinatoire** (usine de jetons : traitement concret de 2 critères / usine de vêtements : traitement numérique de 2 critères)

²⁶ Prix constaté sur le site internet de l'ECPA, mars 2014.

- o **2 épreuves de sériation** (baguettes : sériation physique d'objets puis questions sur les relations d'ordre ; évaluation des coordinations / dessin des ronds : production de relations d'ordre ; évaluation des coordinations)
 - o **1 épreuve d'inclusion** (dessin des fleurs – inclusion sur 2 niveaux)
 - o **2 épreuves de conservations** (lapins/carottes : conservation des quantités discontinues / baguettes : conservation des longueurs)
- 10 épreuves d'évaluation des connaissances mathématiques :
- o **1 épreuve d'utilisation du nombre** (les garçons)
 - o **1 épreuve de dénombrement** (gommettes de couleurs)
 - o **2 épreuves de numération** (jetons : équivalence numérique et codage / questions de généralisation)
 - o **2 épreuves de transcodages** (lecture de nombres / dictée de nombres)
 - o **1 épreuve de sens des opérations** (manipulation des 4 opérations)
 - o **1 épreuve de techniques opératoires** (pose et calcul des 3 opérations suivantes : addition, soustraction et multiplication)
 - o **1 épreuve de problèmes schématisés** (6 problèmes présentés sous formes de schémas)
 - o **1 épreuve de problèmes classiques** (4 problèmes présentés sous formes d'énoncés)

Sa prise en main est facilitée par :

- Un livret de passation pour l'examineur comprenant : les différentes épreuves dans l'ordre où elles doivent être présentées, le matériel à préparer pour la passation de chaque épreuve, les consignes précises de passation de chaque épreuve, une liste des réponses possibles de l'enfant dans laquelle il suffit de cocher celle correspondant à l'enfant évalué, une aide à la décision pour la poursuite éventuelle de l'épreuve ;
- Un livret de passation pour l'enfant, comportant les consignes illustrées nécessaires aux épreuves où l'on attend de lui une production écrite et permettant le recueil de toutes ses productions.
- Le matériel nécessaire aux différentes épreuves
- Un profil d'aide au diagnostic permettant de situer l'enfant évalué par rapport à la norme.

La mallette B-LM cycle II s'acquiert pour 720€²⁷.

²⁷ Prix constaté sur le site internet d' EVOLUDYS, juin 2014

7.4.6. Le ERLA

Il s'agit d'une mallette d'épreuves élaborée par Cogilud en partenariat avec Cogi'act pour le manuel ERLA « Exploration du Raisonnement et du Langage Associé ».

La mallette de bilan est fournie avec un seul accès au manuel ERLA, un manuel évolutif téléchargeable regroupant des fiches régulièrement mises en ligne, soit actuellement 41 fiches de passation, des repères développementaux et des recueils de conduite.

L'outil d'exploration ERLA est composé d'une part d'épreuves issues des travaux du courant constructiviste et d'autre part d'épreuves créées spécifiquement. Il permet une analyse quantitative en référence à des repères développementaux ainsi qu'une analyse qualitative de chaque épreuve. La confrontation de ces analyses avec celles des conduites langagières permet d'effectuer des hypothèses quant au fonctionnement de pensée du patient.

La mallette ERLA permet de tester :

- Les **classifications** :
 - o Inclusion en manipulation et en jugement
 - o Correspondances terme à terme, groupements de mêmes
 - o Dichotomies, trichotomies
 - o Tous, quelques. Généralisations. Inférences
 - o Intersections de classes
- Les **mises en relation** :
 - o Sériation effective de 14 baguettes (avec une différence de 2 mm), 7 baguettes (avec une différences de 4 mm) et 10 baguettes (avec une différence de 10 mm)
 - o Sériations en outils
 - o Sériation intercalaire
- Les **conservations** :
 - o Correspondances terme à terme
 - o Conservations numériques (pots, bouchons, pailles)
 - o Transitivité numérique, transvasements de perles
 - o Conservation de rangées simples, ou leurres plus importants
 - o Conservations des surfaces (prés, surfaces découpées)
 - o Conservation des longueurs
 - o Conservations des liquides : de la matière, du poids, du volume et de la dissociation poids/volume, horizontalité
- La **combinatoire** :
 - o Permutations, combinaisons (Adolescents)
 - o Quantifications des probabilités (Adolescents)
- Le **langage** :
 - o Epreuves de langage : parler des relations, etc...
- Le **numérique** :

- o Dénombrement, transcodage
- o Transformations et énigmes numériques...

Elle s'acquiert pour 819€²⁸.

7.5. Conclusions

En conclusion, la dyscalculie étant un trouble d'apprentissage presque tout aussi fréquent que la dyslexie, il convient donc de disposer d'outils pour comprendre la nature des troubles observés, mais surtout pour mettre en place des actions remédiatives.

Dans ce sens, l'évaluation diagnostique orthophonique, intéressant le domaine logico-mathématiques, a pour but d'examiner les différentes facettes des compétences numériques d'un enfant afin de rechercher les indicateurs de déviances signant un trouble du calcul et de proposer des pistes de rééducation adaptées.

« D'une évaluation des performances, la recherche s'est intéressée aux activités mentales mises en œuvre dans la réalisation d'épreuves. La théorie piagétienne a été le premier modèle utilisé pour analyser les compétences sous-jacentes aux performances arithmétiques et pour comprendre les troubles. De ce fait, les tests de performances sont devenus peu utiles pour poser un diagnostic dans la mesure où ils ne nous disent rien à propos de la nature du trouble et ne débouchent dès lors sur aucune suggestion d'intervention. Ils fournissent uniquement une information quant à la position de l'enfant par rapport à ses pairs du point de vue de sa performance globale en arithmétique.

La théorie piagétienne ne permet pas d'expliquer tous les troubles du calcul rencontrés par l'enfant. Le développement de la recherche en psychologie cognitive sur les troubles du calcul a permis d'éclairer certaines facettes des compétences numériques et de proposer de nouveaux outils diagnostiques.

L'évaluation du développement numérique chez l'enfant en France peut donc se faire avec des tests normés, s'inspirant soit du courant piagétien (UDN II) soit de la neuropsychologie adulte (Numérical), ou des différents courants théoriques (Tedi-Math).

La neuropsychologie du calcul et du traitement des nombres a considérablement évolué et a permis de renouveler les pratiques du diagnostic en élaborant des outils basés sur des modèles cognitifs. »²⁹

Le bilan orthophonique doit ainsi s'appuyer sur une corrélation de ces deux niveaux (performances et compétences) afin d'obtenir un profil représentatif du fonctionnement de l'enfant, sans oublier que le bilan représente un état ponctuel de ce dernier.

²⁸ Prix constaté sur le site internet de COGILUD, juin 2014.

²⁹ HABIB et al., 2011.

II. Le logiciel MathEval

1. Présentation du logiciel

1.1. Conception

Le logiciel MathEval a été élaboré par **Marc Heremans**, un psychologue belge, afin de permettre le dépistage très tôt de troubles éventuels (de préférence avant le CE1) pour permettre à l'enfant de construire ses connaissances futures sur des bases fiables.

Après deux années d'élaboration, le logiciel a d'abord été mis en ligne en 2006, via le site « enseignons.be³⁰ » avant d'être accessible en 2007 via le site actuel qui lui est consacré.

L'idée d'un tel projet est venue du fait qu'il n'existait (en 2004) aucun système expert au niveau des tests psycho-pédagogiques. A noter qu'actuellement, soit 10 ans plus tard, il n'en existe toujours pas. Le logiciel a ainsi été conçu pour faciliter la tâche d'évaluation des élèves dans le domaine des mathématiques.

A noter que Marc Heremans est également Directeur du Centre PMS libre d'Ottignies-Louvain-la-Neuve³¹ et qu'il possède un Master en sciences psychologiques et pédagogiques obtenu à l'Université Libre de Bruxelles et un Post-graduat en « rééducation aux troubles du raisonnement mathématique et à la dyscalculie » obtenu à l'Institut Libre Marie Haps 1992/1995.

Déjà utilisé par de nombreux instituteurs et orthophonistes, le logiciel est en évolution permanente, enrichi par les retours de ses utilisateurs. Pour la pratique orthophonique, ce logiciel est très intéressant car il permet assez vite (en une passation, soit sur une séance seulement) de se faire une idée du niveau d'élaboration de l'enfant dans sa construction du nombre, afin d'en tirer des objectifs concrets pour la rééducation.

En effet, le logiciel, d'utilisation libre et gratuite, **fonctionne pour 8 utilisations**. Ensuite, il suffit d'écrire à l'auteur pour qu'il envoie un petit programme permettant de débloquent le logiciel. Cette condition permet à Marc Heremans d'évaluer la fréquence d'utilisation de son logiciel et d'échanger avec ses utilisateurs.

C'est dans cette perspective qu'il a accepté de nous suivre dans le cadre de ce mémoire afin d'apporter quelques modifications à son logiciel pour le rendre exploitable en pratique orthophonique.

³⁰ <http://www.enseignons.be/>

³¹ <http://www.centrepms.be/ottignies>

Actuellement, le logiciel est étalonné de la Grande Section de Maternelle jusqu'au Ce1, mais permet de tester des enfants à partir de la Moyenne Section de Maternelle jusqu'au Ce2, son objectif premier étant de dépister les troubles d'apprentissage en mathématiques.

Il propose ainsi une séquence variant de 20 à 30 minutes selon le niveau de l'enfant.

Vous trouverez en annexes toutes les données relatives à son téléchargement ainsi qu'à une bonne prise en main du logiciel.

1.2. Un logiciel expert

L'application est un **logiciel expert**, c'est-à-dire que les questions proposées s'adaptent aux réponses de l'enfant.

Le programme se base sur deux critères principaux qui sont :

- 1) La classe fréquentée par l'enfant (de manière à s'adapter au niveau supposé de celui-ci)
- 2) Les réponses fournies aux questions en cours de test (de façon à s'adapter au niveau réel de l'enfant)

Ainsi deux enfants de même âge et fréquentant la même classe ne seront pas confrontés aux mêmes questions.

1.3. Téléchargement et première utilisation

Pour une prise en main simplifiée, l'auteur propose une découverte de l'application grâce à plusieurs didacticiels disponibles sur youtube sous forme de vidéos très ludiques, accessibles soit directement via le site internet, soit en tapant « matheval dyscalculie » dans le moteur de recherche de youtube (voir ANNEXES).

La dernière mise à jour de MathEval date du **11 avril 2014** et est accessible depuis l'onglet Téléchargement du site internet dédié au logiciel.

Le logiciel étant régulièrement mis à jour, il est important, dans un usage régulier, de prendre le temps de vérifier que l'on possède bien la dernière version.

1.4. Introduction par Marc Heremans

« Au contraire des mathématiques avancées (systèmes d'équations, calcul intégral, trigonométrie, etc...), la maîtrise des mathématiques de base est indispensable aux élèves car elle permet de s'adapter aux sociétés modernes (lire l'heure, gérer son budget, comparer des prix, rendre la monnaie, etc ...).

Il est souhaitable de dépister rapidement (avant l'entrée en CE1 en tous cas) les difficultés en mathématiques, de manière à éviter que l'enfant ne construise ses connaissances futures sur des fondations non fiables. La mise en œuvre d'une pédagogie

adaptée s'avère parfois suffisante. Si ce n'est pas le cas, il peut être utile d'y associer une prise en charge rééducative.

Dans cette optique, MathEval a pour objectif l'évaluation qualitative et quantitative³² :

- des performances³³ des enfants dès la deuxième année de maternelle (moyenne section)³⁴, de manière à identifier leur degré de maîtrise des éléments ou matières³⁵ inscrits au programme de l'enseignement fondamental. Du fait que certains enfants ont des performances acceptables (voir bonnes) dans certains secteurs et des déficits marqués dans d'autres, MathEval propose une évaluation analytique des performances, de manière à cibler au plus près les points forts et les points faibles.*
- Des compétences³⁶ de base, de la qualité des prérequis (traitement du nombre, numération, opérations arithmétiques, etc...). Au delà de la maîtrise du programme, MathEval vise ainsi à aider à comprendre la raison d'être des difficultés éventuelles.*

MathEval est capable de discriminer non seulement les élèves en difficulté, mais aussi les élèves tout-venants. Néanmoins, du fait que l'objectif premier du test est de repérer les enfants potentiellement dyscalculiques, il ne discrimine pas aussi finement les élèves vraiment très doués en mathématiques que ceux qui présentent des difficultés. Il est en effet construit autour d'un ensemble de tâches relativement spécifiques ; or, ce sont les tâches complexes, in extenso celles qui nécessitent des mises en relation nombreuses, qui sont les moins sujettes à un effet plafond et sont capables, de ce fait, de repérer correctement les élèves les plus doués.

A l'instar d'autres tests comme le Tedimath, le Numerical ou le Zareki, MathEval trouve ses fondements théoriques dans la neuropsychologie et la psychologie cognitive.

³² Les résultats obtenus à chaque épreuve permettent de situer chaque enfant par rapport aux enfants du même âge et fréquentant la même année scolaire, soit en fréquences cumulées, soit via une échelle normalisée, de moyenne=100 et d'écart-type=15

³³ au sens de Chomsky. La performance correspond à l'usage de la fonction en situation concrète tandis que la compétence désigne les règles implicites sous-tendant la performance.

³⁴ Cette version prévoit l'évaluation des enfants jusqu'à la 3^{ème} primaire (CE2). Une suite est prévue pour couvrir les trois années ultérieures (4^{ème} primaire – CM1 - jusqu'à 6^{ème} primaire – 6^{ème} collège). Dans la suite du texte, « M » désignera les maternelles et « P » les primaires.

³⁵ Cette dimension pédagogique est la moins développée actuellement ; seul le calcul mental (additions et soustractions) portant sur des nombres naturels jusque 10000 et le transcodage (lecture et écriture de nombres arabes) sont évalués pour l'instant.

³⁶ Au sens de Chomsky. La performance correspond à l'usage de la fonction en situation concrète tandis que la compétence désigne les règles implicites sous-tendant la performance.

Comme le souligne Jacques Grégoire³⁷, l'évaluation en général, et les tests en particulier, reste encore très influencée par le modèle behavioriste. C'est le cas de nombreux tests pédagogiques notamment.

Ce modèle se centre sur les réalités observables (les performances). Or, ce qui nous intéresse, lorsque nous évaluons les troubles d'apprentissage chez un enfant, c'est avant tout de comprendre les raisons pour lesquelles il échoue dans une activité.

Pour rencontrer cet objectif, l'évaluation doit se faire en référence à un modèle théorique ; celui-ci permet d'expliquer la raison d'être des difficultés observées, et facilite la mise sur pied d'un plan d'intervention le plus adapté possible.

Pour remédier à un trouble d'apprentissage, il n'est en effet pas suffisant de répéter les séquences d'apprentissage qui présentent un lien direct avec les difficultés ; il est préférable de s'intéresser d'abord aux prérequis insuffisamment maîtrisés.

Malheureusement, il n'existe pas encore de théorie capable de modéliser l'ensemble des processus et capacités spécifiques en jeu dans la construction des notions mathématiques et de remonter aux causes spécifiques « réelles » (pour autant qu'elles existent) des difficultés rencontrées.

Le caractère complexe et multifactoriel des processus et capacités impliqués dans le traitement du nombre et du calcul rend vain, du moins à l'heure actuelle, la construction d'un test basé sur un modèle unique et dont le pouvoir explicatif serait exhaustif. »

1.5. MathEval en regard des autres tests d'évaluation diagnostique

Dans son introduction, Marc Heremans fait référence aux tests d'évaluation diagnostique des apprentissages mathématiques que nous avons précédemment détaillés : l'UDN-II, Numerical, Zareki, Tedi-Math ainsi que les mallettes B-LM cycle II et ERLA.

Selon lui, MathEval se distingue de ses « concurrents » plus par sa conception que par son contenu.

En effet, à la différence des autres tests, tous présentés en version papier et « linéaires » (à peu de choses près, les questions sont posées dans un ordre déterminé à priori), MathEval est informatisé et fonctionne comme un système expert :

- **les questions se suivent de manière cohérente** et ce, sans que l'intervention du testeur soit nécessaire, excepté pour enregistrer (par un clic droit ou gauche de la souris) les réponses fournies par l'enfant. Pour cela le programme se base sur deux critères principaux :
 - o la classe fréquentée par l'enfant (de manière à s'adapter au niveau supposé de celui-ci)
 - o les réponses fournies aux questions en cours de test (de façon à s'adapter au niveau réel de l'enfant) ; deux enfants du même âge et fréquentant la

³⁷ Jacques Grégoire. Evaluer les apprentissages – De Boeck & Larcier

même classe ne seront pas confrontés aux mêmes questions (sauf cas très improbables où leur niveau serait exactement pareil).

- **le programme fournit instantanément** (sans intervention du testeur) une évaluation personnalisée sous la forme :
 - o d'un rapport complet qui s'ouvre automatiquement dans le traitement de texte de l'utilisateur, et qui détaille, sous forme de texte, les performances de l'enfant, secteur par secteur.
 - o De notes chiffrées (ouverture automatique dans un fichier Excel, pour autant que les programmes Excel 2007 et Word 2007 (ou versions précédentes telles que 2003) soient présents sur l'ordinateur de l'utilisateur)
 - Par secteur : chaque secteur se voit attribuer une note brute dont la valeur est estimée en fonction de la quantité et de la qualité des réponses fournies par l'enfant.
 - D'une façon globale : à titre indicatif, une note globale (pour l'ensemble du test, sans les gnoses digitales) est fournie, de manière à estimer le « niveau global de l'enfant ». Comme rappelé ci-dessus, il est important d'interpréter cette note avec une grande prudence. Insistons également sur le fait que plus les notes partielles sont hétérogènes et moins la note globale n'a de sens.

Les résultats bruts sont ensuite convertis et traduits de deux manières :

 - en fréquences cumulées
 - en scores normalisés (moyenne=100 ; écart-type=15)
- Du fait de l'adaptation du logiciel au niveau de l'enfant, **MathEval, à la différence des autres tests, fournit également une évaluation très rapide** (de 12 minutes – percentile 25 à 15 minutes – percentile 75, lorsque l'on connaît bien le test). C'est la raison pour laquelle cela ne poserait pas de problèmes si d'autres sous-tests se surajoutent dans l'avenir.

Il est toutefois important de préciser que, tout système expert qu'il est, MathEval ne dispense en aucune façon le testeur d'analyser les informations et résultats fournis dans les rapports et de les recouper avec d'autres données, que ces dernières soient du domaine intellectuel, affectif, social, etc... Le rapport énumère des informations susceptibles de fournir des pistes interprétatives mais ne pose en aucun cas un diagnostic au sens propre du terme.

En ce sens, les résultats fournis par MathEval doivent faire l'objet d'une analyse de la part de l'utilisateur au même titre que ceux obtenus à tout autre test, qu'il soit informatisé ou non, pédagogique, intellectuel ou autre. Rien n'empêche d'ailleurs l'examineur d'ajouter lui-même au rapport engendré par le programme toute information supplémentaire qu'il jugerait utile.

De plus, une connaissance, au moins minimale, du domaine des mathématiques est conseillée et nécessaire, pour l'utilisation du logiciel, ne serait-ce que pour comprendre la raison d'être des questions posées, et donc d'être à même de comprendre, d'interpréter et voire même compléter le rapport fourni.

1.6. Un logiciel en constante évolution

Même s'il est tout à fait exploitable en l'état, il est important de rappeler que le logiciel est en constante évolution, s'améliorant au fur et à mesure des retours d'utilisateurs. De ce fait, il possède actuellement quelques lacunes.

En effet, certains secteurs pourtant importants ne sont pas encore testés, comme le calcul écrit et les problèmes par exemple. D'autres secteurs sont peut-être insuffisamment, voire mal, couverts et certaines hypothèses prises lors de la construction des questions, par exemple, restent à vérifier.

Pour ne prendre qu'un exemple parmi d'autres, certains principes de dénombrement (selon Gelman & Gallistel) ne sont évalués que par le biais de tâches de détection et non de production (et vice versa).

Il est possible de dresser une liste, non exhaustive, des lacunes propres à la dernière version du logiciel :

- le rapport, bien que mettant l'accent sur les forces et les faiblesses, ne propose pas de pistes de remédiation. Celles-ci doivent être déduites par le testeur (d'où l'importance, soulignée précédemment, d'une connaissance théorique du domaine investigué).
- Certains prérequis sont encore absents de l'investigation
- Seule est prévue l'évaluation des élèves de la 2^{ème} année de maternelle (soit Moyenne Section) à la 3^{ème} année de primaire (soit le CE2).

Dans ce sens, toutes les remarques constructives des utilisateurs sont non seulement les bienvenues mais aussi vivement souhaitées car elles permettent d'améliorer le logiciel, tout autant sur le plan ergonomique que théorique.

1.7. Risques et précautions à prendre avec l'informatique comme support d'un test

L'ordinateur, en tant que support du test MathEval, sert d'intermédiaire mais ne remplace en rien le testeur pour ce qui relève de l'évaluation de la qualité des réponses données par l'enfant.

Malgré une tendance générale à coter plus sévèrement une réponse lorsque la question est posée via un logiciel que pour un test utilisant un support papier, l'évaluation doit être guidée par le bon sens clinique : ce qui nous intéresse à travers l'évaluation c'est de parvenir à comprendre ce que l'enfant sait réellement ; les réponses fournies ne doivent pas nécessairement ou systématiquement être prises au pied de la lettre.

Parfois, mais uniquement en cas de doute (lui-même suggéré par le « feeling »), il peut être nécessaire de reposer une question, afin de s'assurer que l'erreur commise par l'enfant n'est pas fortuite.

Pour illustrer ces propos, nous nous permettons de reprendre deux exemples fournis par Marc Heremans :

- 1) A travers l'Item « *Jusqu'où sais-tu compter ? Compte le plus loin possible.* »

Il n'est pas rare, surtout en classe de maternelle, qu'un enfant commence à compter puis s'arrête brusquement.

En situation habituelle de test, c'est-à-dire, lors d'une évaluation effectuée sans l'intervention d'un ordinateur, tout psychologue expérimenté « sent » quand il ne doit pas s'en tenir d'emblée à la réponse première et « sait » quand il est inutile d'insister.

Le feeling donc, associé à une bonne connaissance du domaine investigué, nous pousse à encourager l'enfant comme à ne pas insister inutilement.

Le programme, tout système expert qu'il est, ne nous est malheureusement d'aucune utilité dans ces cas-là.

Exemple concret :

➔ l'enfant : « 1,2,3,4 »

➔ le testeur : « C'est très bien mais je suis sûr que tu peux compter plus loin. Vas-y, compte le plus loin possible sans t'arrêter » (ou tout autre consigne du même type)

- 2) Il va sans dire qu'il ne faut pas systématiquement permettre à l'enfant de s'y reprendre à plusieurs reprises en cas d'échec. En calcul mental, il serait absurde de permettre chaque fois à un enfant de recommencer lorsqu'il se trompe. Ici aussi, c'est le bon sens qui doit guider la conduite à suivre.

Soit la question : « Combien cela fait : $2+3$? »

Supposons que l'enfant vous réponde : « $2+4$, cela fait 6 ».

Il va de soi que vous devez lui répéter la question. En effet, son erreur ne résulte pas, en toute vraisemblance, d'une difficulté en calcul mental mais bien d'une mauvaise compréhension de la consigne.

Par contre, si la réponse de l'enfant est fautive et que rien ne vous permet de penser qu'il l'a mal comprise, n'hésitez pas à enregistrer son erreur.

De toutes façons des balises sont prévues au sein du programme³⁸ ; en cas de réponse erronée, d'autres questions du même type et de difficulté similaire sont presque toujours proposées.

En effet, un certain nombre de balises sont prévues par le logiciel, visant surtout à éviter d'éventuelles erreurs de manipulation qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur le déroulement du test.

1.8. Aide apportée par le logiciel lors de la passation

Pratiquement à chaque étape du test, il est possible d'afficher l'aide générale (qui reprend tous les éléments détaillés jusque là), en cliquant sur le bouton rond bleu intitulé « Aide », situé en haut à gauche de votre écran.

³⁸ Excepté dans l'épreuve de transcodage (écriture et lecture de nombres arabes) où un seul essai par niveau de difficulté est proposé.

En cas de doute lors de la passation du test avec un enfant, le recours à l'aide générale doit être proscrit. Par contre, il est possible et fortement conseillé d'avoir recours à des aides plus ponctuelles via l'aide contextuelle.

En effet, sur certaines pages, il est possible, grâce au bouton vert de forme elliptique « Aide Page » d'afficher une aide contextuelle, liée à la page en cours, situé en haut à gauche de votre écran.

Le seul fait de glisser la souris sur ce bouton a pour conséquence l'affichage d'une fenêtre explicative. Et donc dès que la souris quitte le bouton, la fenêtre disparaît avec elle.

En principe, cette aide contextuelle devrait s'avérer largement suffisante pour assurer la progression au sein du test, pour autant que l'on ait appris au préalable à utiliser le programme.

1.9. Secteurs évalués par MathEval

Issus des recherches en psychologie cognitive et en neuropsychologie, les secteurs actuellement proposés à l'investigation sont les suivants :

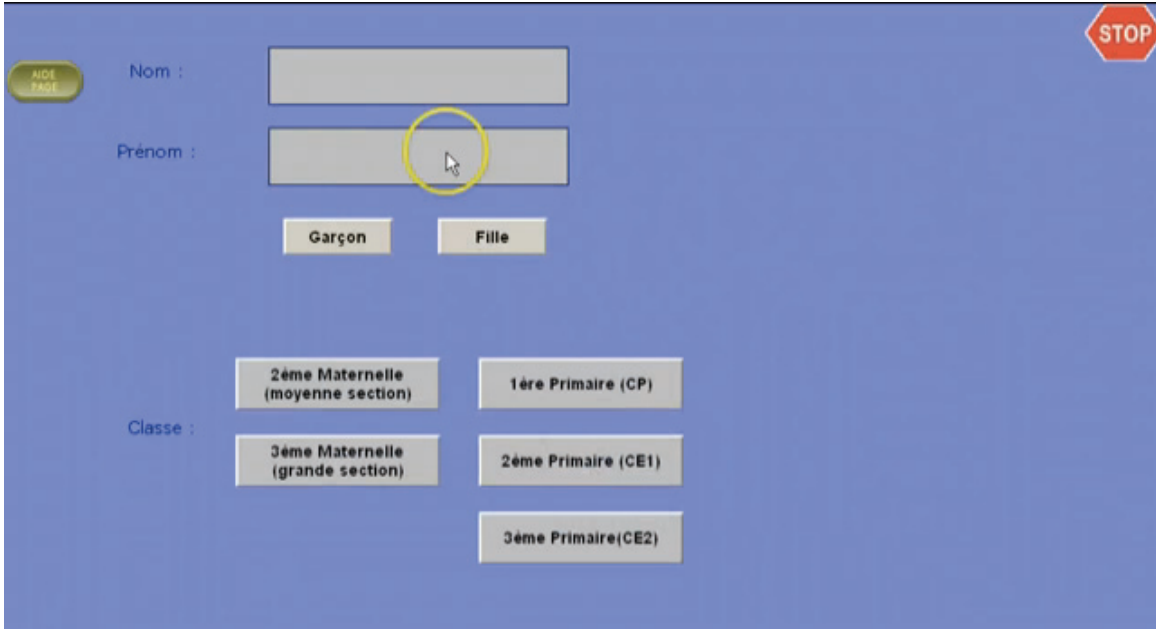
- **Gnosies digitales** (secteur facultatif)
- **Chaîne numérique** (connaissance et automatisation)
- **Procédures de quantification**, soit :
 - o le subitizing
 - o le dénombrement
 - o l'estimation globale
- **Sens des nombres** (ou magnitude du nombre)
- **Calcul mental** :
 - o Additions (protonumériques, concrètes, semi-concrètes et abstraites)
 - o Soustractions (concrètes, semi-concrètes et abstraites)
 - o *En dehors des opérations présentées par le logiciel, il existe une partie collective nommée CMC (ou Calcul Mental Collectif), applicable dès le CP. Cette épreuve évalue la capacité des enfants à résoudre rapidement des opérations simples.*
- **Transcodage** :
 - o Lecture de nombres arabes : parmi plusieurs distracteurs, l'enfant est invité à reconnaître le nombre qui correspond à celui lu par le testeur
 - o Ecriture de nombres en numération arabe sous dictée

2. Déroulement de la séance d'utilisation de MathEval avec l'enfant

Le thérapeute est seul avec l'enfant face à l'ordinateur. Son rôle consiste à enregistrer les réponses de l'enfant (généralement en faisant **clic gauche pour une réponse exacte** et **clic droit pour une réponse inexacte** sur une zone vierge de l'écran).

Après ouverture du logiciel, une première fenêtre apparaît où il est demandé à l'examineur de rentrer les principales données intéressant l'enfant :

- Nom et Prénom
- Sexe
- Niveau scolaire



The screenshot shows a software interface with a blue background. In the top right corner, there is a red octagonal 'STOP' sign. In the top left corner, there is a yellow button labeled 'AIDE' and a green button labeled 'PAGE'. The form contains the following elements:

- Nom :** A text input field.
- Prénom :** A text input field with a yellow circle around it and a mouse cursor pointing at it.
- Sexe :** Two buttons labeled 'Garçon' and 'Fille'.
- Classe :** A group of five buttons arranged in two columns:
 - Left column: '2ème Maternelle (moyenne section)' and '3ème Maternelle (grande section)'.
 - Right column: '1ère Primaire (CP)', '2ème Primaire (CE1)', and '3ème Primaire (CE2)'.

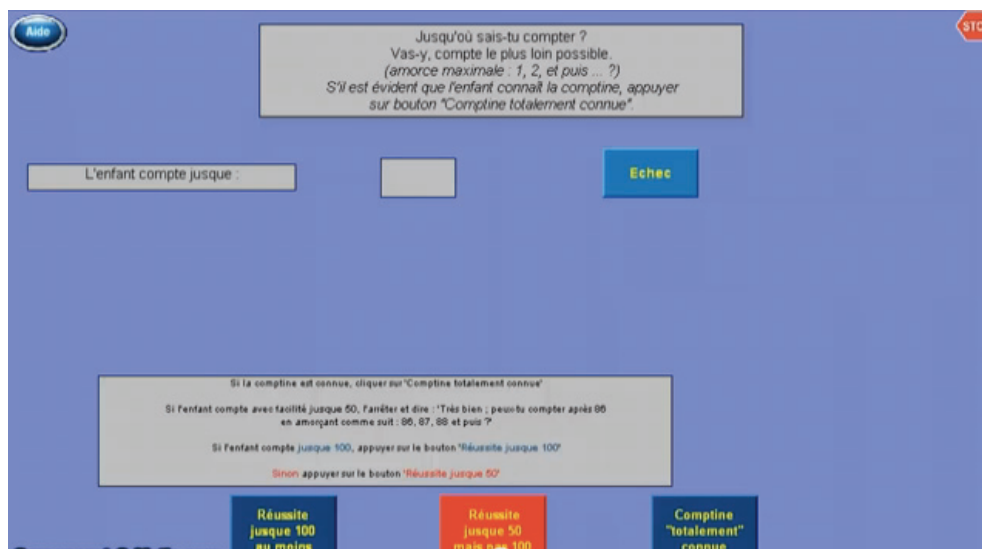
Première fenêtre apparaissant lors du lancement du logiciel

Ensuite, le logiciel s'adapte au niveau scolaire renseigné et débute la passation par un item concernant la comptine numérique.

Nous avons choisi de vous détailler le déroulement d'une passation intéressant le premier niveau scolaire investigué par MathEval, soit la Moyenne Section de Maternelle.

2.1. Déroulement d'une passation intéressant le niveau « Moyenne Section de Maternelle » test entier :

1) *Chaîne numérique* :



« Jusqu'où sais-tu compter ? Vas-y compte le plus loin possible. » Amorce maximale : 1,2, et puis ... ?

S'il est évident que l'enfant connaît la comptine, appuyer sur bouton « comptine totalement connue » (case bleue foncé en bas à droite de l'écran)

- ➔ l'enfant compte jusque : (à indiquer)
- ➔ case Echec en haut à droite
- ➔ Si l'enfant compte avec facilité jusque 50, l'arrêter et dire : « Très bien : peux-tu compter après 86 en amorçant comme suit : 86,87,88 et puis ? »
- ➔ Si l'enfant compte jusque 100, appuyer sur le bouton « Réussite jusque 100 au moins »
- ➔ Sinon appuyer sur le bouton « Réussite jusque 50 » (en rouge en bas au centre)

2) *Peux-tu compter de 4 à 9 ?* « Tu commences à 4 et tu t'arrêtes à 9 »



3) ***Jusqu'où sais-tu compter par 2 ?*** (amorce maximale : 2,4, et puis ... ?) ECHEC S'IL EST NECESSAIRE A L'ENFANT DE SUBVOCALISER LES NOMBRES INTERMEDIAIRES

- ➔ Par 2, l'enfant compte jusqu'à : (à indiquer) // Echec
- ➔ Si l'enfant compte par 2 avec facilité jusqu'à 30, l'arrêter et dire : « Très bien : peux-tu compter par 2 après 54 en amorçant comme suit : 54,56, 58 et puis ? »
- ➔ Si l'enfant réussit à compter jusqu'à 70, appuyer sur le bouton « Réussite ≥ 70 »
- ➔ Sinon appuyer sur le bouton « Réussite ≥ 30 ET < 70 »

4) ***Jusqu'où sais-tu compter par 5 ?*** (amorce maximale : 5, et puis, ... ?) ECHEC S'IL EST NECESSAIRE A L'ENFANT DE SUBVOCALISER LES NOMBRES INTERMEDIAIRES

- ➔ Par 5, l'enfant compte jusqu'à : (à indiquer) // Echec
- ➔ Si l'enfant compte par 5 avec facilité jusqu'à 40, l'arrêter et dire : « très bien : peux-tu compter par 5 après 70 en amorçant comme suit : 70, 75, et puis ? »
- ➔ Si l'enfant compte jusqu'à 100, appuyer sur le bouton « Réussite ≥ 100 »
- ➔ Sinon appuyer sur le bouton « Réussite ≥ 40 ET < 100 »

5) ***Jusqu'où sais-tu compter par 10 ?*** (amorce maximale : 10, et puis, ... ?) ECHEC S'IL EST NECESSAIRE A L'ENFANT DE SUBVOCALISER LES NOMBRES INTERMEDIAIRES

- ➔ Par 10, l'enfant compte jusqu'à : (à indiquer) // Echec
- ➔ Si l'enfant compte par 10 avec facilité jusqu'à 100, l'arrêter et dire : « très bien, peux-tu compter par 10 après 170 en amorçant comme suit : 170, 180 et puis ? »
- ➔ Si l'enfant réussit à compter jusqu'à 230, appuyer sur le bouton « réussite ≥ 230 »
- ➔ Sinon appuyer sur le bouton « Réussite ≥ 100 ET < 230 »

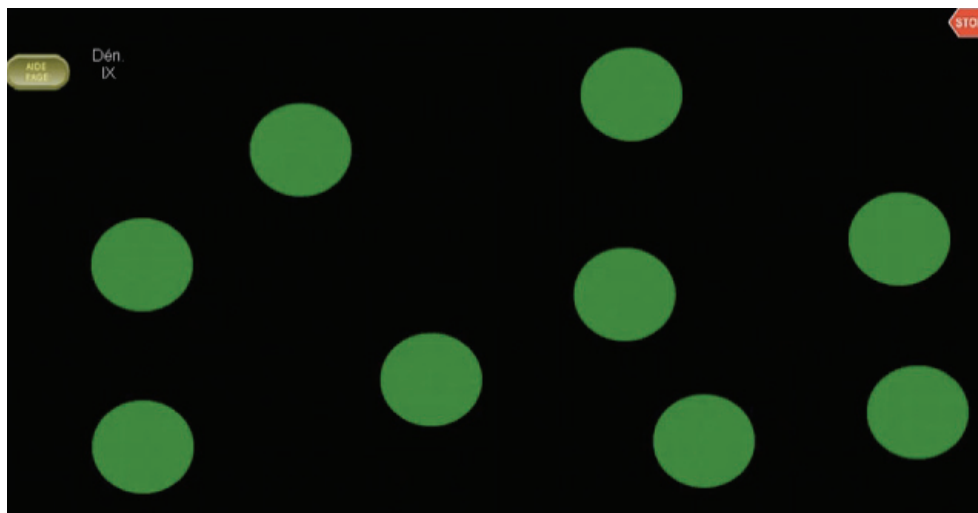
6) ***Peux-tu compter à l'envers, en partant de 9 ?*** (amorce maximale : 9,8 et puis ... ?) Echec si l'enfant s'appuie sur une stratégie subvocale de « comptage à l'endroit »

- ➔ l'enfant compte jusqu'à : (à indiquer) // Echec // Réussite (décomptage jusqu'à « 0 » ou « 1 »)

- 7) Dans quelques instants tu verras apparaître des ronds verts sur l'écran. Peux-tu les compter et dire combien il y en a ?

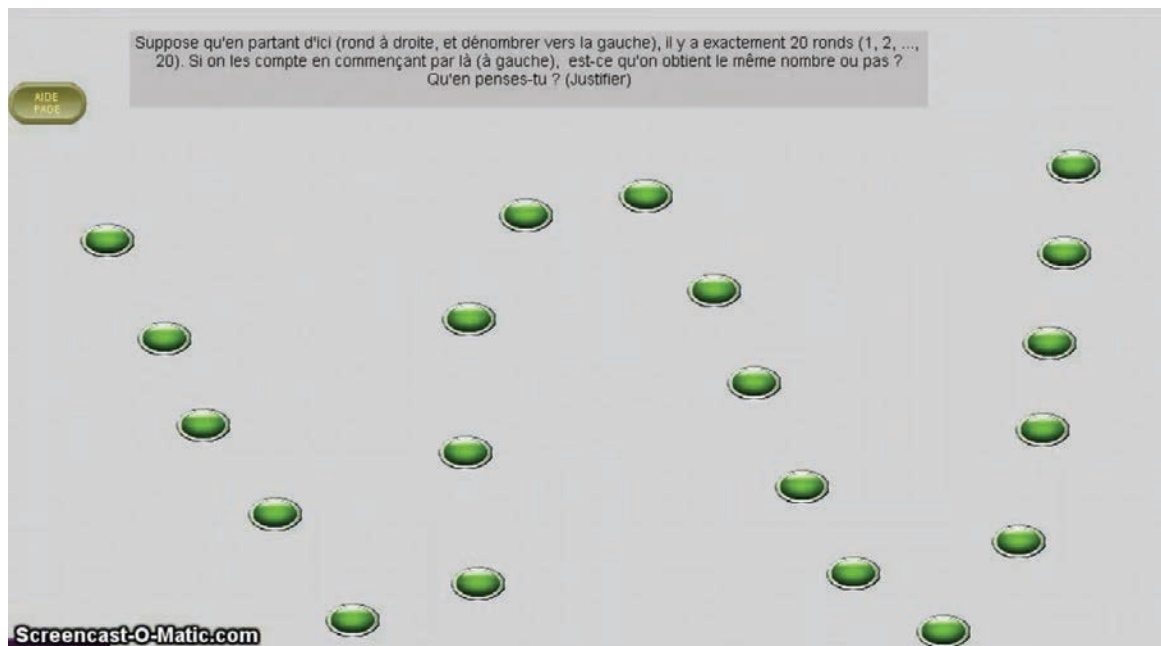


La réponse est correcte **même si** l'enfant ne **précise pas le cardinal** (après lui avoir redemandé, il recompte par ex)

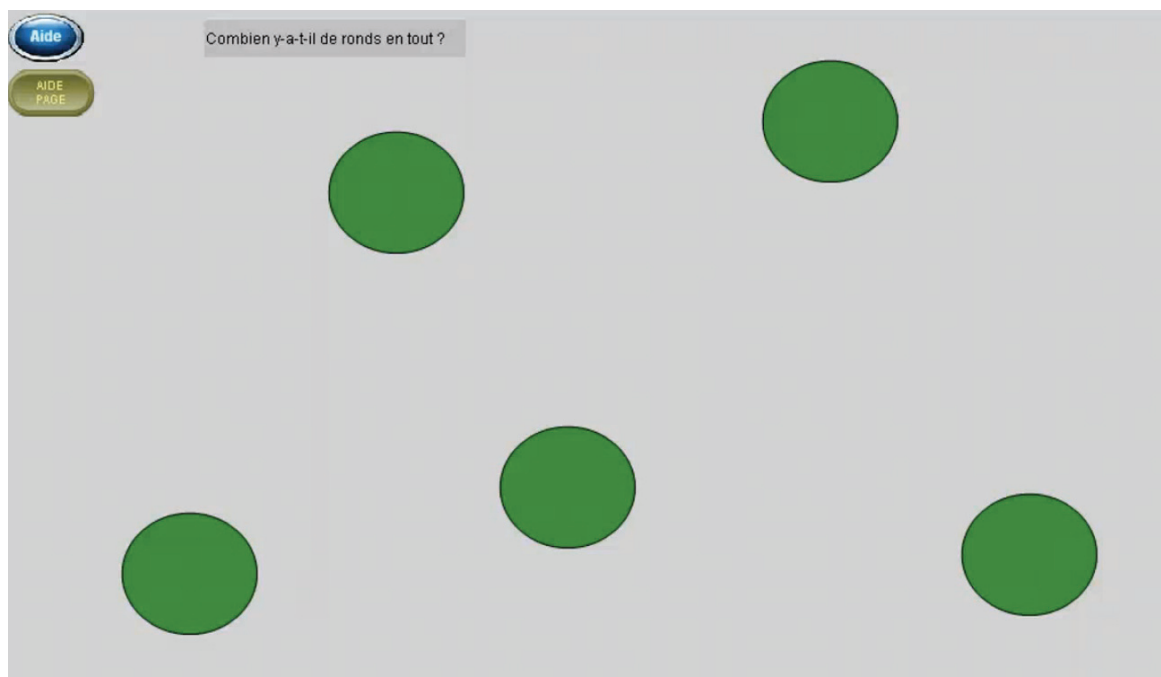


- 9 ronds verts (réponse en bas à droite de l'écran) :
- o Comptine correcte (1,2,3, etc ...) mais correspondance terme à terme incorrecte (comptine est énoncée plus lentement ou plus vite que le pointage)
 - o Comptine et correspondance terme à terme incorrectes
 - o Comptine incorrecte mais correspondance terme à terme correcte. Exemple : 1,2,4,5,6 / Si nécessaire, refaire un essai pour être certain que la correspondance terme à terme est correcte. Pour cela, utiliser le bouton « précédent » (en violet en bas à gauche de l'écran) ou, plus simplement, reprendre le support papier.

- « Suppose qu'en partant d'ici (rond à droite, et dénombrer vers la gauche), il y a exactement 20 ronds (1,2, ...20). Si on les compte en commençant par là (à gauche), est-ce qu'on obtient le même nombre ou pas ? Qu'en penses-tu ? » (Justifier)



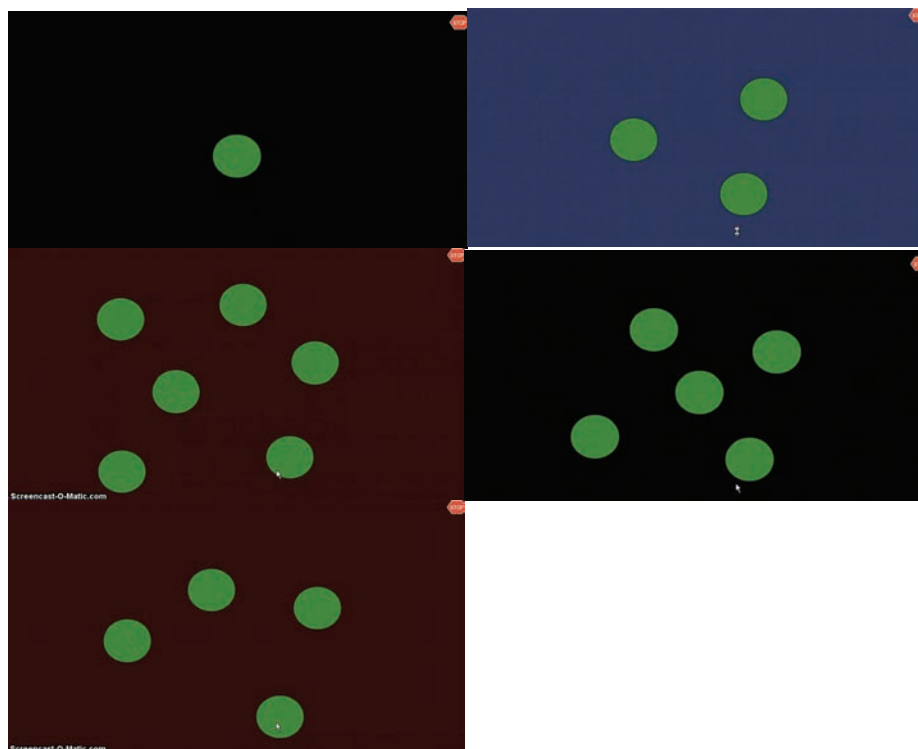
- « Combien y a-t-il de ronds en tout ? » (5 gros ronds verts à l'écran)



- 8) « *Dans quelques instants tu verras apparaître brièvement (très peu de temps) des ronds verts sur l'écran. Tu essayeras de me dire combien il y en a mais tu n'auras pas vraiment le temps de les compter. Nous allons commencer par un exemple facile pour que tu comprennes bien ce qu'il faut faire exactement. Regarde bien l'écran (qui va devenir tout noir) et dis-moi combien il y a de ronds verts ?* »

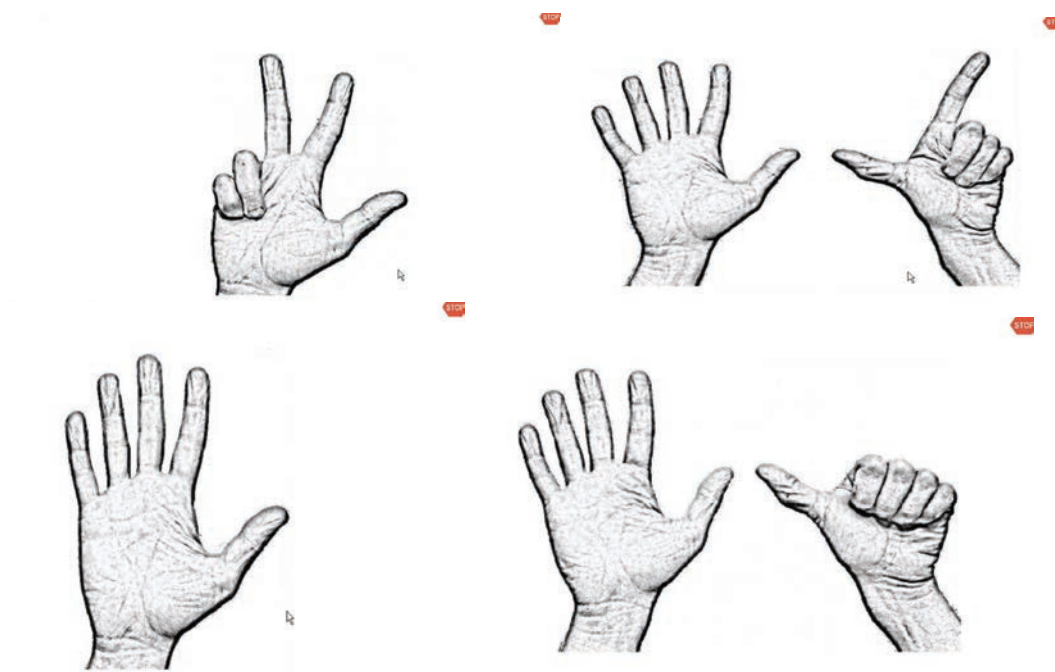


- ➔ Un rond vert
- ➔ 3 ronds verts
- ➔ 6 ronds verts (si échec les deux items suivants apparaissent)
- ➔ 5 ronds verts
- ➔ 4 ronds verts



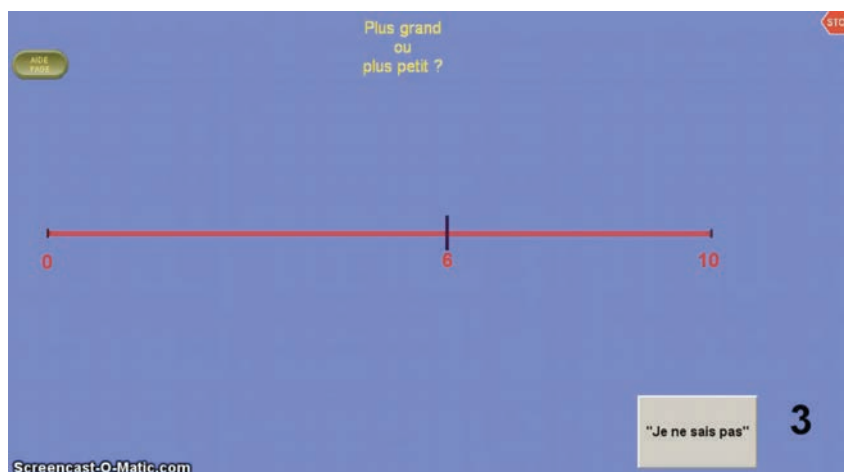
9) « *Dans quelques instants tu verras apparaître brièvement (très peu de temps) des dessins représentant des mains. Tu essaieras de me dire combien il y a de doigts levés mais tu n'auras pas vraiment le temps de les compter. Regarde bien l'écran et dis-moi combien il y a de doigts levés ?* »

- ➔ 3 doigts levés
- ➔ 7 doigts levés (les items suivants sont proposés uniquement en cas d'échec à cet item)
- ➔ 5 doigts levés
- ➔ 6 doigts levés



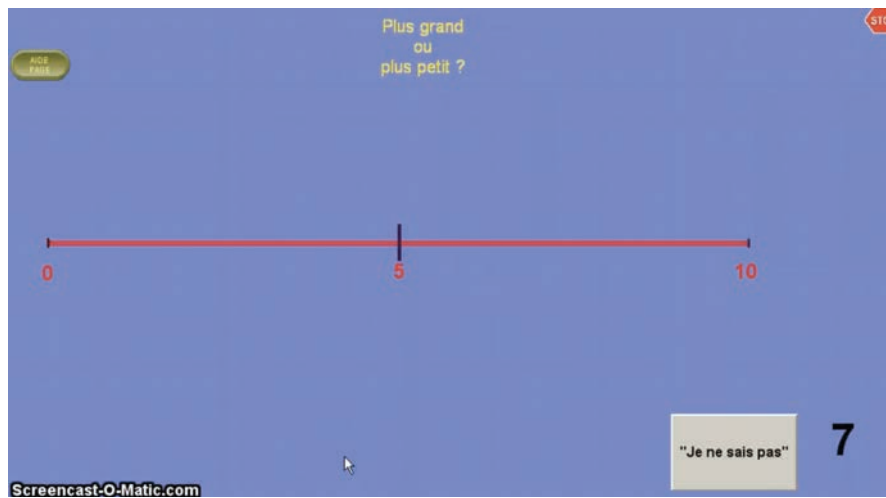
10) « *Plus grand ou plus petit ?* »

- o Pour 3 (frise allant de 0 à 10 avec curseur sur 6)



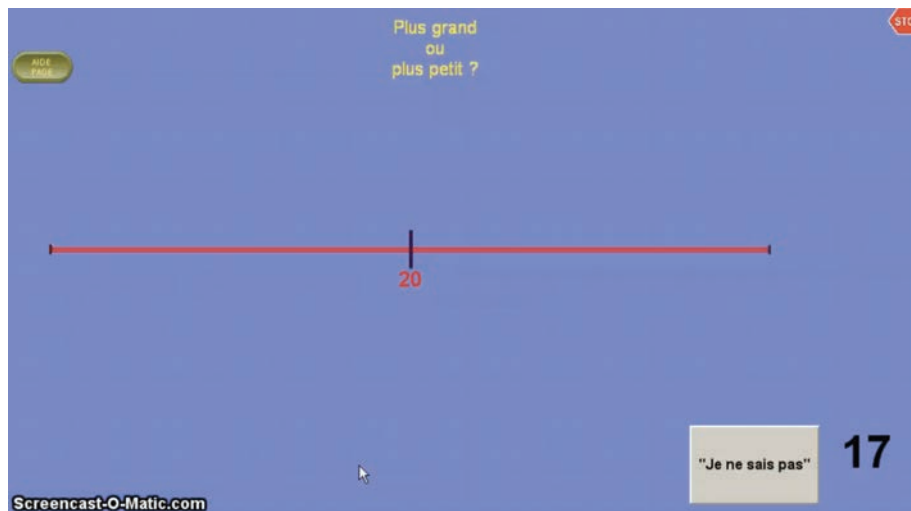
- ➔ Case grise en bas à droite de l'écran « Je ne sais pas »
- ➔ Flèche de la souris à positionner sur la frise
- ➔ Après clic gauche, apparition d'une nouvelle consigne : « Sûr ? Oui/Non »

- o Pour 7 (frise allant de 0 à 10 avec curseur sur 5)



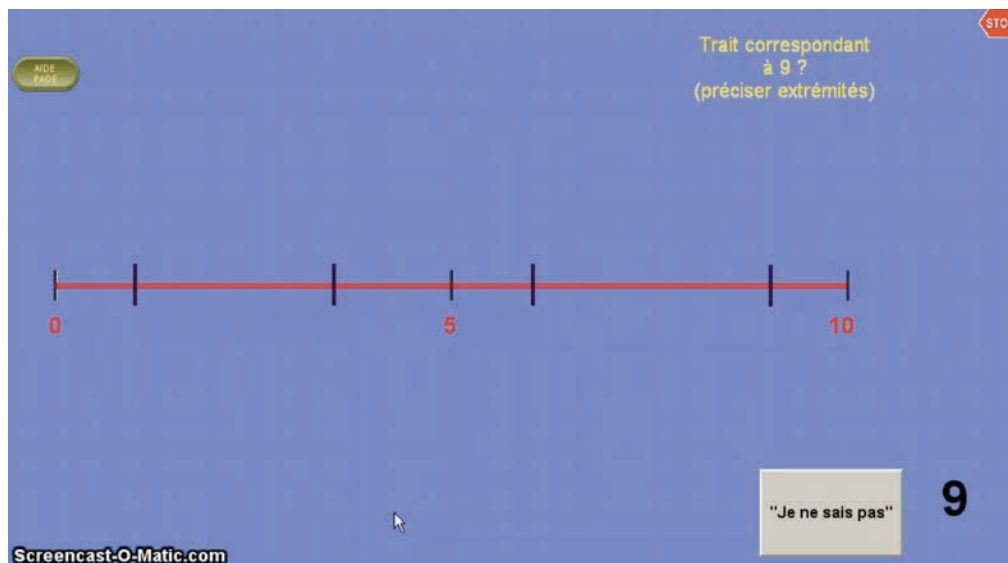
- Case grise en bas à droite de l'écran « je ne sais pas »
- Une fois cliqué, apparition de la fenêtre « Sûr ? Oui/Non »

- o Pour 17 (frise sans limites indiquées, curseur sur 20)



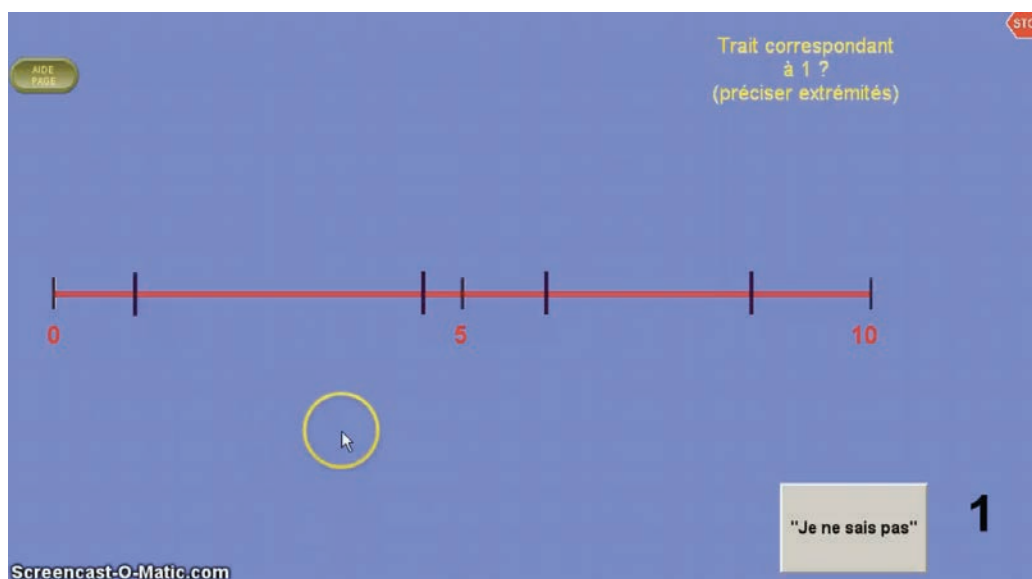
- Case grise en bas à droite
- Une fois cliqué, apparition de la fenêtre « Sûr ? Oui/Non »
- Si clic sur « Non » nouvelle chance de bien placer sa flèche
- Si clic sur « Oui » passage à l'item suivant

- 11) « **Trait correspondant à 9 ?** » (préciser les extrémités 0 et 10) (frise allant de 0 à 10 avec curseurs sur 5 et proche de 0, proche de 5 vers 0, proche de 5 vers 10, proche de 10 vers 5)



- ➔ Case grise en bas à droite de l'écran « Je ne sais pas »
- ➔ Une fois cliqué, apparition de la fenêtre « Sûr ? Oui/Non »

- 12) « **Trait correspondant à 1 ?** » (préciser les extrémités : 0, 5 et 10)



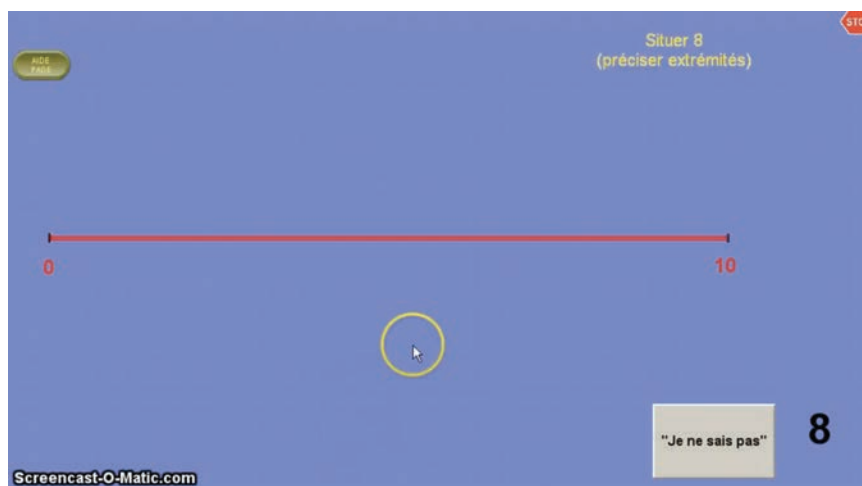
- ➔ Case grise «Je ne sais pas » en bas à droite

13) « **Situer 2** » (préciser les extrémités, 0 et 10) sans curseurs

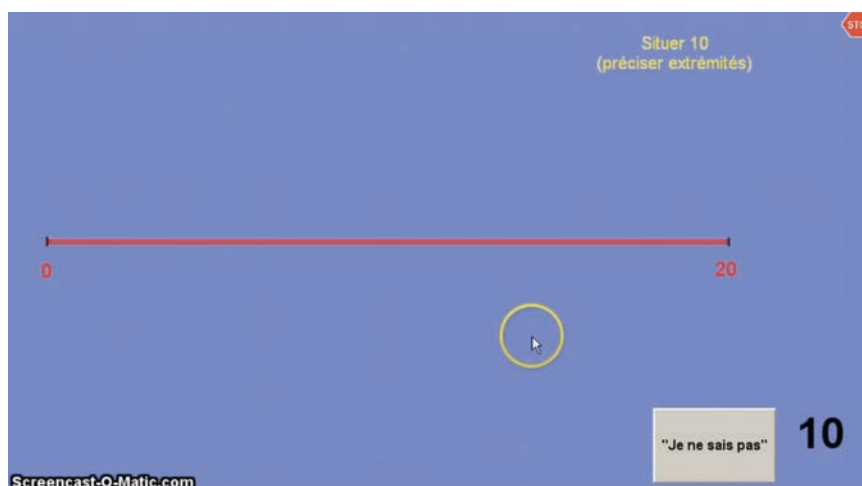


→ Case grise en bas à droite de l'écran « Je ne sais pas »

14) « **Situer 8** » (préciser les extrémités, 0 et 10) sans curseurs



15) « **Situer 10** » (préciser les extrémités, 0 et 20) sans curseurs

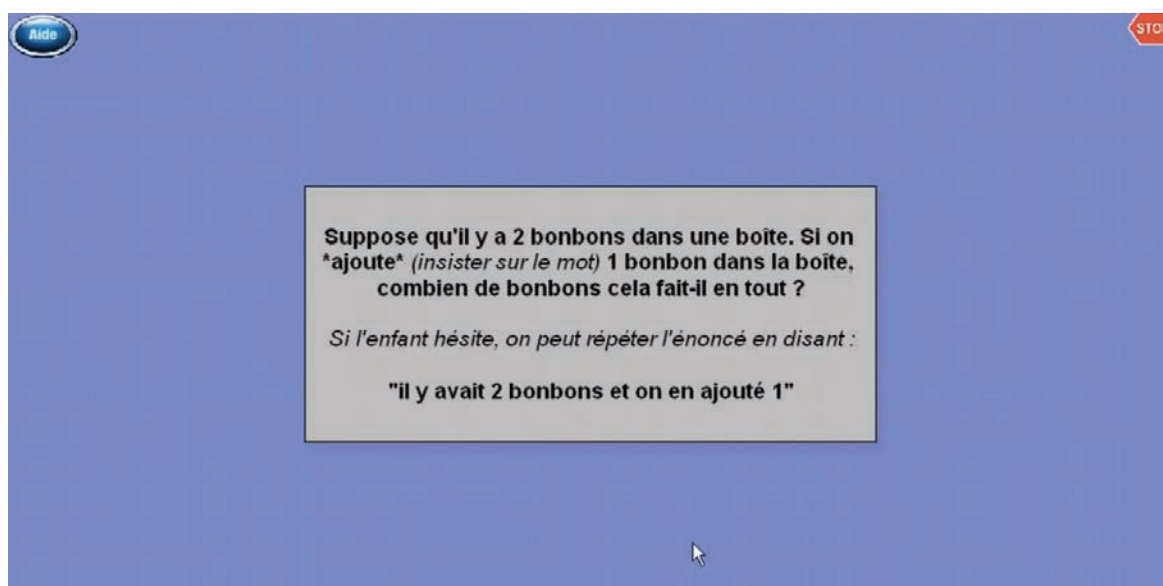


- 16) Question abstraite : « **2+3 : Peux-tu me dire combien cela fait « 2+3 » ?** » Si l'on pense que c'est la signification de « + » qui empêche la bonne réponse, ajouter : « plus », cela signifie « ajouter » ; 2+3, cela veut dire qu'on a 2 et qu'on ajoute 3 »



- 17) « **2+1** » (Nous supposons qu'il y ait échec à cet item)

- 18) Question semi-concrète : « **Suppose qu'il y a 2 bonbons dans une boîte. Si on « ajoute » (insister sur le mot) 1 bonbon dans la boîte, combien de bonbons cela fait-il en tout ?** » Si l'enfant hésite, on peut répéter l'énoncé en disant : « il y avait 2 bonbons et on en a ajouté 1 » (Nous supposons qu'il y ait à nouveau échec)



19) Question concrète : « ***Dans quelques instants, tu vas voir des papillons sur l'écran. Tu me diras combien il y en a. Voilà, dis-moi combien il y en a ?*** »



- ➔ Une image apparaît à l'écran avec une maison et un paysage fait d'arbres et deux papillons dont les ailes bougent en haut à gauche de l'écran.
- ➔ Si l'enfant ne répond pas, dire : « il y a 2 papillons »
- ➔ Si l'enfant se trompe, dire : « non, regarde bien, il ya 2 (insister mais NE PAS les compter) papillons »
- ➔ Si la réponse est correcte, dire : « oui, c'est bien ça, il y a 2 papillons »

20) « ***Maintenant, tu vas voir, les 2 papillons vont s'envoler et aller se cacher derrière la maison que tu vois ici. Pour le moment, il n'y a aucun papillon qui se cache derrière. Regarde bien l'écran.*** »



- ➔ « Tu as vu, les 2 papillons sont maintenant derrière la maison »
- ➔ « Maintenant, 1 autre papillon va les rejoindre ; regarde bien »



- ➔ « Il y en avait 2 puis 1 en plus », « revoyons cela en entier » (animation)
- ➔ « combien de papillons y a-t-il maintenant ? « Il y en avait 2 puis 1 en plus »

21) « *Si l'enfant réussit ou échoue, l'item recommence avec les deux papillons et l'animation qui les cache derrière la maison :* »



- ➔ « Tu as vu les 2 papillons sont maintenant derrière la maison »

→ « Maintenant, 3 autres papillons vont les rejoindre ; regarde bien » (animation)

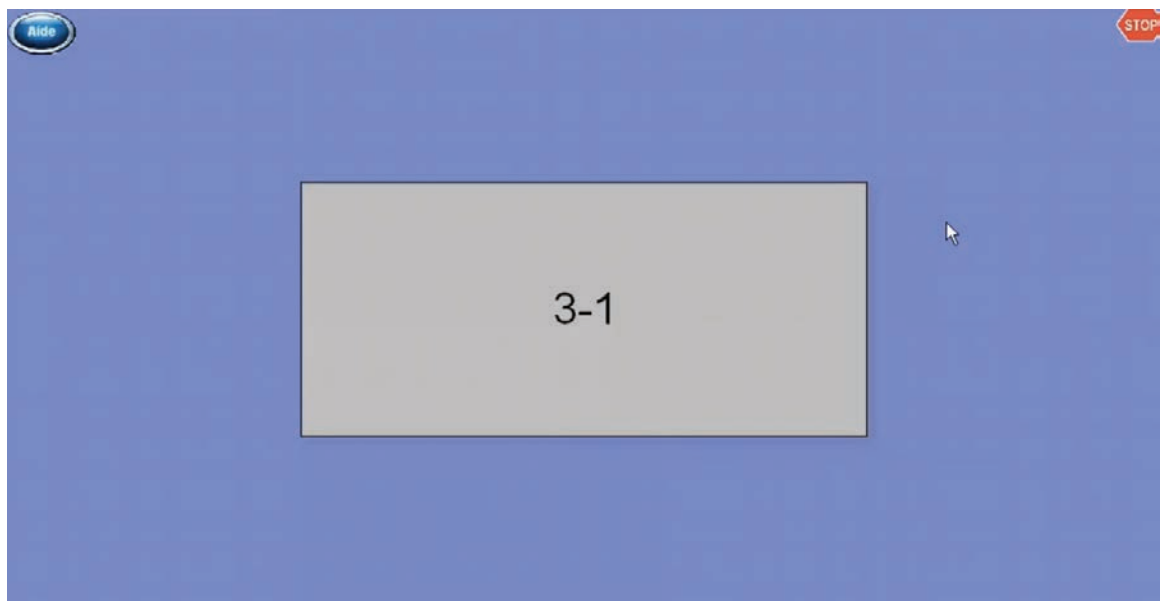


→ « Il y en avait 2, et ensuite 3 en plus » / « Revoyons cela en entier » (animation)

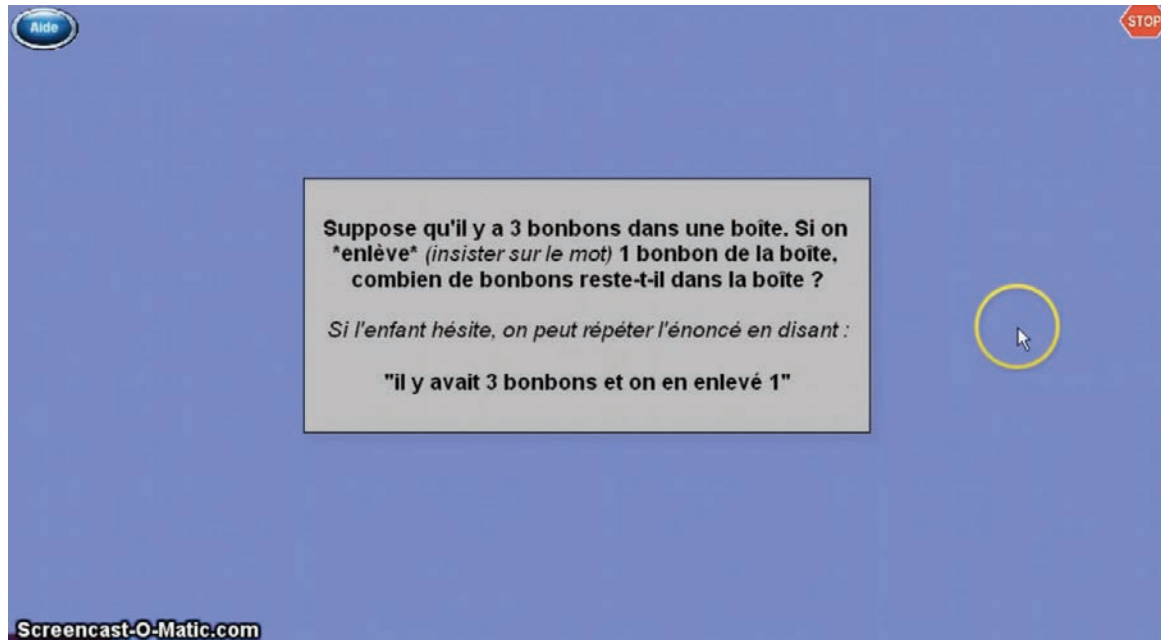
→ « Combien de papillons y a-t-il maintenant ? », « il y en avait 2, et ensuite 3 en plus »

22) 5-3 « *Peux-tu me dire combien cela fait '5-3' ?* » Si l'on pense que c'est la signification de '-' qui empêche la bonne réponse, ajouter « 'moins', cela signifie 'enlever ou retirer' ; 5-3, cela veut dire qu'on a 5 et qu'on retire 3 ».

23) Soustraction abstraite : « **3-1** »



- 24) Question semi-concrète : Si l'enfant échoue aux deux items précédents, il apparaît ce nouvel item : « **Suppose qu'il y a 3 bonbons dans une boîte. Si on 'enlève' (insister sur le mot) 1 bonbon de la boîte, combien de bonbons reste-t-il dans la boîte ?** » Si l'enfant hésite, on peut répéter l'énoncé en disant : « Il y avait 3 bonbons et on en a enlevé 1 »



- 25) Question concrète : **En cas d'échec, démo avec les papillons (idem item 18) : 3 papillons**

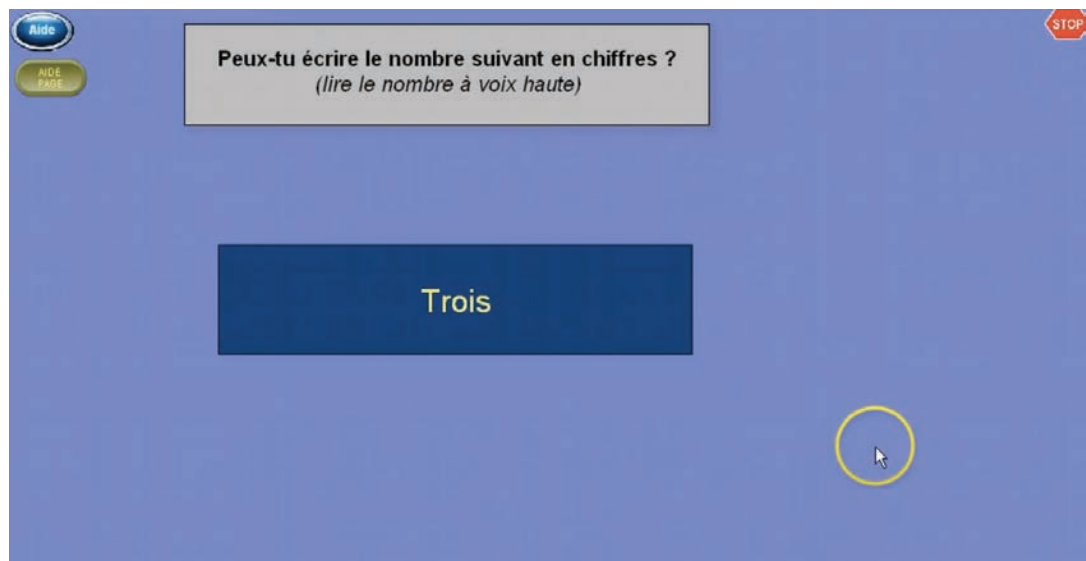
- ➔ Si l'enfant ne répond pas, dire : « il y a 3 papillons »
- ➔ Si l'enfant se trompe, dire « non, regarde bien, il y a 3 (insister mais NE PAS les compter) papillons »
- ➔ Si la réponse est correcte, dire : « Oui, c'est bien ça, il y a 3 papillons »
- ➔ « Maintenant, tu vas voir, les 3 papillons vont s'envoler et aller se cacher derrière la maison que tu vois ici. Pour le moment, il n'y a aucun papillon qui se cache derrière. Regarde bien l'écran. » (animation)
- ➔ « Tu as vu, les 3 papillons sont maintenant derrière la maison. Maintenant, 1 d'entre eux va s'en aller ; regarde bien » (animation)
- ➔ « Il y en avait 3, mais l'un d'entre eux est reparti. Revoyons cela en entier » (animation)
- ➔ « Combien de papillons y a-t-il maintenant ? Il y en avait 3 et l'un d'entre eux est parti »

- 26) **Que l'enfant se trompe ou non à l'item précédent, voici le nouvel item : « Dans quelques instants, tu vas voir des papillons sur l'écran. Tu me diras combien il y en a. Voilà, dis-moi combien il y en a ? » (5 papillons)**

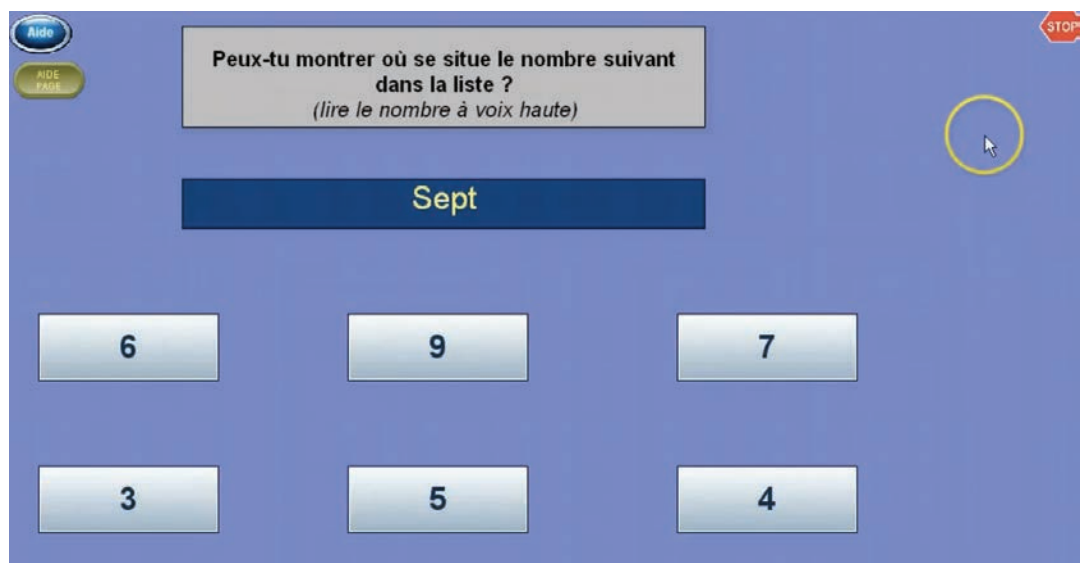
- ➔ Si l'enfant ne répond pas, dire « Il y a 5 papillons »
- ➔ Si l'enfant se trompe, dire : « non, regarde bien, il y a 5 (insister mais NE PAS les compter) papillons »
- ➔ Si la réponse est correcte, dire : « oui, c'est bien ça, il y a 5 papillons »

- « Maintenant, tu vas voir, les 5 papillons vont s'envoler et aller se cacher derrière la maison que tu vois ici. Pour le moment, il n'y a aucun papillon qui se cache derrière. Regarde bien l'écran. » (animation)
- « Tu as vu, les 5 papillons sont maintenant derrière la maison. Maintenant, 3 d'entre eux va s'en aller ; regarde bien » (animation)
- « Il y en avait 5, et ensuite 3 en moins », « Combien de papillons y a-t-il maintenant ? »

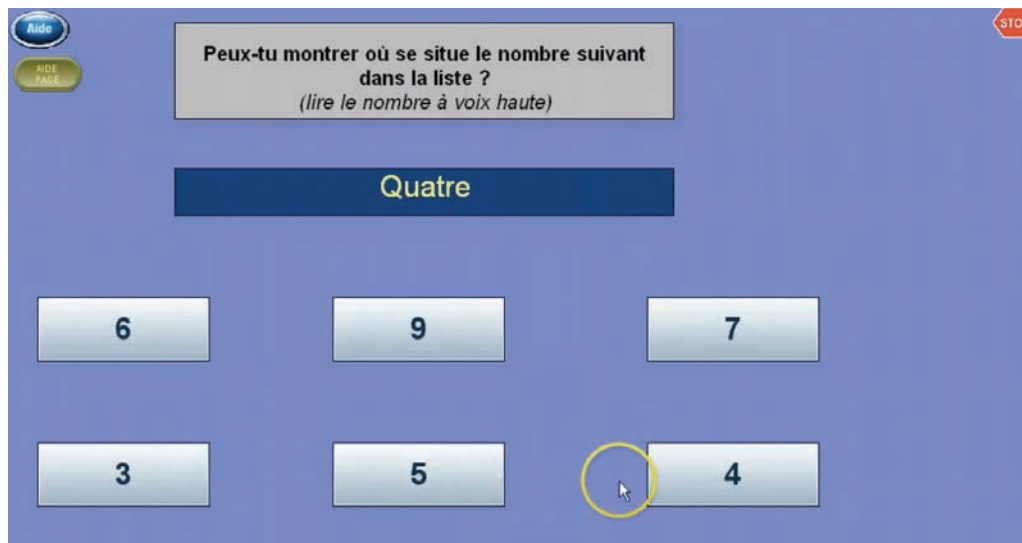
27) « *Peux-tu écrire le nombre suivant en chiffres ? (lire le nombre à voix haute) : Trois* »



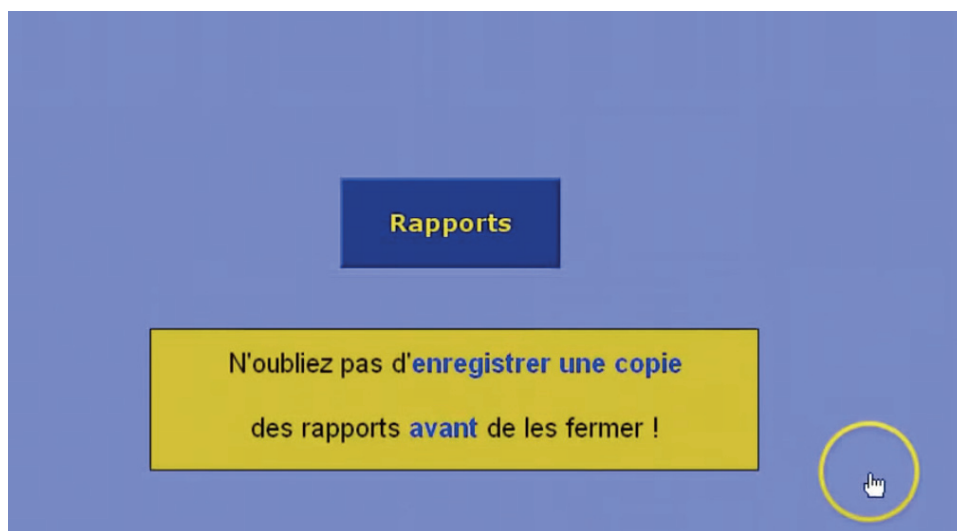
28) « *Peux-tu montrer où se situe le nombre suivant dans la liste ? (lire le nombre à voix haute) : Sept* » (liste de haut à gauche en bas à droite : 6/9/7/3/5/4)



29) *En cas d'échec* : « *Peux-tu montrer où se situe le nombre suivant dans la liste ?* » (*lire le nombre à voix haute*) : *Quatre* (6/9/7/3/5/4)



30) FIN



A la fin de la séance trois rapports sont fournis par le logiciel. Le premier d'entre eux décrit les compétences et performances de l'enfant à l'issue du test (***rapport Word***) alors que le deuxième traduit les scores bruts en fréquences cumulées, notes normalisées (moyenne = 100, écart-type = 15) et en nombre d'écarts-types en dessous ou au dessus de la moyenne (***rapport Excel***). Le troisième (***rapport Text Edit***) consiste en un résumé des items proposés à l'enfant avec la mention « Echoué » ou « Réussi ».

Mais avant de nous intéresser au déroulement de la passation du logiciel et aux résultats obtenus à la fin de cette passation, il est important de détailler et de comprendre les différents procédés et apprentissages qui régissent les réponses apportées par l'enfant afin d'exploiter en connaissance de cause ses résultats.

3. Les domaines intéressant le nombre

3.1. Les procédures de quantification chez l'enfant

En tout premier lieu, il est important de détailler les différentes procédures de quantification qui s'établissent chez l'enfant, comme le subitizing, le dénombrement et l'estimation globale.

3.1.1. Le subitizing

Introduit par Kaufman, Lord, Reese et Volkmann en 1949, le terme subitizing désigne le processus qui permet de déterminer très rapidement et avec exactitude la numérosité de petites collections d'éléments (représentées dans la plupart des études par des collections de points présentées très brièvement).

3.1.1.a. Les expériences scientifiques auprès des enfants

Etudié chez l'enfant, le subitizing montre des temps de latences plus longs que ceux observés chez les adultes, bien qu'un profil parfaitement similaire est observé à partir de 5 ans lorsque les enfants doivent quantifier des collections d'éléments.

On note, en effet, un saut qualitatif très important au niveau des collections de 4 ou 5 éléments : alors que la progression des latences est minime et la performance presque parfaite jusqu'à 3 ou 4 éléments, un accroissement considérable de la latence (plusieurs secondes) est observé au-delà, accompagné d'une chute importante de la qualité de la performance³⁹.

A 8 et 10 ans les performances des enfants se rapprochent progressivement de celles des adultes⁴⁰, cette similitude dépassant largement une simple ressemblance de surface entre profils de performance mais se retrouvant aussi dans les stratégies d'exploration visuelle des divers arrangements spatiaux des points (stratégies enfantines parfaitement comparables à celles enregistrées chez les adultes). Par exemple, le nombre de saccades oculaires et de fixations est constant jusqu'à 4 ou 5 éléments puis augmente progressivement avec l'accroissement de la taille des collections⁴¹.

³⁹ Chi et Klahr, 1975 ; Trick, Ens et Brodeur, 1996 ; Van Oeffeln et Vos, 1984, Fischer, 1984b, 1991.

⁴⁰ Trick et al., 1996

⁴¹ Van Oeffeln et Vos, 1982, 1984.

Un saut qualitatif dans les performances entre petites et grandes numérosités est également observé chez des enfants plus jeunes lorsqu'il leur est donné à comparer le nombre d'éléments présentés dans deux collections. Ainsi, les enfants âgés de 2 à 5 ans sont capables de déterminer correctement si deux collections présentent ou non le même nombre d'éléments, même si les critères de longueur, de densité et de configuration spatiales des collections varient et que la durée de leur présentation au sujet est très brève (200 ms). Les performances obtenues sont parfaites pour les petites collections d'éléments (1 à 3 éléments à 2 ans et 1 à 4 éléments après 3 ans) alors qu'elles sont dépendantes du hasard pour les collections plus importantes⁴². On retrouve également ces résultats chez les enfants plus jeunes alors qu'ils sont incapables de nommer correctement la numérosité des collections présentées.

Diverses études utilisant le paradigme d'habituation multiple ont montré cette même frontière dans les performances d'enfants très jeunes et de nourrissons : l'enfant étant exposé dans ce paradigme à différentes collections comportant la même numérosité jusqu'à ce qu'il manifeste un comportement d'habituation (typiquement lorsque le temps de fixation moyen de deux ou trois collections consécutives diminue jusqu'à un critère donné – par exemple inférieur à 50% du temps de fixation moyen observé lors de la présentation des premières collections). On présente alors une collection comportant plus ou moins d'éléments que durant la phase d'habituation : si l'enfant perçoit une différence son temps de fixation s'allonge. Grâce à cette technique ne nécessitant la compréhension d'aucune consigne explicite et ne demandant pas de réponse verbale, on a montré que les jeunes enfants âgés de 10 à 12 mois perçoivent la différence entre des ensembles de 2 et 3 éléments mais pas entre des ensembles de 4 et 5 éléments⁴³. Il est à noter que des résultats similaires ont été observés chez des nourrissons âgés de 1 à 6 jours à peine⁴⁴.

3.1.1.b. Modèles explicatifs du subitizing

Trois classes de modèles tentent d'expliquer le phénomène du subitizing :

- les modèles perceptifs et perceptivo-mnésiques (selon eux le subitizing est dû aux propriétés et au fonctionnement du système perceptif humain et aux limites de la mémoire à court terme)
- les modèles de dénombrement sériel (attribuant l'émergence du phénomène de subitizing aux seules propriétés du mécanisme de dénombrement, très rapide pour les petites numérosités mais plus lent pour les numérosités plus importantes⁴⁵)

⁴² Brainerd, 1977 ; Starkey et Cooper, 1995.

⁴³ Starkey et Cooper, 1980 ; Strauss et Curtis, 1981.

⁴⁴ Antell et Keating, 1983.

⁴⁵ Gallistel et Gelman, 1992.

- et les modèles (pré)attentionnels (selon ces derniers, le subitizing est dû à des mécanismes (pré)attentionnels de traitement visuel des stimuli fonctionnant de manière parallèle⁴⁶)

Au-delà des mécanismes particuliers qu'ils présentent, ces différents modèles se distinguent essentiellement par le lien d'antériorité/succession qu'ils établissent entre subitizing et dénombrement.

3.1.2. Le dénombrement

Pour quantifier de manière précise une collection de plus de 4 éléments, le subitizing va céder la place au dénombrement.

Le dénombrement n'est autre que la mise en correspondance terme à terme des éléments d'une collection avec les éléments de la suite conventionnelle des noms de nombre. Il se distingue du comptage qui est la répétition automatique de cette suite conventionnelle.

3.1.2.a. Principes universels du dénombrement

Suite aux travaux de Gelman et de ses collaborateurs⁴⁷, il est aujourd'hui admis que le dénombrement est régi par cinq principes :

- le principe de mise en correspondance terme à terme : chaque élément est mis en relation avec une et une seule étiquette
- le principe d'ordre stable : les étiquettes constituent une suite fixe
- le principe de cardinalité : la cardinalité d'une collection est obtenue par la dernière étiquette énoncée
- le principe d'abstraction : l'hétérogénéité des éléments d'une collection n'a aucun impact sur leur dénombrement
- le principe de non pertinence de l'ordre : l'amorce du comptage à un endroit ou un autre de la collection n'a pas d'incidence sur la numérosité.

Il est important de noter que ces principes sont, en réalité, indépendants des compétences et connaissances langagières.

⁴⁶ Trick et Pylyshyn.

⁴⁷ Gelman, 1978 ; Gelman et Gallistel, 1978 ; Gelman et Meck, 1983.

3.1.2.b. Le socle du dénombrement

Afin de réaliser un dénombrement correct, deux habiletés de base doivent être coordonnées : l'énonciation de la suite conventionnelle des noms de nombres et le pointage, visuel ou digital, de chaque élément⁴⁸.

Un dénombrement incorrect peut ainsi résulter de problèmes liés à l'une ou l'autre de ces habiletés, voire à leur mise en œuvre simultanée.

1) la chaîne numérique verbale

La maîtrise de la chaîne numérique verbale, ou suite des noms de nombres, constitue un précurseur cognitif et linguistique fondamental pour le développement des habiletés arithmétiques.

En effet, elle influence l'acquisition des principes numériques de base de l'arithmétique comme la correspondance terme à terme et la cardinalité⁴⁹, ainsi que la conservation⁵⁰ ; tout en permettant bien évidemment le dénombrement et s'immisçant dans la façon par laquelle l'enfant effectue différentes tâches arithmétiques telles que l'addition⁵¹, la soustraction⁵² et la division d'ensembles d'objets en parts égales⁵³.

Sur le plan développemental, l'apprentissage initial de la chaîne numérique verbale se réalise de manière incidente : très tôt l'enfant va rencontrer les noms de nombres dans différents contextes et apprendre la distinction entre les mots représentant des nombres et les autres mots. Ces mots vont rapidement constituer un domaine lexical autonome et utilisable en compréhension comme en production. Ainsi, dès 2 ans, on observe très peu d'intrusions d'autres mots dans des tâches utilisant des nombres⁵⁴.

La construction de cette chaîne numérique se réalise en deux étapes en parties imbriquées :

- une phase d'acquisition initiale de la suite des noms de nombres : l'enfant apprend qu'il existe une série de mots, d'étiquettes, qui représentent des nombres, en rencontrant cette série et en la répétant dans des contextes différents. Lors de cette phase, la chaîne numérique constitue pour l'enfant un tout indissociable. Les productions d'enfants répondant à la question « montre-moi jusqu'où tu sais compter » ont permis d'établir qu'elles sont constituées de trois parties :

⁴⁸ Beckwith et restle, 1966.

⁴⁹ Gelman et Gallistel, 1978 ; Polio et Whitacre, 1970.

⁵⁰ Fuson, Secada et Hall, 1983.

⁵¹ Fuson et al., 1982.

⁵² Carpenter et Moseer, 1982 ; Fuson, 1984.

⁵³ Pollio et Whitcare, 1970.

⁵⁴ Etudes de Gelman et Gallistel, 1978 ; Fuson et al., 1982 ; Siegler et Robinson, 1982.

- o une partie conventionnelle et stable, soit la suite correcte des nombres que l'enfant répète d'un essai à l'autre ;
 - o une partie non conventionnelle mais stable, soit une suite incorrecte de quelques nombres (l'enfant oublie, répète ou inverse un ou plusieurs éléments de la suite des nombres) mais que l'enfant répète de manière constante ;
 - o une partie ni stable ni conventionnelle, qui diffère d'un essai à l'autre chez un même enfant et qui ne respecte pas l'ordre conventionnel.
- une phase d'élaboration durant laquelle la séquence est décomposée en mots et les relations entre ces mots sont établies⁵⁵ : la chaîne numérique est alors décomposée en éléments, les nombres, dont les relations vont progressivement apparaître. On distingue alors cinq niveaux d'élaboration, correspondant chacun à plusieurs activités nouvelles que l'enfant maîtrisera progressivement :
- o le stade chapelet : les mots représentant les nombres font partie du tout qui constitue la suite. Ils ne sont pas encore isolables et ne prennent leur sens pour l'enfant qu'au sein de la suite numérique. De plus, l'enfant ne peut utiliser la chaîne numérique qu'en partant du début de celle-ci, il lui est encore impossible de compter à partir de n'importe quel nombre ou de donner le nombre précédent/suivant, si ce n'est en recommençant à partir de un.
 - o Le stade de la chaîne insécable : les mots s'individualisent et sont perçus comme des éléments séparés mais la chaîne ne peut encore être utilisée que dans sa globalité. Cependant cette individualisation des mots permet à l'enfant de réussir des tâches simples de correspondance terme à terme, d'addition (parfois même soustractions) sur des petites quantités, ou encore des tâches comme « compter combien de » ou « compter jusqu'à ». Dès 3 ou 4 ans les enfants peuvent ainsi, avec quelques difficultés, donner l'élément qui vient juste avant/après.
 - o Le stade de la chaîne sécable : les liaisons entre les différents éléments de la chaîne numérique apparaissent à l'enfant, permettant une manipulation plus facile de celle-ci. Il peut alors compter, compter à partir d'un élément donné/d'un élément jusqu'à un autre/ à l'endroit et à rebours. Il peut également donner l'élément qui vient juste avant/après et dire si tel élément est avant/après tel autre. Ce niveau est en général atteint vers 5 ans.
 - o Le stade de la chaîne numérable : les mots de la chaîne sont totalement individualisés, ils acquièrent leur sens numérique et leurs relations avec les

⁵⁵ Fuson et al., 1982.

opérations numériques sont perçues. La chaîne numérique elle-même peut faire l'objet d'opérations faisant appel à ces relations. En effet, l'enfant peut désormais compter n à partir d'un élément donné et compter de x à y pour dire combien il y a entre eux (dans cette dernière tâche l'enfant doit produire deux activités : énoncer la suite et garder une trace afin de comptabiliser chaque élément, en s'aidant, par exemple, des doigts). Il est tout de même à signaler que la réalisation de ces tâches à rebours est encore difficile à ce stade, en raison de la charge importante en mémoire à court terme et des stratégies assez lourdes qu'elle implique.

- o Le stade de la chaîne bidirectionnelle : la chaîne numérique est totalement maîtrisée dans les deux sens et l'utilisation à rebours nécessite moins d'efforts que précédemment.

« Rappelons que le passage d'un niveau/stade à l'autre est progressif et que chaque stade regroupe un panel large et hétéroclite d'aptitudes (ou compétences au sens de Chomsky), voire de savoirs-faire (ou performances, toujours au sens de Chomsky) acquis par l'expérience, schématisés selon trois types :

- des Compétences ou Performances spécifiques au nombre et à la numération, relativement indépendantes entre elles et s'automatisant progressivement ;
- des Compétences ou Performances générales et transversales (capacités intellectuelles, mémoire de travail, capacités d'attention, etc ...) ;
- des Compétences ou Performances acquises progressivement lors d'apprentissages formalisés, qu'ils soient spécifiques (ateliers spécifiques en maternelle par exemple) ou non (autres apprentissages, scolaires mais également de la vie quotidienne).

Ces diverses compétences ou performances entretiennent entre elles des liens de causalité réciproque, plus particulièrement les compétences/performances générales et transversales et les compétences/performances acquises progressivement.

En conséquence, il est difficile de mettre en place des procédures opérationnelles et fiables permettant d'identifier sans équivoque le niveau de maîtrise de chacun des stades : selon le type de tâche proposée et le contenu sur lequel porte l'activité, les compétences propres au stade seront considérées comme atteintes ou non. »⁵⁶

Cette structuration progressive de la chaîne numérique s'établit généralement entre 3 et 6 ans, à travers les expériences préscolaires de l'enfant et lors de ses premières années de scolarisation, grâce à la mémorisation, la structuration et la décomposition de ses acquis.

⁵⁶ Marc Heremans, extrait de la partie Manuel ©5 Contenu du test, 2. Chaîne numérique. Disponible sur le site internet du logiciel.

Pendant cette période certaines erreurs typiques sont retrouvées lors du comptage : oubli, répétition, inversion d'un ou plusieurs nombres et même génération de nombres n'existant pas⁵⁷. La plupart de ces erreurs sont liées à la représentation mentale que l'enfant s'est faite de la suite des nombres et de leurs relations. Pour les premiers nombres une mémorisation par cœur semble être de mise, bien qu'elle ne puisse s'appliquer à la totalité des nombres. L'enfant doit donc découvrir ou apprendre les règles qui régissent la formation des noms de nombres et qui vont lui permettre de se passer de la mémorisation en générant n'importe quel nombre. En français, l'étiquette verbale attribuée aux nombres de 1 à 16 est presque totalement arbitraire, ainsi la mémorisation est la seule stratégie possible pour les apprendre car ces nombres, à eux seuls, ne comportent pas suffisamment de régularités pour permettre à l'enfant d'élaborer des règles de construction. Au-delà de 16 des règles de formation peuvent progressivement être perçues et appliquées par l'enfant, essentiellement à partir de la structure morphosyntaxique des noms de nombres, lui permettant de générer des règles de formation des autres noms de nombres.

2) Le pointage

De nombreux travaux ont démontré que le pointage des éléments à dénombrer, soit le fait de « pointer du doigt » chaque élément successivement, améliore sensiblement la qualité de la performance en dénombrement⁵⁸.

Toutefois il apparaît qu'il est très important surtout chez les enfants de 4 ans (les bénéfices étant faibles chez les enfants de 2 ans qui le maîtrisent mal et chez les enfants de plus de 6 ans pour qui le dénombrement sans pointage est déjà excellent).

La fonction du pointage est double : il permet d'aider à garder une trace des éléments dénombrés et d'aider à coordonner la mise en correspondance entre éléments dénombrés et étiquettes verbales (je pointe un élément – je compte/associe l'étiquette verbale « un » ; je pointe un deuxième élément – je compte/associe l'étiquette verbale « deux », etc ...).

Il peut être effectué par l'enfant lui-même ou par un tiers, tout en sachant que la nature des erreurs observées diffère selon l'auteur de l'action. En effet, lorsque l'enfant réalise seul le pointage nous allons pouvoir observer des erreurs de marquage (l'enfant va oublier des éléments ou les pointer plusieurs fois) alors que des erreurs de coordination entre l'énonciation de la suite numérique et le pointage sont observées lorsque celui-ci est réalisé par un tiers⁵⁹. Ce qui témoigne que le pointage, tout en aidant à garder une trace des éléments déjà dénombrés, permet à l'enfant d'appliquer sa connaissance du principe de correspondance terme à terme.

⁵⁷ Pesenti, 1995.

⁵⁸ Alibali et Di Russo, 1999 ; Fuson et Hall, 1983 ; Gelman et Meck, 1983 ; Schaeffer, Eggleston et Scott, 1974.

⁵⁹ Alibali et Di Russo, 1999.

3.1.2.c. Les erreurs de dénombrement

Les erreurs que nous pouvons observer dans des tâches de dénombrement peuvent être dues à une mauvaise maîtrise d'un ou plusieurs des cinq principes du dénombrement, détaillés précédemment, comme à une mauvaise coordination de ceux-ci.

On peut également objectiver des problèmes attentionnels plus généraux non spécifiques aux nombres, comme une mauvaise coordination visuo-motrice entraînant fatalement des erreurs de pointage et/ou de balayage visuel.

Une maîtrise insuffisante de la chaîne numérique peut elle aussi expliquer des erreurs de dénombrement, celle-ci étant impliquée, comme nous l'avons expliqué plus haut, dans certains principes de base du dénombrement. Effectivement, si des omissions, des inversions ou des répétitions sont présentes dans le comptage, par violation du principe d'ordre stable, le résultat obtenu pour le dénombrement sera erroné.

Il est également important de noter que la configuration spatiale des éléments à dénombrer joue indéniablement sur la qualité du dénombrement. Un arrangement régulier (éléments présentés alignés) conduira ainsi à moins d'erreurs qu'un arrangement aléatoire (éléments non alignés) ou un arrangement (comme des éléments arrangés en cercle) pour lequel le risque d'erreurs de pointage visuel ou manuel est plus élevé, car le maintien en mémoire des éléments déjà dénombrés est rendu plus difficile en l'absence d'aide de la part des indices externes de la configuration⁶⁰.

L'enfant va ainsi devoir apprendre que certaines stratégies de pointage, comme le fait de pointer les éléments de manière linéaire de gauche à droite, sont plus efficaces que d'autres, en comparaison du fait de pointer les éléments de proche en proche en partant du centre ou de la périphérie⁶¹.

3.1.3. L'estimation globale

L'estimation globale intervient quand la taille de la collection à quantifier est trop importante et/ou que le sujet manque de temps pour réaliser une quantification par dénombrement. En effet, dans ce genre de situation une réponse approximative peut néanmoins être donnée, et c'est le processus mis en jeu pour cela qu'on nomme estimation globale.

⁶⁰ Beckwith et Restle, 1966.

⁶¹ Shannon, 1978.

3.1.3.a. Résultats des études menées auprès de populations adulte et enfantine

Des études auprès de sujets adultes ont révélé que, dans le cas de quantification de collections très importantes, la variabilité des estimations augmentait proportionnellement à la moyenne estimée⁶² et que le résultat le plus commun était une nette tendance à sous-évaluer la numérosité réellement présentée⁶³.

A noter que cette tendance générale est fortement influencée par l'arrangement spatial des éléments composant la collection à quantifier. En effet, un même nombre d'éléments distribués de façon différente dans l'espace apparaît subjectivement très différent, entraînant certaines illusions de numérosité. Il a ainsi été prouvé que des points arrangés de manière dispersée sont jugés plus nombreux que des points groupés⁶⁴ et qu'à l'inverse une collection unique de points largement répartis semble en contenir plus que plusieurs petites collections séparées (cet effet étant appelé « illusion du solitaire »⁶⁵). De la même façon un arrangement irrégulier de points est systématiquement sous-estimé alors qu'un arrangement régulier est systématiquement surestimé, bien que l'aire totale sur laquelle les points sont répartis est identique (effet appelé Random regular Numerosity Illusion⁶⁶). L'environnement de la collection à quantifier est également un critère subjectif. En effet, des collections de points identiques en nombre et en surface couverte sont perçues différemment si elles sont présentées dans des environnements contraignants différents : les points paraissent plus nombreux lorsqu'il sont présentés à l'intérieur d'un cadre très proche de ces derniers que lorsque ce cadre est plus éloigné⁶⁷.

Peu d'études ont été réalisées auprès de sujets enfants, ceci étant expliqué par le fait que l'estimation nécessite une connaissance plus importante des noms de nombres que lors du subitizing ou du dénombrement, en raison de la taille plus importante des collections présentées, et de ce fait non testable sur de jeunes enfants. Plusieurs études ont ainsi plutôt privilégié des épreuves où les enfants devaient comparer des collections de points, démontrant que dès 3 ans, les enfants prennent en compte les paramètres spatiaux pour établir leur jugement, privilégiant les dimensions physiques comme la longueur et la densité des arrangements sur la numérosité⁶⁸. La densité semble d'ailleurs avoir un impact négatif important, les collections plus denses étant plus difficiles à juger, et supérieur à celui de la longueur⁶⁹. D'autres résultats révèlent des comportements assez similaires à ceux observés chez les adultes : sous-estimation croissante chez l'enfant de 6 à 8 ans concernant l'évaluation de la numérosité de collections aléatoires de 8 à 20

⁶² Whalen et al., 1999

⁶³ Kaufman et al., 1949 ; Krueger, 1972, 1984

⁶⁴ Bevan, Maier et Helson, 1963 ; Krueger, 1972

⁶⁵ Frith et Frith, 1972

⁶⁶ Ginsburg, 1976, 1978, 1980

⁶⁷ Bevan et Turner, 1964

⁶⁸ Brainerd, 1977 ; Cuneo, 1982 ; Gelman, 1972 ; La Pointe et O'Donnell, 1974 ; Siegel, 1974

⁶⁹ Brainerd, 1977 ; Kingma et Loth, 1984

points⁷⁰, erreur d'estimation augmentant proportionnellement à la moyenne estimée dès 5 ans mais diminuant de manière générale avec l'âge (indiquant que les représentations sous-jacentes se précisent au cours du développement⁷¹), utilisation du solitaire observée dès 8 ans⁷², tendance à surestimer les arrangements de points distribués de manière régulière (peu présente vers 5 ans mais augmentant progressivement entre 7 et 11 ans⁷³). Il est également intéressant de noter que, chez les adolescents, le niveau d'efficacité dans des tâches de comptage (à l'endroit, à l'envers, par 7, etc.) est un excellent prédicteur des performances dans des tâches d'estimation de collections très importantes de points⁷⁴.

3.1.3.b. Modèles explicatifs de l'estimation

Les modélisations de l'estimation portent sur la relation entre numérosité et espace et sur l'importance des traitements perceptifs dans la détermination de la numérosité. Tout comme les expériences, elles ont été formulées dans le cadre de travaux auprès de populations adultes essentiellement, ce qui explique le peu de prédictions que nous possédons pour ce qui concerne les enfants.

1) Perception de la forme

Pour expliquer l'illusion du solitaire, une interprétation propose l'idée que l'estimation procède par extraction de formes (au sens Gestaltiste du terme) : ainsi des points organisés en collection figurale (par exemple, leur couleur) ou proches spatialement seraient considérés comme de « meilleures » formes et paraîtraient de ce fait numériquement plus importants⁷⁵. Cette interprétation reste toutefois peu élaborée et ne saurait représenter une généralité.

2) Détection d'aires et de contours

Une autre interprétation propose quant à elle que la numérosité perçue soit directement influencée par l'aire totale occupée par les points plutôt que par la numérosité réelle, les points spatialement proches seraient assimilés en regroupements de quelques éléments et la numérosité serait ainsi déterminée grâce à la surface définie par les contours de ces différents regroupements⁷⁶.

Le modèle le plus récent introduit plutôt la notion de zone d'occupation de la surface par les points. Dans ce modèle, chaque point d'une collection active une zone circulaire de

⁷⁰ Chillier, 2002

⁷¹ Huntley-Fenner, 2011 ; Chillier, 2002

⁷² Frith et Frith, 1972

⁷³ Ginsburg et Deluco, 1979

⁷⁴ Newman, 1984

⁷⁵ Frith et Frith, 1972

⁷⁶ Van Oeffelen et Vos, 1982 ; Vos, Van Oeffelen, Tibosh et Allik, 1988

rayon R dont il occupe le centre. La numérosité correspondant ainsi à la somme des zones activées. Toutefois, lorsque la distance entre deux points est inférieure au rayon, leurs zones se chevauchent et la contribution de ces points à la numérosité totale est réduite proportionnellement au recouvrement⁷⁷. Cela permet d'expliquer la tendance générale à une sous-estimation des arrangements irréguliers : la proportion de points proches, et donc de recouvrements, est plus importante que dans un arrangement régulier, aussi la numérosité apparaîtra moins importante.

3.2. Le transcodage

En même temps que se développent les procédures de quantification, des capacités de transcodage numériques apparaissent chez l'enfant, particulièrement la lecture en langue maternelle, à voix haute, de nombres écrits en chiffres arabes comme leur écriture sous dictée dans la langue maternelle.

L'apprentissage de ce transcodage débute vers 5 ans et se finit en principe aux alentours de 9 ans.

Le premier code avec lequel l'enfant est en contact est le code verbal oral, présent dans la langue maternelle : l'acquisition de la chaîne numérique verbale en est le premier exemple. Mais plus tard l'enfant sera également confronté aux représentations numériques écrites : les nombres écrits phonologiquement (« douze ») et les nombres écrits numériquement soit en chiffres arabes (« 12 »). D'autres codes numériques, plus rarement utilisés, comme le code numérique romain (« XII »), devront également être maîtrisés par la suite.

Ces codes ne peuvent rester indépendants et l'enfant devra bien évidemment être capable de passer d'un système à un autre pour lire à voix haute des nombres écrits numériquement ou encore écrire numériquement (en chiffres arabes) et phonologiquement (en lettres alphabétiques) des nombres dictés dans la langue maternelle (phonologique oral). Ces processus de traduction d'un nombre d'un code à l'autre se regroupent sous l'appellation « transcodage numérique ».

Tout transcodage suppose forcément la maîtrise du code « source » comme celle du code « de sortie ». Comme nous l'avons dit précédemment, les premiers transcodages intéressant l'enfant vont concerner le passage du code verbal oral (phonologique oral) au code arabe (numérique) et vice versa.

⁷⁷ Allik et Tuulmets, 1991

3.2.1. Le système de numération arabe

Le système de numération arabe se compose de 10 chiffres, allant de 0 à 9, également appelés primitives lexicales, qui peuvent se combiner les uns avec les autres afin de former la multitude des nombres.

Ce système est strictement positionnel, c'est-à-dire, que la valeur d'un chiffre dépend de sa position dans le nombre. Ainsi « 3 » peut faire référence à trois (dans 23), à trente (dans 35), à trois cents (dans 325), à trois mille (dans 3245), et ainsi de suite.

Il s'agit en fait d'un système de numération positionnel en base 10 :

- la valeur associée à un chiffre est déterminée par sa position (calculée à partir de la droite) dans la séquence
- à chaque déplacement d'une position vers la gauche, le chiffre augmente sa valeur d'une puissance de 10.

3.2.2. Le système phonologique

Le système phonologique (écrit ou oral) se compose également d'une série de primitives lexicales représentant les mots qui, de manière isolée, font référence à une quantité :

- de « un » à « neuf » : il s'agit des **unités**
- de « onze » à « seize » : il s'agit des **particuliers**
- de « dix » à « soixante » (ou « nonante » pour le système numéral belge) : il s'agit des **dizaines**
- « cent », « mille », « million » : il s'agit des **multiplicateurs**
- « zéro »

Pour pouvoir représenter l'infinité des nombres, ces primitives se combinent entre elles en structures complexes. Contrairement au code arabe, le code phonologique ou verbal n'autorise pas toutes les associations : en effet, « dix-neuf » est correct mais « dix-un » ne l'est pas.

Des règles décrivent la syntaxe de ce système : il s'agit de combinaisons qui mettent les primitives soit dans des rapports additifs (« vingt-trois » = « vingt » + « trois »), soit dans

des rapports multiplicatifs (« trois cents » = « trois » x « cent »), voire les deux combinés (« trois cent vingt-trois » = « 'trois' x 'cent' » + « 'vingt' » + « 'trois' x 'un' »)⁷⁸.

Le code phonologique oral est le premier à intervenir très précocement chez l'enfant : selon Gelman et Gallistel (1978), les enfants de 2 ans et demi sauraient déjà que les noms de nombres constituent une catégorie particulière de mots qui leur sert de manière spécifique quand on leur demande de compter une collection d'objets.

Cependant la maîtrise complète de ce code nécessite plusieurs années et ce n'est que vers 6 ans que les enfants acquièrent la suite des nombres allant de 1 à 20⁷⁹. Pour constituer les nombres suivants ils devront alors apprendre les règles syntaxiques décrites plus haut.

La numération écrite n'entre en jeu, quant à elle, que bien après l'apparition des premiers mots-nombres chez l'enfant. Il a en effet été montré que l'enfant développe une progression dans la symbolisation de ses notations et qu'il passe de représentations idiosyncrasiques et pictographiques à des productions symboliques capturant progressivement la correspondance terme à terme pour aboutir, enfin, à la production de chiffres⁸⁰.

A 5 ans, l'enfant reconnaîtrait dans 95% des cas que le signe écrit est un chiffre mais il n'identifierait que 69% d'entre eux. Ces données indiquent à quel moment les enfants sont capables de détecter dans l'ensemble des mots présentés oralement ou des symboles écrits, ceux qui représentent des nombres.

D'autres études, présentant des tâches de lecture et d'écriture des nombres arabes à des enfants âgés de 6 à 8 ans sans difficultés d'apprentissage⁸¹, ont mis en évidence qu' :

- à 6 ans (soit chez des enfants scolarisés en CP), les unités simples sont maîtrisées par la quasi-totalité des enfants et ce, aussi bien en lecture qu'en écriture sous dictée ;
- à 7 ans (**soit chez des enfants scolarisés en Ce1**), **ce sont** les structures à deux chiffres (particulier, dizaine, dizaine-unité) qui peuvent être lues ou écrites **par presque tous les enfants**, tandis que les structures à trois chiffres sont également en voie d'acquisition (**77% de transcodages corrects**) ;
- à 8 ans enfin (soit chez des enfants scolarisés en Ce2), il leur est possible de lire et écrire pratiquement tous les nombres de un à quatre chiffres. Quelques erreurs apparaissent encore sur les nombres plus grands, mais on peut dire que les processus de transcodage sont quasi en place à cet âge.

⁷⁸ Power et Longuet-Higgins, 1978 ; ou Hurford, 1987.

⁷⁹ Fuson, Richards et Briars, 1982.

⁸⁰ Etudes menées par Sinclair, Mello et Siegrist (1988) et Hughes (1986).

⁸¹ VAN HOUY, MELJAC et FISCHER, 2001.

Il apparaît donc intéressant de comprendre comment se met progressivement en place, de 5 à 9 ans, cette capacité de transcodage.

3.2.3. Spécificité des processus de transcodage

La mise en place du transcodage s'explique en partie à travers l'apprentissage des processus généraux de lecture et d'écriture.

En effet au CP, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des mots a lieu quasi en même temps que l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des nombres : c'est ainsi que l'on observe souvent une association entre dyslexie et dyscalculie.

Des recherches ont mesuré, chez des enfants de ce niveau scolaire, soit 6 ans, une corrélation non significative entre la capacité à lire des nombres écrits en chiffres arabes versus la capacité à lire des mots⁸². En effet, les deux activités de lecture (nombre écrits en chiffres et mots du langage courant) progresseraient suivant des rythmes différents, nous suggérant donc l'existence de mécanismes spécifiques pour la lecture des nombres écrits en chiffres.

3.2.3.a. Ecriture en chiffres arabes de nombres sous dictée

Le passage du code verbal phonologique à un code en chiffres arabes nécessite 4 grandes étapes :

- o La **segmentation**, qui permet d'extraire les primitives lexicales : « trois / cent / vingt / quatre »
- o La **catégorisation**, qui permet d'extraire les informations lexicales : à savoir la classe lexicale (ou pile) et la position dans la pile de chaque primitive.
- o Le **processus de transcodage à part entière**, soit l'application de règles et de procédures d'écriture activées par des informations lexicales (données par la pile et la position de chaque primitive)
- o **L'encodage des chiffres**, soit un processus de contrôle de la production de la forme en chiffres arabes.

⁸² Seron, Noël et Van Lil, 1995 / Seron, Noël et Van der Elst, 1997.

Une des premières études consacrée à l'écriture en chiffres arabes chez les enfants a montré que, pour des enfants de 7 ans, les erreurs apparaissent surtout sur les nombres à trois et quatre chiffres, les nombres plus petits étant correctement écrits⁸³.

Dans les erreurs de transcodage, on distingue généralement les erreurs lexicales des erreurs syntaxiques :

- les **erreurs lexicales** touchent une primitive lexicale du nombre (un chiffre ou un mot), sans modifier de manière radicale la grandeur du nombre. Par exemple, « vingt-huit » écrit « 27 », « cent quarante » écrit « 104 » ou encore « trois cent neuf » écrit « 209 » sont des erreurs lexicales.
- les **erreurs syntaxiques** touchent quant à elles les relations entre les primitives lexicales et entraînent une modification du gabarit du nombre. Par exemple, « vingt-sept » écrit « 207 », « trois cent » écrit « 3100 » sont des erreurs syntaxiques.

Si on analyse les erreurs produites par ces enfants de 7 ans sur les nombres de trois ou quatre chiffres, on constate qu'elles sont majoritairement (à 87%) de nature syntaxique et qu'elles correspondent le plus souvent à l'insertion de zéros supplémentaires dans le nombre (par exemple : « trois cent cinquante-huit » est écrit « 30058 » ou « 3058 »).

Les auteurs de cette étude ont ainsi proposé un modèle de transcodage, pour rendre compte de ces erreurs, faisant appel à deux opérateurs selon le type de relation sémantique existant entre les primitives lexicales du nombre oral présenté en entrée :

- **En cas de relation additive** (par exemple : « cent trois » = « cent » + « trois »), **un opérateur de surécriture (#) doit être utilisé** : « 100 » + « 3 » active 100#3, ce qui donne 103 par la surécriture de la seconde séquence chiffrée (soit « 3 ») sur les zéros de la première séquence chiffrée (soit « 100 »), en commençant par la droite.
- **En cas de relation multiplicative** (par exemple : « trois cents » = « trois » x « cent »), **un opérateur de concaténation (&) doit être utilisé** : « 3 » x « 100 » active 3&100, ce qui donne 300 par énumération des chiffres « 1 » et « 3 », donc le remplacement du chiffre de la seconde séquence chiffrée (soit « 100 ») par le chiffre de la première séquence chiffrée (soit « 3 »), en commençant par la gauche.

Ainsi l'erreur consistant à écrire des zéros surnuméraires proviendrait d'un remplacement erroné de l'opération de surécriture (non maîtrisée) par l'opération de concaténation : **« cent trois » qui correspond à « 100 » + « 3 » ferait erronément appel à l'opérateur de concaténation, ce qui donnerait 100&3, et donc 1003.**

⁸³ Etude de Power et Dal Martello, 1990 menée sur une population d'enfants italiens âgés de 7 ans.

D'autres stratégies pourraient aussi conduire à l'apparition d'erreurs, en particulier, l'invention par l'enfant de nouvelles règles de surécriture, **telles que, par exemple, « surécrire uniquement sur le zéro finalé » : de cette manière, « mille deux » correspondant à 1000#2 donnerait 1002, ce qui est correct, mais « mille vingt-trois » correspondant à 1000#23 donnerait 10023, ce qui est faux.**

Ces explications identifient donc la cause des difficultés au niveau de la maîtrise de l'opérateur de surécriture correspondant aux relations additives.

Selon Seron et al., les erreurs observées dans les tâches de transcodage résulteraient essentiellement d'une généralisation abusive de règles correctement construites mais appliquées à des structures pour lesquelles elles ne sont pas adéquates.

- ➔ Le logiciel MathEval teste le transcodage dans un premier temps via l'écriture de nombres en chiffres arabes sous dictée. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que les nombres que l'enfant est invité à lire ou écrire sont non seulement lus à voix haute mais aussi écrits en toutes lettres, incidence qui pourrait être soulevée par les puristes comme faussant l'épreuve.

En cas de bonne réponse, rien ne nous permet, en effet, de distinguer un élève chez lequel il existerait une dissociation éventuelle entre l'écoute (lexique phonémique du modèle de Solol et McCloskey) et la lecture de nombres (et uniquement eux, sinon l'on a affaire à une dyslexie) présentés en toutes lettres (lexique graphémique du modèle de Solol et McCloskey). Marc Heremans nous indique qu'en près de trente années de carrière il n'a jamais rencontré d'enfant victime de ce type de dissociation, plus commune à des patients adultes, souvent cérébrolésés, population sur laquelle fut construite le fameux modèle de Solol et McCloskey.

C'est ainsi que nous nous limitons, à travers l'utilisation du logiciel, à déterminer à quel point l'enfant maîtrise le système de compréhension et de production des nombres en numération arabe, sans nous préoccuper particulièrement de l'imput (qui conduirait à allonger inutilement le test, engendrant un rapport « bénéfices/coûts » trop réduit).

- ➔ La dictée de nombres proposée par le logiciel est ainsi constituée de 24 nombres, dont la plupart n'apparaîtront pas lors de la passation, en raison de l'adaptation du logiciel en fonction du niveau scolaire et des réponses apportées par l'enfant :

1 – 3 – 6 – 9 – 10 – 13 – 16 – 20 – 27 – 35 – 45 – 54 – 90 – 101 – 110 – 358 – 965 – 1005 – 1050 – 1500 – 50500 – 100101

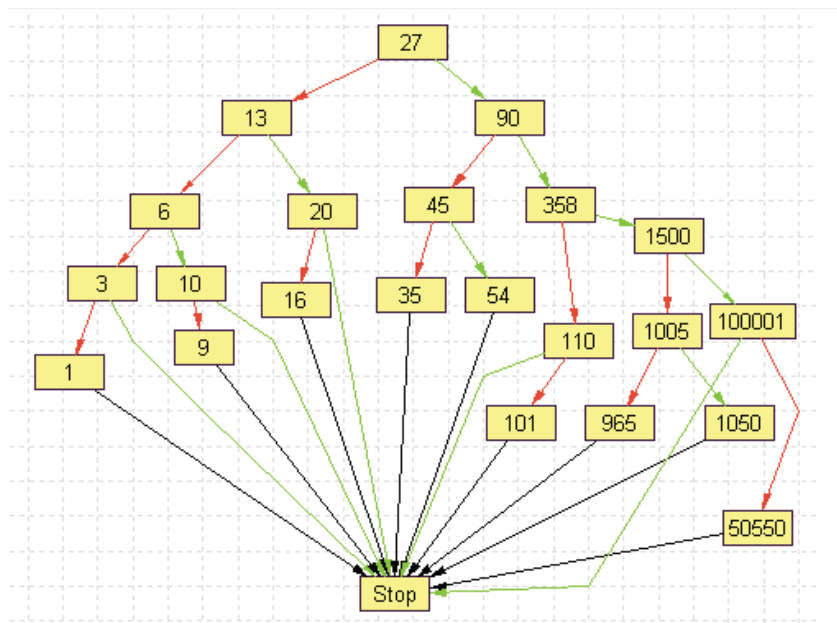
« Dans la mesure où les erreurs syntaxiques sont très majoritaires par rapport aux erreurs lexicales chez les enfants (excepté en GSM et en début de CP), seule une synthèse quantitative est notée dans le rapport. Rien ne vous empêche d'ajouter vous-même dans le

rapport toute précision que l'on jugerait utile (cette remarque s'applique aussi aux autres contenus du test).⁸⁴ »

- ➔ A savoir qu'une erreur à un item a pour conséquence ultérieure qu'aucun item plus éloigné de la liste ne sera posé ; la note maximale possible (donnée à la fin de la passation par le rapport édité par le logiciel) correspond donc au numéro d'ordre de la dernière erreur commise.

Soit, si l'enfant ne parvient pas écrire correctement le nombre 16, sa note maximale possible est égale à 6 (puisque le nombre 16 est le 7^o item de la dictée de nombre totale proposée par le logiciel), à condition bien sûr qu'il réponde correctement aux questions plus simples qui lui sont posées ensuite.

L'organigramme qui suit (élaboré par Marc Heremans) indique comment se succèdent les questions posées à un enfant de fin de CP (la succession étant différente selon le niveau scolaire) :



Organigramme représentant la succession des questions posées

Les flèches rouges indiquent quelle est la question suivante en cas d'échec de la part de l'enfant testé.

Les flèches vertes indiquent quelle est la question suivante en cas de réussite.

Les flèches noires indiquent la fin du test, que la question soit réussie ou échouée.

⁸⁴ Propos issus de la partie Manuel © 5 Contenu du test – transcodage, rédigés par Marc Heremans sur le site internet dédié au logiciel MathEval.

3.2.3.b. Lecture de nombres écrits en chiffres arabes

Pour le transcodage inverse, c'est-à-dire la lecture (phonologique) à voix haute de nombres écrits en chiffres arabes, on note à nouveau une prépondérance des erreurs syntaxiques pour les nombres composés de plusieurs chiffres⁸⁵. Il peut s'agir :

- d'une fragmentation du nombre à lire : par exemple, 358 est lu « trente-cinq, cinquante-huit » ;
- de l'omission de certaines parties du nombre à lire : par exemple, 343 lu « trente-trois » ;
- de l'utilisation d'un mauvais multiplicateur : par exemple, 303 lu « trois mille trois ».

Il en ressort que le facteur principal rendant compte des erreurs de lecture est la longueur du nombre⁸⁶, alors que la présence de zéros intercalaires (comme dans 303) ne constitue pas une source importante de difficultés.

On observe aussi une assez grande variabilité interindividuelle des performances en lecture, qui sont à nouveau interprétées par Seron et al. comme résultant de stratégies développées par les enfants à partir des connaissances qu'ils ont acquises à la lecture de nombres plus simples et qu'ils appliquent, de manière inadéquate, aux nombres nouveaux.

➔ La lecture de nombres écrits en chiffres arabes est également testée au sein de l'épreuve « transcodage » proposée par MathEval et consiste à trouver le nombre correct (énoncé à voix haute par le testeur et écrit en toutes lettres sur l'écran de l'ordinateur) parmi des intrus (tous écrits en numération arabe).

Les intrus sont choisis pour leur pouvoir attractif, supérieur à celui des nombres écrits correctement, du moins parmi les enfants chez lesquels les principes de numération arabe (syntaxe des nombres) ne sont pas encore acquis.

Selon Marc Heremans, cette approche ressemble un peu, dans sa présentation⁸⁷, à celle utilisée par Khomsi dans ses tests 0-52 (évaluation des stratégies de compréhension) et LMC-R (évaluation de la compétence en lecture).

➔ Voici la liste des nombres à lire/reconnaître parmi des intrus :

⁸⁵ Seron, Van Lil et Noël, 1995 / Seron, Noël et Van der Elst, 1997 / Power et Dal Martello, 1997

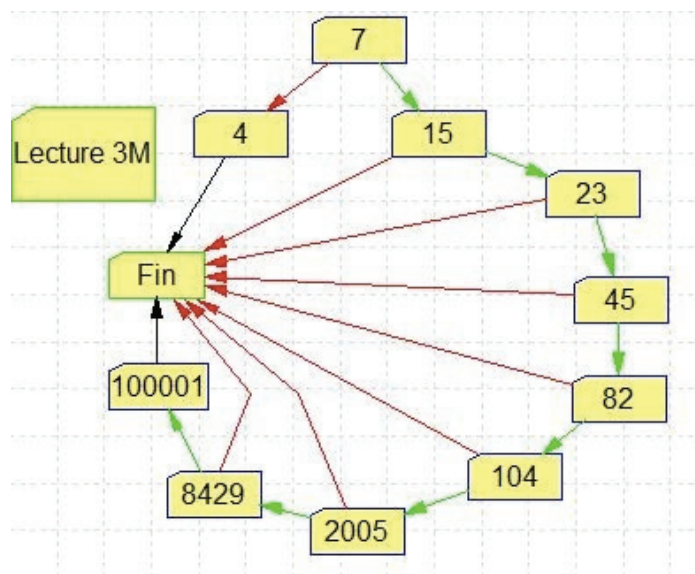
⁸⁶ Fayol, Barrouiller et Renaud, 1996

⁸⁷ A la différence près, que les tests de Khomsi traitent d'un sujet plus vaste et pour lequel les modèles théoriques sont tout-à-fait explicites.

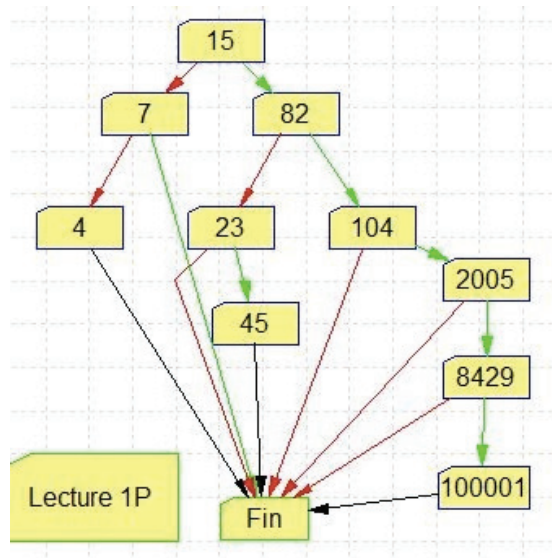
- o Quatre parmi : 3, 7, 5, 9, 6 et 4
- o Sept parmi : 3, 7, 5, 9, 6 et 4
- o Quinze parmi : 50, 17, 15, 5, 13 et 19
- o Vingt-trois parmi : 32, 13, 203, 23, 26 et 302
- o Quarante-cinq parmi : 35, 15, 405, 44, 45 et 54
- o Quatre-vingt-deux parmi : 28, 86, 72, 92, 802 et 82
- o Cent quatre parmi : 140, 1004, 410, 104, 1040 et 4100
- o Deux mille cinq (*qu'on énonce en ajoutant « deux mille cinq unités »*) parmi : 210005, 20005, 2005, 2500, 205 et 5002
- o Huit mille quatre cent vingt-neuf parmi : 800040029, 840029, 8429, 9248, 8439 et 8492
- o Cent mille un parmi : 10010001, 10100, 100001, 10010010, 101101 et 101010

Bien évidemment, l'ordre dans lequel les questions sont posées dépend, tout comme pour les autres sous-tests, du niveau scolaire et des réponses apportées par l'enfant.

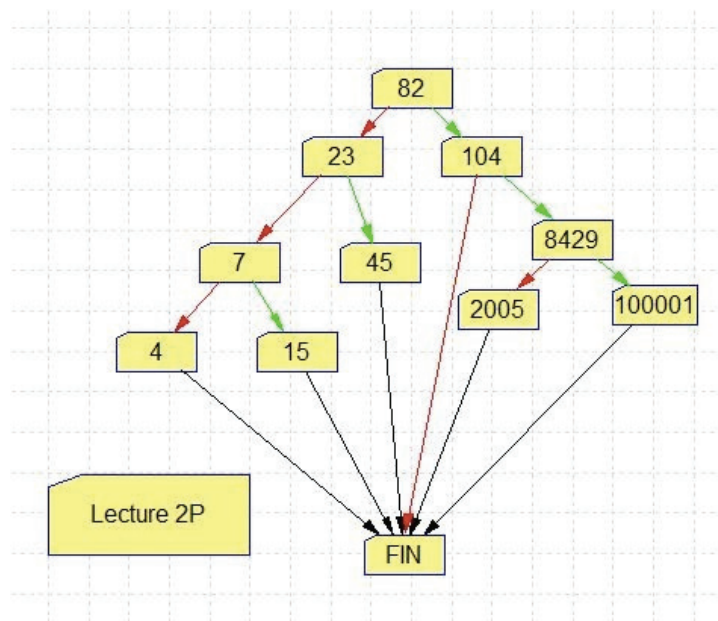
➔ Voici des organigrammes, élaborés par Marc Heremans, indiquant dans quel ordre les questions sont posées selon la classe fréquentée par l'enfant :



Organigramme représentant la succession des questions posées pour un niveau scolaire GSM



Organigramme représentant la succession des questions posées pour un niveau scolaire CP



Organigramme représentant la succession des questions posées pour un niveau scolaire Ce1

3.2.4. Langue et transcodage

Alors que le code des chiffres arabes est largement répandu, notamment en Occident, les langues orales sont, elles, très diversifiées et présentent des particularités intéressantes sur le plan du transcodage.

Effectivement, le système français présente des caractéristiques qui le rendent particulièrement difficile à acquérir, comme le fait notamment apparaître la comparaison avec le système chinois ou belge :

- **En français, la base dix n'apparaît pas immédiatement avec la première dizaine** (on dit « onze » et non pas « dix un », ce qui crée les particuliers au niveau des primitives lexicales) contrairement au chinois. Il en résulte que les jeunes Français (et plus généralement les jeunes Occidentaux car il en est de même pour les Belges) doivent apprendre par cœur la suite des dénominations (soit les primitives lexicales nommées unités et particuliers), au moins jusqu'à 16 (au lieu de dix). Au delà, le système verbal devient plus régulier : dix-sept, vingt-cinq, encore que les noms tels que vingt ou trente ne permettent pas un repérage facile du nombre de dizaines (primitives lexicales nommées dizaines).
- **De nouvelles difficultés apparaissent à partir de soixante du fait de la formation irrégulière des suites soixante-dix** (au lieu de septante en wallon ou en suisse romand), **puis de quatre-vingts et de quatre-vingt-dix** (au lieu de nonante) **qui révèlent l'utilisation de combinaisons de primitives pour exprimer ces trois dizaines.** Des études ont d'ailleurs montré qu'en CE1 (ou 2^o primaire), les Français produisent typiquement plus d'erreurs que les Belges dans la dictée de nombres arabes incluant les dizaines 70 (par exemple, « soixante-dix-huit » écrit 6018 ou 618) ou 90 (par exemple, « quatre-vingt-dix-sept » écrit 42017 ou 4217 ou 817). En revanche, la dizaine 80, se prononçant de manière similaire dans les deux communautés donne lieu à des erreurs du même genre (par exemple, « quatre-vingt-deux » écrit 4202 ou 422). Ces mêmes études ont mis en évidence que les Français produisent plus d'erreurs que les Belges lorsqu'il s'agit de sélectionner les jetons (de valeur un ou dix) correspondant à un nombre énoncé à voix haute, si ceux-ci impliquent les dizaines complexes 70 ou 90. Par exemple, en réponse à « soixante-dix-neuf », ils choisissent 7 jetons de dix et 19 jetons de un (soit 89 au lieu de 79) ou bien encore 6 jetons de dix et 9 jetons de un (soit 69 au lieu de 79).
- Il en résulte que **l'apprentissage de la suite des nombres est en France lent et difficile⁸⁸, souvent marqué par l'occurrence d'erreurs caractéristiques de comptage**, du type « trente-neuf, trente dix, trente onze » qui n'apparaissent jamais dans les productions d'enfants asiatiques. Effectivement, en chinois, l'organisation de la numération verbale facilite l'acquisition de la suite verbale des noms de nombres puisque « seize » se dit « dix-six » en chinois. En effet, elle

⁸⁸ BARROUILLET, THEVENOT et FAYOL, 2009

permet facilement de produire ou percevoir la composition des nombres en dizaines et unités ainsi que de réaliser très rapidement des additions telles que « dix plus six » (égale à « dix-six ») ou des soustractions telles que « dix-quatre moins quatre » (égale à « dix ») contrairement aux langues occidentales dont les dénominations de nombres ne font pas clairement apparaître la structure décimale.

- **Il a également été démontré que plus la prononciation des noms de nombres est rapide et plus il est possible de maintenir beaucoup d'entre eux en mémoire temporaire, le temps d'effectuer par exemple des calculs.** Inversement, plus leur prononciation exige de temps et plus les possibilités de maintien en mémoire et de calcul sont limitées. Bien que ce facteur ne puisse être le seul évoqué pour expliquer les différences de performances entre enfants Occidentaux et Chinois, il y contribue forcément : des recherches montrent en effet que les jeunes Asiatiques utilisent les mêmes stratégies de résolution des opérations que les jeunes Occidentaux, bien que la distribution de ces stratégies diffère rapidement. En effet, les jeunes Asiatiques recourent plus rapidement aux stratégies les plus évoluées et moins coûteuses en attention, notamment la remémoration directe des résultats⁸⁹.

En conclusion, **le transcodage numérique est un processus qui requiert un apprentissage de plusieurs années, s'étalant généralement entre l'âge de 5 ans et l'âge de 9 ans, environ.** Ce transcodage numérique met en jeu des processus spécifiques demandant une maîtrise minimale des codes source et de sortie : c'est ainsi que des difficultés particulières dans la gestion des processus de transcodage peuvent être observées chez les élèves et qu'il est primordial d'en tenir compte lors de l'analyse des difficultés d'apprentissage mathématique d'un enfant.

3.3. Les gnosies digitales

La gnosie digitale, ou digital gnosis en traduction anglaise, se définit comme l'aptitude à reconnaître les doigts. Il s'agit donc du sens proprioceptif des doigts et des mains. Certains auteurs définissent également la gnosie digitale comme la capacité à « *se représenter les doigts* ». Cette aptitude prend un sens particulier dans l'étude de l'élaboration des processus numériques chez l'enfant.

M. Habib fournit une définition plus complète des gnosies digitales, comme la « *perte de la capacité à reconnaître, identifier, différencier, dénommer, sélectionner chacun des doigts de la main.* »⁹⁰ mais malgré cela, les définitions conceptuelle et opérationnelle du terme « gnosie digitale » restent très vagues.

⁸⁹ GEARY et al., 1996

⁹⁰ HABIB et al., 2011

Du point de vue anatomo-fonctionnel, les quantités se trouvent représentées sous forme analogique dans les aires pariétales inférieures : la zone pariétale du cerveau étant également le siège des praxies et gnosies digitales, il s'agit d'une voie sémantique directe utilisée par le biais de manipulations de quantités numériques pour résoudre des opérations.

De nombreuses études ont ainsi mis en évidence qu'un échec aux épreuves de praxies et de gnosies digitales était très prédictif de troubles en arithmétique. En effet, les gnosies digitales, dont le siège est le lobe pariétal dominant, constituent un des déterminants à court, moyen et long terme des performances arithmétiques élémentaires.

Il apparaît que les doigts jouent un rôle crucial dans le développement des compétences arithmétiques, tant procédurales que déclaratives : les mouvements des doigts étant très souvent associés à des significations numériques, cela contribue naturellement à l'élaboration de procédures et/ou de représentations numériques.

Les performances perceptivo-tactiles permettraient ainsi de prédire, de façon plus pertinente que le Quotient de Développement (QD), les performances en arithmétique d'enfants âgés de 5 à 8 ans.

Une étude⁹¹ a en effet montré que le score aux épreuves perceptivo-tactiles recueillies à l'âge de 5 ans prédisait mieux que le niveau de développement intellectuel (évalué lui à 8 ans) la réussite d'enfants de 8 ans à des activités numériques de calcul mental et de résolution de problèmes. A l'inverse, les résultats aux opérations et à l'épreuve de numération, nécessitant la récupération directe des nombres en mémoire verbale, et le score global en langage étaient mieux prédits par le niveau de développement intellectuel que par les performances perceptivo-tactiles.

Pour cette étude, les épreuves digitales explorent donc les capacités de représentation et de manipulation mentale des quantités, et ce, indépendamment du niveau de développement. Il apparaît donc primordial d'entraîner les habiletés perceptivo-tactiles afin de développer les capacités de résolution de problèmes et de calcul mental. Toutefois, il est important d'ajouter que les résultats délivrés par cette étude sont à temporiser selon certains, en raison de l'intervention répétée de la perception de la numérosité au sein de toutes les épreuves « perceptivo-tactiles » et la possible intervention de capacités perceptives et motrices s'immisçant au sein des épreuves « intellectuelles » constituant cette étude.

Au sein de MathEval, les gnosies digitales sont mesurées à travers la capacité à reconnaître et nommer « à l'aveugle » (yeux fermés) un ou plusieurs doigts ayant subi une pression de la part de l'examineur.

Les mains de l'enfant sont disposées à plat et ouvertes, les paumes étant en contact avec la table. L'enfant est invité à fermer les yeux (pour ne pas regarder ses mains) pendant

⁹¹ MARINTHE, FAYOL et BARROUILLET, 1999

que l'examineur exerce une légère pression (en utilisant un stylo par exemple) à l'un ou plusieurs de ses doigts. L'enfant est ensuite invité à indiquer quel(s) doigt(s) a ou ont été touchés par l'examineur.

Contrairement à certaines expériences visant à montrer le lien entre gnosies digitales et calcul mental, on ne va pas attribuer un numéro à chaque doigt de l'enfant et lui demander de nous dire le ou les numéro correspondant au(x) doigt(s) touché(s) par l'examineur, afin de ne pas faire intervenir la manipulation de nombres par l'enfant. Ainsi cette épreuve nous permet de mesurer uniquement ce qu'elle est censée mesurer, à savoir la capacité à reconnaître quel(s) doigt(s) a ou ont été touché(s) par l'examineur.

Pour donner sa réponse, **l'enfant est invité à montrer quel doigt a été touché sur un dessin représentant une main**⁹² et non sur sa propre main, afin d'éviter l'utilisation d'un feed-back kinesthésique (souvenir sensoriel de la pression exercée par l'examineur) pour valider sa réponse.

L'examineur va ainsi se référer au code utilisé par le logiciel au tout début de la passation, à savoir : « 1 » pour le pouce, « 2 » pour l'index, « 3 » pour le majeur, « 4 » pour l'annulaire et « 5 » pour l'auriculaire, ainsi que « D » pour la main droite et « G » pour la main gauche.

Ainsi, l'item « 3G » proposé par le logiciel signifie que l'examineur va exercer une légère pression sur la dernière phalange du majeur de la main gauche.

Avant de commencer le test proprement dit, il est indiqué de donner une explication à l'enfant à l'aide d'exemples concrets. Ainsi l'enfant va garder les yeux ouverts pendant que l'on touchera son pouce droit et on lui demandera ensuite de montrer le doigt touché sur le dessin représentant les deux mains. Un second essai peut être donné s'il s'avère nécessaire mais en principe la consigne est facile à comprendre par des enfants de cinq ans.

Après deux échecs consécutifs, l'épreuve de gnosies est automatiquement arrêtée.

Si l'enfant donne une réponse correcte en montrant ses propres doigts plutôt que ceux du dessins, il faut lui rappeler la consigne tout en acceptant sa réponse. En cas de réitération, lui rappeler à nouveau la consigne tout en acceptant sa réponse une seconde fois. **La troisième fois la démarche n'est plus acceptée** (la réponse est considérée comme fausse et on l'explique à l'enfant).

⁹² Se référer à l' Annexe I de ce mémoire

3.4. Le calcul mental

3.4.1. Le calcul mental, une compétence prédictive

« L'entraînement quotidien au calcul mental (portant sur les quatre opérations) permet une connaissance plus approfondie des nombres et une familiarisation avec leurs propriétés. »⁹³

« Le calcul mental est une façon privilégiée de lier calcul et raisonnement, en mettant en jeu les propriétés des nombres et des opérations. Il n'est bien sûr pas question de viser l'apprentissage systématique de techniques ad hoc de calcul mental, comme on peut en trouver dans certains manuels d'arithmétique. Il s'agit d'utiliser les caractéristiques du calcul mental :

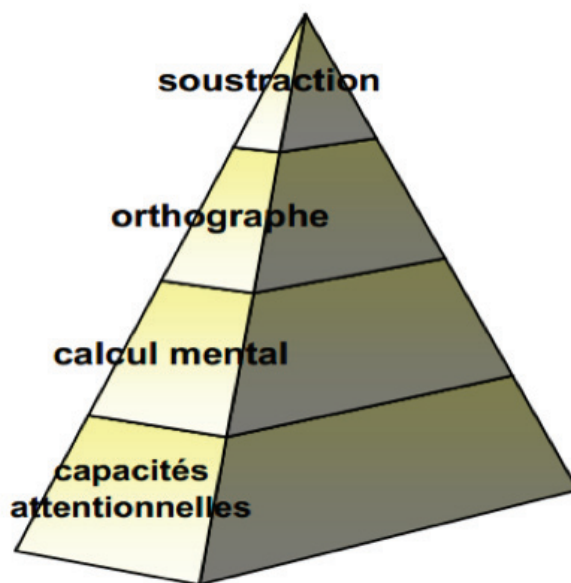
- pour susciter la réflexion sur le calcul,*
- pour mettre en évidence la diversité des façons possibles d'aborder généralement un calcul, comparer leur coût, les connaissances qui les fondent,*
- pour susciter des formulations, des généralisations et des preuves. »⁹⁴*

D'après une étude de l'IREDU⁹⁵, il existe une **hiérarchie des compétences**. Les capacités attentionnelles et les compétences en calcul mental détermineraient la réussite dans les autres domaines de compétences, elles sont ainsi nommées compétences prédictives (bloc de compétences en interaction, très bons prédicteurs de la réussite ultérieure des élèves).

⁹³ Extrait du Bulletin officiel de l'Education Nationale, juin 2008

⁹⁴ Extrait de la CREM

⁹⁵ Institut de Recherche sur l'économie de l'EDUcation.



Hiérarchie des compétences à l'entrée en Ce2

Ainsi « des activités systématiques qui génèrent des automatismes en orthographe et en calcul mental, sont nécessaires. Le fait que les élèves puissent mobiliser ces mécanismes et les rendre automatiques constitue certainement une aide majeure pour la réalisation de tâches variées de natures diverses. ⁹⁶»

Il en ressort que **l'intérêt premier de la pratique et de l'entraînement au calcul mental est de réduire les coûts cognitifs en automatisant les procédures de calcul, tout en permettant aux enfants d'acquérir une base de compétences « prédictives » ou tout du moins nécessaire à l'acquisitions de nouvelles compétences.**

Comme nous l'avons vu précédemment, l'acquisition du nombre n'est possible que si ce dernier est conçu dans sa dimension ordinale et cardinale, tout en étant le résultat de ses différentes « décompositions ».

Aussi, un enfant ne comprend vraiment ce qu'est le nombre « 6 » qu'au moment où celui-ci dépasse la simple valeur de place dans le comptage entre « 5 » et « 7 » pour apparaître comme le résultat de « $4+2$ », « $3+3$ », « $5+1$ », « $8-2$ », « 2×3 », « 6×1 », etc ...

Le calcul mental oblige à concevoir en permanence le nombre à la fois comme un tout (Un) et la somme de ses diverses unités (des diverses unités qui composent ce Un).

Le transcodage en chiffres arabes, que nous avons détaillé précédemment, consiste en une vraie compréhension des règles syntaxiques et lexicales qui régissent l'écriture et la lecture des nombres, comme une suite de chiffres en relation les uns avec les autres. Il nous intéresse notamment dans la partie « posée » du calcul.

⁹⁶ IREDU

Tandis que le calcul mental nécessite la capacité de se représenter le nombre dans son aspect global et entier, capacité qui ne peut être atteinte qu'une fois les processus du transcodage complètement maîtrisés.

3.4.2. Les différentes fonctions du calcul mental

La calcul mental revêt tout d'abord une **fonction sociale**, puisqu'il va vite s'avérer utile au quotidien comme calcul d'usage (dans des situations de la vie courante, en cas d'absence d'instruments) et moyen de contrôle de la véracité du résultat délivré par des instruments (notamment en cas d'erreur de manipulation).

Il revêt également une **fonction pédagogique**, comme une aide à la compréhension de notions mathématiques, à laquelle il doit l'appellation de « compétence prédictive ». En effet, il va permettre :

- une structuration arithmétique des nombres (à travers l'acquisition des processus de transcodage qu'il nécessite au préalable) grâce aux notions de relations additives ou multiplicatives mais également de doubles, moitiés et de décompositions multiples d'un même nombre.
- D'enraciner le sens des opérations, à travers la compréhension du fait qu'addition et soustraction ne font qu'une seule et même opération, tout comme multiplication et division. Il existe de ce fait des liens de réversibilité importants à comprendre (en effet, savoir que « $6+4 = 10$ » amène au résultat de « $10 - 4$ » et de « $10 - 6$ »).
- D'aider à la résolution de problèmes, en ramenant le problème à un champ numérique familier (stratégie consistant à essayer avec des nombres plus petits que ceux propres au problème afin de vérifier ou d'établir une intuition).
- Les premières compréhensions des propriétés des opérations, comme la commutativité (addition et multiplication), l'associativité (addition et multiplication) et la distributivité (multiplication), permettant de décomposer une opération telle que « 8×7 » en « $8 \times (5+2)$ » et en « $(8 \times 5) + (8 \times 2)$ ».
- D'aider aux premiers maniements mathématiques, dans les domaines où domine le calcul mental, comme la proportionnalité et les fractions.

3.4.3. Calcul mental, oral ou écrit ?

Le calcul mental ne signifie pas calcul oral exclusif.

En effet, bien qu'on puisse être tenté d'opposer calcul mental et calcul écrit ou instrumenté, la notion de « calcul mental » ne signifie pas que tout se passe sans écrire ni qu'aucun support écrit ne puisse intervenir dans la consigne, dans la formulation du résultat voire dans le cours du calcul, à travers les calculs intermédiaires (le cas de la technique écrite française traditionnelle de la division, avec ou sans les soustractions intermédiaires, qui requiert de nombreux traitements mentaux, en est un bon exemple). De plus, le déficit de maîtrise du calcul mental fragilise gravement l'apprentissage des techniques écrites.

Le calcul réfléchi, nécessitant l'élaboration et l'utilisation de procédures intermédiaires pour obtenir le résultat, peut faire intervenir l'écrit car les élèves peuvent avoir besoin de garder une trace écrite des étapes du calcul.

De plus, passer par l'écrit permet d'explicitier les procédures, de mettre en relation question et réponse, tout en suivant l'évolution de la mémorisation.

Il est d'ailleurs important d'éviter la saturation de la mémoire de travail en autorisant les enfants en cours d'apprentissage à noter les résultats intermédiaires de leur calcul.

Ainsi, en dehors du calcul instrumentalisé (avec machine), tout calcul est « mental » :

- **calcul purement mental (ne nécessitant pas de trace écrite)**
- **calcul mental avec traces écrites (persistantes ou temporaires)**
- **calcul écrit avec étapes mentales**

3.4.4. Le calcul mental : un savant mélange d'automatismes et de réflexion

Au préalable du calcul mental, il y a des automatismes et de la réflexion.

Ces automatismes concernent à la fois :

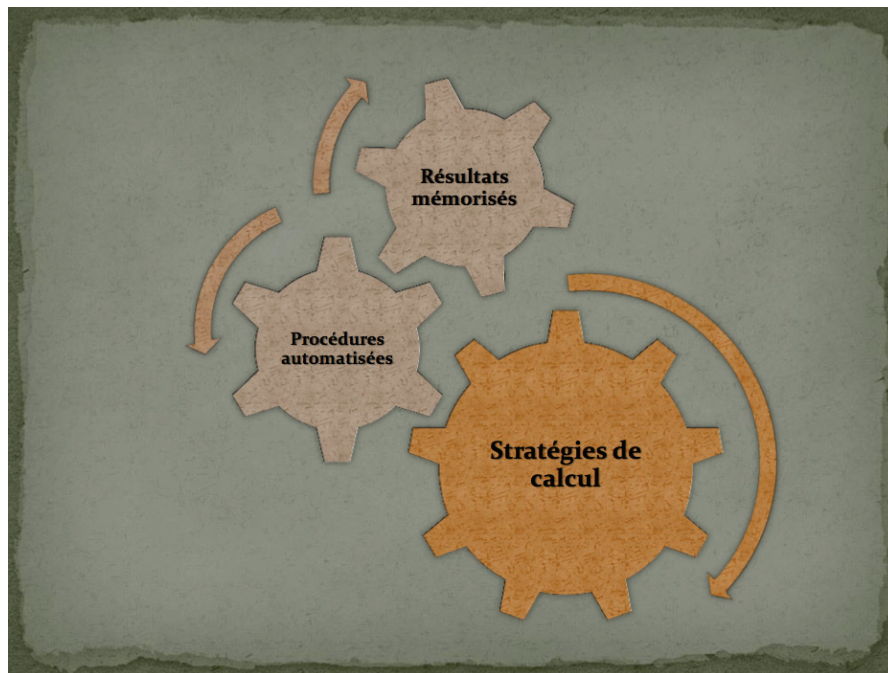
- Des résultats mémorisés, que l'on nomme **faits arithmétiques**, permettant une réponse disponible en restitution directe.
- Des **procédures automatisées**, basées sur un calcul impersonnel et permettant une correction « simple ».

Ces résultats mémorisés et ces procédures automatisées permettent la mise en place du calcul automatisé.

Tandis que la réflexion induit :

- Des résultats construits, à travers une réponse élaborée et une restitution progressive.
- Des procédures personnelles, basées sur un raisonnement personnel engendrant explicitation et confrontation.

Ces résultats construits, aidés des procédures personnelles, vont quant à eux permettre l'élaboration du calcul réfléchi.



Il existe cependant un paradoxe concernant le fait que trop peu d'automatismes (ou procédures automatisées installées en mémoire) peuvent renforcer l'automatisme (dans le sens de recours quasi-systématique à un seul type de procédure). Plus d'automatismes sont donc nécessaires pour échapper à l'automatisme.

Mais quelles sont les procédures possibles qui se présentent à l'enfant ?

➔ Il y a tout d'abord la **simulation mentale de l'algorithme écrit** : l'élève « pose dans sa tête » l'opération en colonnes. Cette procédure mobilise peu de connaissances sur les propriétés des nombres mais se révèle aussi très coûteuse car nécessite de mémoriser beaucoup de données.

➔ **L'utilisation de la décomposition additive canonique** de l'un ou des deux termes :

o $45 + 17 = 45 + (10 + 7) = 55 + 7 = 62$

o OU alors $45 + 17 = (40 + 5) + (10 + 7) = 50 + 12 = 62$

➔ L'utilisation d'une décomposition additive de l'un des termes s'appuyant sur un passage à une dizaine supérieure :

$$0 \quad 45 + 17 = 45 + (5 + 12) = 50 + 12 = 62$$

o OU $45 + (15 + 2) = 60 + 2 = 62$

o OU encore $(2 + 43) + 17 = 2 + 60 = 62$

➔ L'utilisation d'une décomposition soustractive de l'un des termes :

$$0 \quad 45 + 17 = 45 + (20 - 3) = 65 - 3 = 62$$

Cependant, l'élève ne pourra mobiliser rapidement la décomposition de 17 en « $20 - 3$ » ou en « $5 + 12$ » que si celles-ci sont disponibles, ce qui requiert un entraînement spécifique.

On devine ainsi qu'il existe des relations importantes entre le fait de mémoriser et celui de s'adapter, comme entre le fait d'acquérir des automatismes et celui d'élaborer des procédures, qui nécessite de la part de l'enfant de trouver un équilibre entre ce qu'il va devoir faire de manière automatique et sa part d'initiative.

Pour cela, il doit disposer de plusieurs procédures tout en connaissant le domaine de validité propre à chacune (ajouter 9 en passant par +10 puis -1 est pertinent pour résoudre « $45 + 9$ » mais pas pour « $30 + 9$ » ni même « $31 + 9$ »).

3.4.4.a. Le calcul automatisé

1) Importance de la bonne compréhension et mémorisation des faits arithmétiques

Connaître ses tables, ou faits arithmétiques, c'est :

- être capable de dire instantanément ou presque n'importe quel résultat
- être capable d'exploiter rapidement cette connaissance pour donner un résultat connexe.

Exemple : connaître $8 + 7$, c'est :

- répondre rapidement « 15 »
 - envisager « Combien de 8 pour aller à 15 ? »
 - établir des liens entre les différentes opérations que suggère « $8 + 7$ » : $15 - 7$?
 $15 - 8$? $7 + 8$?
- 92

Si certains enfants mémorisent facilement les faits arithmétiques, d'autres ne parviennent pas à une mémorisation satisfaisante, malgré un entraînement répété. Aussi, même s'il est indispensable, l'entraînement n'est pas le seul ressort de la mémorisation.

Effectivement, une bonne représentation des nombres aussi bien imagée (dés, domino, jeux de cartes, doigts, etc ...) que symbolique (numération arabe ou verbale), comme l'importance de consolider les images mentales des « petits nombres », ainsi qu'une compréhension des opérations en jeu et la prise de conscience de l'intérêt qu'il peut y avoir à disposer d'un répertoire de résultats progressivement organisé, complété et structuré en tables sont indispensables préalablement à toute mémorisation.

A noter qu'une mémorisation suite à la répétition verbale rituelle des « tables » dans l'ordre croissant et sans compréhension et prise de conscience des opérations mis en jeu engendre souvent l'incapacité de fournir un résultat sans réciter toute la table ou des confusions entre résultats voisins. Il est donc important de veiller à ce que toutes les conditions préalables à la tâche de mémorisation soient remplies, tout en privilégiant la diversité des modes de travail (récitation des « tables » à l'envers, croisées, etc ...).

2) Appuis nécessaires à la mémorisation

La mémorisation nécessite également un certain nombre de points d'appui, notamment pour le **répertoire additif** : *(relatif au début de cycle 3 soit en Ce2)*

- utilisation de la suite numérique, surcomptage
- appui sur les doubles : « $5 + 4$ », c'est « $4 + 4 + 1$ »
- utilisation de la commutativité : « $2 + 9$ » c'est comme « $9 + 2$ »
- passage à la dizaine : « $8 + 5 = 8 + (2 + 3) = 10 + 3$ »

Tout comme le **répertoire multiplicatif** *(relatif à la fin de cycle 3, soit CM2)* nécessite de:

- connaître les résultats des tables
- utiliser la commutativité
- connaître les carrés (« $2 \times 2 = 4$ », « $3 \times 3 = 9$ », « $4 \times 4 = 16$ »)
- « multiplier par 4, c'est doubler deux fois », « multiplier par 6, c'est doubler trois fois », etc ...
- s'appuyer sur les particularités de certaines tables (notamment les tables de 2, 5 et 9) ainsi que sur les régularités repérées dans la table de Pythagore

A savoir que la mémorisation des résultats (additifs et/ou multiplicatifs) est favorisée par une bonne maîtrise des deux rythmes (numération écrite chiffrée et numération constituées de mots-nombres), soit des processus de transcodage.

3.4.4.b. Le calcul réfléchi

En calcul réfléchi, aucune procédure ne s'impose car plusieurs procédures sont possibles et qu'il est souvent nécessaire de prendre des décisions personnelles pour élaborer une procédure spécifique.

Aussi, l'aisance en calcul réfléchi dépend de :

- la capacité à jouer avec les nombres
- la capacité à changer de procédures en fonction des nombres
- la qualité de mémorisation de certains résultats
- la diversité des situations proposées aux élèves pour apprendre à calculer

Il est donc important d'éviter d'imposer une même stratégie à tous les enfants, tout en laissant l'enfant s'apercevoir qu'il peut être judicieux d'observer avant de calculer, comme de chercher des relations connues avant de calculer ou de recommencer le calcul en utilisant une autre procédure que celle spontanément utilisée.

De plus, augmenter le capital de procédures de calcul automatisées permet de mettre en œuvre ou d'améliorer l'adaptabilité de l'enfant face à un calcul :

Exemple :

Pour calculer « $45 + 16$ » il est plus judicieux d'adopter une décomposition additive canonique, soit « $45 + 10 + 6$ » alors que pour calculer « $45 + 19$ » il est plus judicieux de préférer une décomposition soustractive telle que « $45 + 20 - 1$ ».

3.4.5. Maîtrise des opérations : compréhension des principes d'addition et de soustraction

« L'apprentissage des opérations arithmétiques complète celui du nombre : en effet, une opération, qu'elle soit effectuée comme une technique opératoire algorithmique ou comme un « bricolage » procédural exige une certaine compréhension des propriétés logiques du nombre.

Cette compréhension est à son tour affinée et généralisée par la résolution des opérations. Dans ce contexte d'interaction étroite entre nombre et opérations arithmétiques, l'enfant développe ses connaissances numériques sur l'ensemble de la scolarité à l'école primaire.

Il est d'usage, à ce niveau d'enseignement, d'aborder en même temps l'étude de l'addition et celle de la soustraction dès la première année (soit le CP), puis celle de la multiplication (Ce1), et enfin celle de la division au cours des deux dernières années (CM1, CM2). »⁹⁷

3.4.5.a. L'addition

L'addition se définit à partir de l'opération ensembliste de « réunion » appliquée à des ensembles disjoints : elle s'écrit $a + b = c$

Le signe de l'addition est « + ».

Ses propriétés structurelles sont :

- la commutativité : $a + b = b + a$. Du fait de la commutativité, l'addition ne possède qu'une seule opération inverse ;
- l'associativité : $(a + b) + c = a + (b + c)$;
- l'existence d'un neutre à droite et à gauche : $a + 0 = 0 + a = a$.

3.4.5.b. La soustraction

L'inverse de l'addition ($b = a - c$ ou $c = a - b$) ne donne pas nécessairement un résultat : $3 - 7$, ça n'existe pas ! (dans l'ensemble des nombres naturels).

Le signe de la soustraction est « - ».

Ses propriétés structurelles sont les suivantes :

- elle n'est pas commutative : $a - b$ n'est pas nécessairement égal à $b - a$;
- elle n'est pas associative : $a - (b - c)$ n'est en général pas égal à $(a - b) - c$;
- elle possède un neutre (0) à droite : $a - 0 = a$.

L'apprentissage de l'addition et de la soustraction s'articule donc autour de deux points essentiels :

- **comprendre l'opération** : « *Qu'est-ce que je fais quand je réalise une addition ou une soustraction ?* ». Cela nécessite :
 - o d'appréhender les effets de transformations additives et soustractives ainsi que leur relation d'inversion (l'enfant en est capable vers 6 ans)

⁹⁷ BIDEAUD, LEHALLE et VILETTE, 2004

- o de comprendre l'opération dans sa structure de but, avec un état initial à modifier, une ou plusieurs transformations et un état final à atteindre.
- **organiser la réalisation effective de l'opération** : « *Comment je procède ?* », soit :
 - o utiliser des procédures variées, basées sur le comptage ou la récupération directe du résultat en mémoire, dont certaines finiront par constituer des algorithmes de calcul fiables et rapides.

3.4.6. Définition des différentes stratégies intéressant le calcul mental à investiguer lors de la passation du logiciel

Généralement, on observe trois stratégies différentes (*de la plus archaïque à la plus évoluée*):

- **Recomptage du tout ou « counting all »⁹⁸** : cette technique consiste à juxtaposer les deux collections, en les comptant séparément dans un premier temps, et en recomptant le tout ensuite. Elle intéresse les opérations d'addition. Le **recomptage du reste** est l'opération inverse, intéressant les opérations de soustraction.

Pour calculer « 2+6 » par exemple, l'enfant dit ou réalise (mentalement, oralement, avec ou sans l'aide des doigts), « 1,2 » puis « 1,2,3,4,5,6 » et finalement « 1,2,3,4,5,6,7,8 ».

- **Surcomptage ou « counting on »** : l'enfant garde en tête le premier nombre et continue (mentalement, avec l'aide de doigts, en l'exprimant oralement ou non) la comptine autant de fois que nécessaire. Le **décomptage** est l'opération inverse : l'enfant garde le premier nombre mentalement et récite la comptine à rebours autant de fois que nécessaire.

Par exemple, pour calculer « 8+4 », l'enfant « part » de 8 et continue ainsi : « 9,10,11,12 » (en levant 4 doigts par exemple).

Mais si l'enfant part de 8 (sans devoir compter 1,2,3,..., 8) et énonce ensuite « 1,2,3,4 » : il ne s'agit pas de surcomptage. L'enfant juxtapose en fait deux collections, celle de 8 et celle de 4. C'est une **technique évoluée de recomptage du tout**.

- **Réponse rapide**, ou « fait numérique » : l'enfant connaît et donne la réponse de manière automatique, sans qu'il lui soit nécessaire de calculer quoi que ce soit. Cette stratégie s'observe chez des enfants à partir de 5 ans.

⁹⁸ Secada, Fuson et Hall, 1983.

« Une addition impliquant deux nombres à deux chiffres, par exemple, « $12 + 13$ », serait relativement laborieuse à effectuer selon une procédure de « recomptage du tout » ou de « surcomptage ». Le risque d'erreur serait également plus important (et proportionnel à la taille des nombres) en comparaison d'une stratégie de décomposition et de recombinaison qu'il est possible de mettre en œuvre en récupérant directement en mémoire le résultat des sommes ou des différences élémentaires (soit, pour « $12 + 13$ » : « $10 + 10$ » auquel on ajoute « $2 + 3$ »).

D'où la nécessité pour l'enfant d'apprendre à mobiliser rapidement une somme ou une différence pour travailler les premières opérations arithmétiques et construire les algorithmes de calcul.⁹⁹ »

3.5. Le sens des nombres

Par « sens des nombres » (ou magnitude du nombre), Marc Heremans fait référence au **code analogique des quantités numériques** décrit par Dehaene dans son modèle du triple code¹⁰⁰ : il s'agit de la **capacité à estimer correctement la quantité associée à un nombre**.

Comme nous l'avons précédemment étudié, le modèle de McCloskey postule que toute représentation numérique, qu'elle soit visuelle (nombres écrits en numération arabe) ou verbale (numération phonologique) est simultanément codée sémantiquement.

Dehaene pense, au contraire, qu'il est possible de traiter la représentation visuelle ou verbale d'un nombre, tout comme il est possible de passer d'une forme à l'autre (écrire des nombres en numération arabe sous dictée) sans activer la représentation analogique de la « magnitude » du nombre, soit de la quantité qu'il représente.

Ainsi, ce n'est pas parce qu'un enfant connaît la comptine numérique, sait dénombrer une collection d'objets, ni même résoudre des opérations simples de calcul mental (surtout s'il utilise des procédés archaïques tels que le « counting all » ou surcomptage) qu'il a nécessairement une représentation correcte des quantités numériques associées.

Toujours selon Dehaene, cette représentation analogique serait associée à une ligne numérique, appelée également « droite des nombres ».

L'épreuve du « sens des nombres » permet d'évaluer si cette compétence est bien présente chez l'enfant grâce à deux sous-tests :

- le premier sous-test, ou le plus simple des deux, nécessite de **demander à l'enfant de dire d'un nombre donné s'il est plus grand ou plus petit qu'un**

⁹⁹ BIDEAUD, LEHALLE et VILETTE, 2004.

¹⁰⁰ Se référer au chapitre 1 – paragraphe 6.3.3. « Le modèle du triple code » p.18-19

autre. La présentation des questions fait volontairement appel à différentes modalités perceptives, de manière à laisser le libre choix à l'enfant quant à celle qui lui convient le mieux.

Certains indices disparaissent en cours d'épreuve. Ainsi les extrémités de la ligne, bornées au début, sont laissées vierges de toute indication numérique ensuite.

Etant donné la probabilité élevée de donner une réponse correcte par hasard (une chance sur deux statistiquement), deux balises sont prévues par le logiciel :

- o Pour qu'un point soit accordé il faut deux réponses correctes
 - o En cas de doute sérieux de la part de l'examineur quant au fait qu'une réponse est donnée ou non par hasard, la réponse de l'enfant est notée comme étant fausse, même si elle est « verbalement » correcte.
- Dans le second sous-test, l'enfant est invité à **situer des nombres sur une ligne numérique**. Les points sont accordés en fonction de la précision de la réponse.

Concrètement parlant, on demande à l'enfant de pointer du doigt les nombres proposés, soit sur l'écran, soit sur les dessins reproduits sur des feuilles et proposés dans le kit de téléchargement (dans le dossier « Images pdf »). Les références des feuilles sont notées sur l'écran. L'utilisation d'images permet simplement d'éviter que l'enfant ne touche l'écran de l'ordinateur.

Marc Heremans n'utilise personnellement qu'une seule image, celle de la « Ligne Vierge », afin d'éviter l'utilisation de trop de documents papier, et signale aux enfants que le dessin correspond à peu près à ce qu'ils voient à l'écran (seuls les petits traits éventuels n'apparaissent pas, de même que les valeurs correspondant à l'origine et à l'extrémité. Lors de la présentation d'une nouvelle question, il rappelle également systématiquement les valeurs de l'origine et de l'extrémité de la ligne présentée, comme le logiciel préconise de le faire, (« cette ligne va de zéro à dix » par exemple).

Lorsque l'enfant est invité à montrer un petit trait correspondant à une certaine valeur, il suffit ainsi de l'inviter à montrer de quel trait il s'agit en montrant son emplacement approximatif sur la ligne vierge. Ensuite, à l'aide de la souris, le thérapeute va montrer l'emplacement (trait) correspondant à l'écran et demander à l'enfant s'il s'agit bien du trait en question.

4. Exemple de rapport fourni par le logiciel MathEval

Exemple de Corentin, Ce1 :

Corentin, élève en Ce1 a été évalué en mathématique ce lundi 21 mai 2012 à l'aide du test MathEval. Le test a été effectué en 30 minutes.

Il en ressort que Corentin connaît la comptine numérique jusqu'à 50 mais non jusqu'à 100. En ce qui concerne la chaîne numérique, Corentin se situe au stade 3 (sur les 5 possibles), c'est-à-dire au stade de la chaîne sécable.

Il est en effet capable de compter entre deux bornes. Ce stade est d'autant plus atteint que les compétences suivantes sont atteintes : **comptage par pas (de 2, 5 et 10)** et **comptage à rebours**.

Le comptage par pas de 10 et le comptage à rebours sont automatisés.

Par contre, le comptage par pas de 2 et par pas de 5 n'est pas réussi.

Rappelons que ce sous-test est le meilleur prédicteur du résultat total au test, suivi de près par le sous-test « additions ».

Acquisition des stades de dénombrement (Gelman & Gallistel) :

- **Correspondance terme à terme** : acquis
- **Ordre stable** : acquis
- **Non pertinence de l'ordre** : acquis
- **Cardinal** : semble acquis (en tous cas, Corentin cite le dernier mot-nombre prononcé à la question « combien y-en-a-t-il ? »)
- **Abstraction** : non évaluée. Il nous semble que ce principe est universel parce qu'indispensable à la survie. Il se manifeste dans toutes les activités et pas seulement dans les épreuves de comptage.

Corentin **subitize** correctement jusqu'à cinq éléments mais pas d'avantage. Le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour un doigt, pouce et index pour deux doigts, etc ...) est possible jusqu'à sept doigts au moins (non testé au-delà).

En calcul mental, Corentin **additionne** correctement deux nombres dont la somme est inférieure ou égale à 5 (ex : 2+3) mais échoue si l'addition a pour résultat un nombre supérieur à 5 (ex : 5+3).

En calcul mental, Corentin réussit les **soustractions** impliquant un passage par la dizaine (ex : 15-7) mais SANS utiliser un algorithme correct, c'est-à-dire généralisable mais qui échoue à soustraire deux nombres dont le résultat se situe entre 10 et 15 (ex : 17-4).

Corentin est capable **d'écrire les nombres arabes** comportant trois chiffres au plus.

Corentin maîtrise la **lecture des nombres arabes à 2 chiffres**, mais pas au-delà.

PARTIE PRATIQUE

I. Exemples de passations et résultats obtenus avec MathEval

1. Méthodologie

1.1. Démarche

Après nous être consacrée à l'étude fouillée du logiciel, ses principes et les notions relatives au domaine logico-mathématique, il nous a semblé intéressant de l'étudier en « pratique » par le biais de passations auprès de deux orthophonistes peu à l'aise avec les troubles logico-maths concernant des enfants suivis pour des troubles relevant de l'orthophonie, soit troubles dys, mais pas uniquement dyscalculiques.

Ainsi les enfants « testés » via le logiciel, tout comme les orthophonistes concernées, n'avaient jamais été sensibilisés avec ce contenu et ont pu, de ce fait, nous apporter des éléments d'étude objectifs très intéressants.

Le choix d'orthophonistes peu à l'aise avec les troubles logico-maths a été volontaire de notre part, afin de vérifier que ce logiciel pouvait servir de base diagnostique mais également de « découverte et d'initiation aux éléments sémiologiques propres au domaine des logico-maths » auprès d'orthophonistes non familiers avec ce domaine et ses nombreuses caractéristiques.

Nous nous sommes ainsi volontairement mis dans une situation de « découverte » du logiciel tout comme de la pathologie « dyscalculie » avec ces orthophonistes.

Avant la mise en place du temps propre aux différentes passations, nous avons trouvé important d'« interviewer » les orthophonistes ayant accepté de tester certains enfants de leur patientèle avec le logiciel en notre présence, puis de les accompagner dans l'installation du logiciel sur leurs ordinateurs présents au cabinet, tout comme de leur expliquer le fonctionnement de ce dernier au travers d'une « passation test » du logiciel en leur expliquant les domaines testés à chaque item proposé.

Nous avons souhaité aborder cette partie de la façon suivante :

- 1) Les interviews avec les ressentis de ces orthophonistes peu ou non familières avec le domaine logico-maths avant la passation du logiciel.
- 2) Les passations « témoins » de ces enfants.
- 3) La « fiabilité » du logiciel au travers de l'étude comparée des « comptes rendus » édités en fin de passation.
- 4) Les différents points relevés dans le but de faire évoluer le logiciel

1.2. Population

Les enfants concernés par ces passations rentrent dans la fourchette d'âge, mais surtout de niveau scolaire, étudiée par Marc Heremans et donc couverte par le logiciel, c'est à dire de 5 ans (Grande Section de Maternelle) à 8 ans (Ce2).

Il est également important de souligner que parmi la dizaine d'enfants testés, seuls 2 sont initialement suivis pour des troubles logico-maths par leur orthophoniste, les autres présentant plus communément des troubles dys type dyslexie-dysorthographe.

Parmi les 8 enfants ayant participé à l'élaboration de la partie pratique de ce mémoire, 7 sont des filles, 4 sont scolarisés en Ce2, 3 sont scolarisées en Ce1 et 1 est scolarisée en CP.

2. Interviews

- La première orthophoniste ayant accepté de tester le logiciel MathEval à travers des passations auprès de certains de ses patients est âgée de 24 ans et diplômée depuis plus de 8 mois. C'est donc sa première année d'exercice.

- *« Combien de patients suivez-vous pour troubles logico-maths ? »*
- Je suis actuellement 3 patients concernés par les troubles « logico-maths ». Mais je ne me sens pas encore très à l'aise, du fait de l'absence de pratique lors de mes stages de fin d'études, avec cette pathologie et sa rééducation.
- *Comment analysez-vous votre « appréhension » envers cette pathologie ?*
- Je ne me sens pour le moment pas sûre de moi, tout autant du point de vue des éléments constituant le bilan et des différents éléments à tester pour ne pas faire d'impasses, que de celui de la rééducation à proprement parler. Mais même si c'est une pathologie avec laquelle je ne me sens pas très à l'aise, j'ai accepté ces demandes de prise en charge, après bilan, pour m'y confronter et reprendre mes cours d'étudiante dans le but de me perfectionner dans la rééducation de cette pathologie particulière.
- *Avez-vous régulièrement des demandes de prises en charge pour cette pathologie ? Combien en avez-vous reçu depuis le début de l'année scolaire ?*
- J'ai délibérément accepté toutes les demandes de prise en charge, dans la limite de mes possibilités de RDV hebdomadaires bien évidemment, relatives aux troubles logico-maths depuis mon installation en septembre dernier. Actuellement je ne suis que 3 patients pour cette pathologie sur les 50 patients qui constituent ma patientèle. J'ai donc l'impression que la demande pour cette pathologie est moindre, tout du moins au vu de mon expérience.

- *Qu'attendez-vous de MathEval ?*
- J'ai débuté mon premier bilan des troubles logico-maths après un week-end à reprendre tous mes cours concernant cette pathologie et à élaborer un ordre logique d'épreuves propres à investiguer chaque domaine soulevé. Cependant je reste dans l'idée que ce « bilan fabriqué » ne peut être exhaustif et je déplore le manque d'informations que j'ai concernant les tests existants sur le marché.

Je suis ainsi très curieuse et intéressée par ce logiciel comme le support qu'il peut m'apporter dans mon début de prise en charge de cette pathologie. »

- La seconde orthophoniste est âgée de 30 ans, et a plus de 4 années d'exercice derrière elle. Cependant elle n'est également pas à l'aise avec la rééducation des troubles logico-maths :

- *« Combien de patients suivez-vous pour troubles logico-maths ?*
- Aucun. En tous cas la demande n'est pas explicite.
- *Comment analysez-vous votre appréhension envers cette pathologie ?*
- Je suis plutôt mal à l'aise avec les processus logiques et mathématiques. Mais j'envisage une formation pour être justement plus à l'aise.
- *Avez-vous régulièrement des demandes de prises en charge pour cette pathologie ? Combien en avez-vous reçu depuis le début de l'année scolaire ?*
- Les demandes sont rares. Je n'en ai reçu aucune depuis le début de l'année.
- *Que pensez-vous du logiciel MathEval ?*
- Je trouve ce logiciel très intéressant car rapide à faire passer, ça donne une idée des difficultés. Mais je pense qu'il faut le compléter avec d'autres épreuves pour approfondir. Le test donne plutôt une approche globale, des pistes qu'il faut ensuite creuser. »

3. Passations

3.1. Julie, 9 ans et 9 mois, Ce2

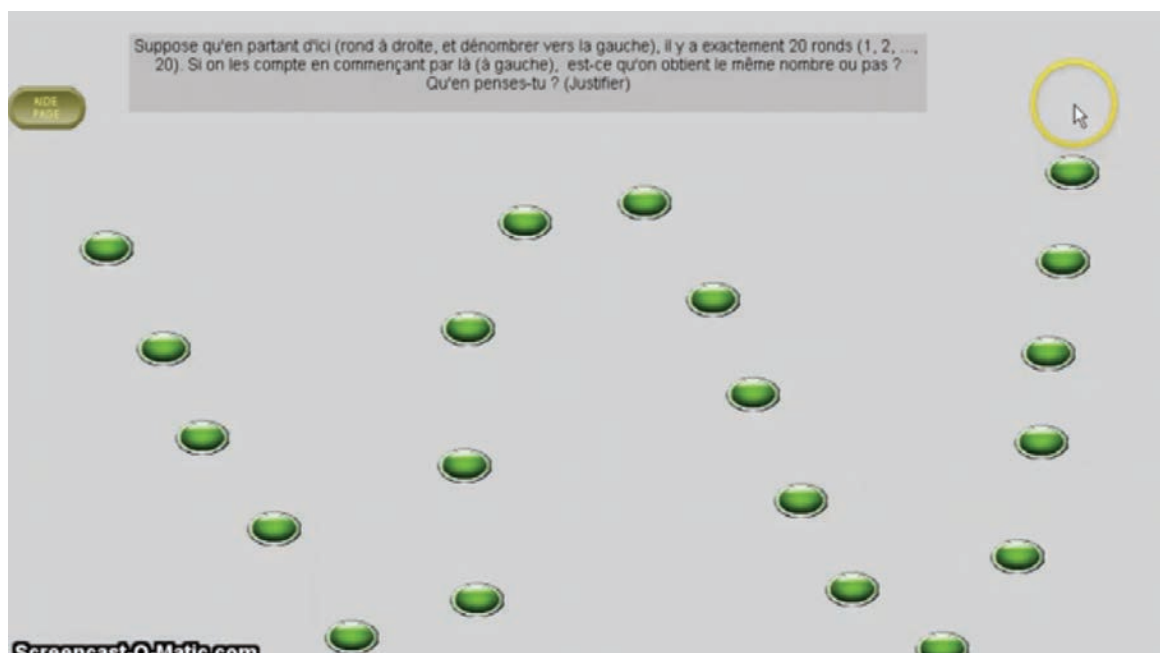
3.1.1. Observations et interprétations personnelles

Julie est une jeune fille au contact très agréable, souriante et riant beaucoup. L'orthophoniste m'indique qu'elle a redoublé son CP et n'investit pas de ce fait l'école au contraire des séances de rééducation où elle est suivie pour dyslexie-dysorthographie.

→ RAS concernant la chaîne numérique, la comptine est connue et le comptage par pas de 2,5 et 10 ainsi que le comptage à rebours ne posent pas de problème particulier.

Les épreuves testant le principe de cardinalité et l'ordre stable sont réussis. Cependant Julie échoue lors du comptage de 19 objets, en oubliant un, nous révélant que le principe de correspondance terme à terme n'est, quant à lui, pas encore acquis.

→ Concernant l'épreuve testant la **non pertinence de l'ordre**, Julie **échoue** en nous donnant cette argumentation « *tu vois bien que là (en « bas » du premier V du W ainsi formé) il y a pas de rond vert alors que là (en « bas » du second V du W) il y en a un ! Donc il n'y en a pas pareil.* »

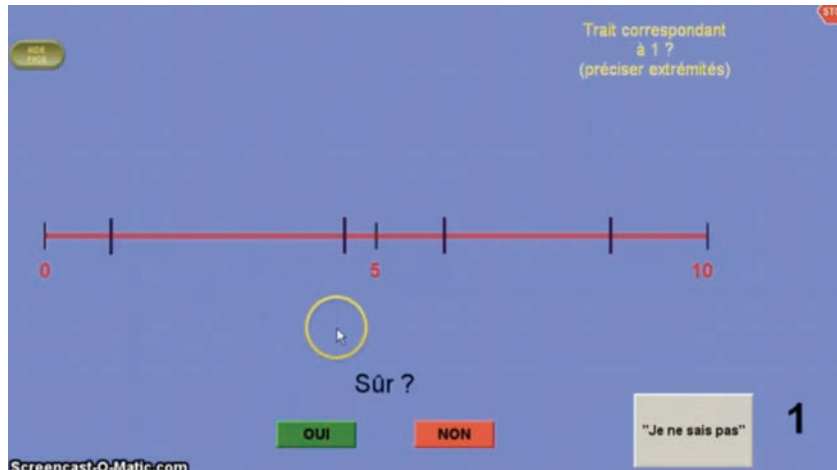


Le subitizing ne pose pas de problème apparent à Julie qui apparaît subitiser correctement au moins 6 éléments présentés de manière aléatoire et le subitizing de configuration de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour un doigt, pouce et index pour deux doigts, etc.) est possible jusqu'à sept doigts au moins.

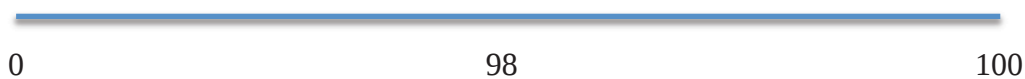
→ Concernant l'épreuve consistant à situer une numérosité sur une ligne aux limites précises, Julie parvient à situer 49 par rapport à 62, 91 par rapport à 53 même s'il apparaît

que **les termes mathématiques de langage « plus petit que » ou « plus grand que » ne sont pas tout à fait maîtrisés.**

De la même façon elle parvient à situer 9, puis 1, 2 et 8 sur une ligne de « longueur de 10 », déjà découpée en traits indicatifs :



→ Par contre, quand il lui est ensuite demandé de situer 18 sur une ligne de « longueur 20 », puis 97 sur une ligne de « longueur 100 » elle échoue en positionnant successivement 18 et 97 au « milieu » des lignes proposées.



Cette épreuve révèle donc des difficultés de représentation, d'évaluation et de comparaison des nombres entre eux pour Julie. **Elle ne parvient pas encore à percevoir chaque nombre dans son « unité » (au sens de nombre et non pas d'association de chiffres composant le nombre) et à le mettre en relation de comparaison avec d'autres nombres.**

Les difficultés rencontrées par Julie à cette épreuve nous indiquent qu'il serait intéressant de lui faire passer une épreuve de sériation d'objets en test complémentaire.

→ Concernant les épreuves testant l'addition, Julie échoue aux items suivants :

- « $8+7 = 14$ »
- « $23+4 =$ je ne sais pas »
- « $82+6 =$ je ne sais pas »
- « $67+6 =$ je ne sais pas »
- « $47+4 =$ je ne sais pas »

Alors que les autres items (« $2+3$ », « $3+6$ », « $9+3$ », « $7+6$ », « $11+4$ », « $13+5$ », « $25+3$ », « $24+5$ », « $43+5$ », « $72+7$ ») sont réussis par surcomptage.

Il apparaît clairement que **le passage à la dizaine supérieure pose problème à Julie**, surtout quand le résultat est supérieur à 20.

Quand nous lui demandons de nous expliquer comment elle procède pour trouver le résultat des additions simples telles que « 2+3 » ou « 8+7 » elle nous dit qu'elle les connaît « par cœur ». Ce qui explique qu'elle apparente « 8+7 » à « 7+7 » puisqu'elle nous donne le résultat « 14 ».

Elle échoue à l'item « 23+4 » alors que les items suivants tels que « 25+3 » et « 24+5 » sont réussis. **Cela nous fait nous interroger sur une éventuelle saturation causée par une charge mnésique en mémoire de travail trop importante, voire impression d'être submergée de Julie qui préfère dire « Je ne sais pas » quand les nombres qui lui sont proposés sont d'un coup plus importants.**

En effet, l'item précédent « 23+4 » était « 13+5 » qu'elle réussit. On peut ainsi se poser la question d'une éventuelle « inquiétude » de Julie confrontée à un nombre dépassant alors la vingtaine.

La réussite des items suivants est, nous pensons, corrélée au fait que lors de ces épreuves de « calculs » nous montrions à chaque fois la réponse attendue au patient (en passant la souris sur la case réponse en bas à droite de l'écran) pour qu'il puisse de lui-même confronter sa réponse au résultat. Naissait ainsi un petit challenge et un plaisir nourri par chaque petit patient de vérifier sa réponse à chaque item.

Nous pensons donc que la découverte de la réponse « 27 » à l'item « 23+4 » échoué par Julie lui a permis de prendre de l'assurance pour réussir les items suivants, ne nécessitant pas de passage par la dizaine, et concernant des résultats toujours compris entre 20 et 30. Mais cela reste une hypothèse. Il est également possible que le fait de voir le résultat soulage la charge mnésique de Julie qui garde son observation de la « vingtaine » contenue dans le résultat en mémoire pour lui permettre de réussir les items suivants.

D'ailleurs, les items suivants « 25+3 » et « 24+5 » sont réussis par Julie, mais l'item « 82+6 » proposé ensuite provoque chez elle la même réaction que nous avons observée pour l'item « 23+4 » : « Je ne sais pas. »

Le logiciel s'adapte alors à son échec et lui propose « 43+5 » et « 72+7 » items qu'elle réussit puisque inférieurs à 80 et ne nécessitant pas de passage à la dizaine.

Par contre l'item suivant « 67+6 », nécessitant quant à lui un passage à la dizaine supérieure, est échoué, tout comme « 47+4 » :

$67 + 6 = 67 + 3 + 3 = 70 + 3$ (stratégie de décomposition additive de l'un des termes (ici 6 en $3 + 3$) s'appuyant sur un passage à la dizaine supérieure impossible pour Julie)
$47 + 4 = 47 + 3 + 1 = 50 + 1$ (stratégie de décomposition additive de l'un des termes (ici 4 en $3 + 1$) s'appuyant sur un passage à la dizaine supérieure impossible pour Julie)

→ Concernant les épreuves testant la soustraction, seuls les items « 5-3 », « 7-4 » et « 19-7 » sont réussis alors que les autres sont échoués (« 14-6 », « 12-4 », « 29-7 » et « 26-3 »).

Il apparaît que **Julie réussit les soustractions dont le résultat est inférieur à 20 et qui n'impliquent pas de passage à la dizaine**. Au-delà elle répond systématiquement « Je ne sais pas » aux items proposés et montre une saturation, excepté pour l'item « 29-7 » où elle donne la réponse erronée « 12 » que nous mettons en relation avec le résultat précédent de l'item « 19-7 » qu'elle avait réussi :

$$19 - 7 = 12$$

$$29 - 7 = 12$$

La **gestion mentale des dizaines, au-delà de 10, semble donc poser problème** à Julie puisque la soustraction des unités (9-7) est bien réussie par décomptage mais que la gestion des dizaines restantes (soit 20) n'est pas correctement redonnée : Julie répond « 12 » au lieu de « 22 ».

→ Concernant l'épreuve testant le transcodage du code oral/écrit au code arabe à travers la dictée de nombres, il est réussi par Julie jusqu'aux nombres à 4 chiffres (« 1500 ») bien que cette dernière ait écrit « 1050 » pour « Mille cinq cents » avant de s'auto-corriger aussitôt. Par contre les nombres allant au-delà, tels que « Cent mille un » et « Cinq mille cinq cent cinquante » sont échoués :

- « Cent mille un » = « 1001 »
- « Cinq mille cinq cent cinquante » = « 5050 »

Les erreurs de transcodage de Julie montrent une **difficulté de segmentation et/ou de catégorisation des nombres à 4 chiffres et plus** : en effet « mille cinq cents » est retranscrit en premier essai « 1050 » soit « mille cinquante », « cent mille un » est retranscrit « 1001 » soit « mille un » et « cinq mille cinq cent cinquante » est retranscrit « 5050 » soit « cinq mille cinquante ».

On s'aperçoit ainsi que pour « mille cinq cents » Julie transcrit bien l'information « mille » mais que pour l'information « cinq cents » elle hésite entre la transcription « 50 » et « 500 ».

- ➔ Pour « cent mille un », Julie retranscrit bien l'information « mille un » à moins que ce ne soient les informations « cent et un » qu'elle ait voulu redonner en écrivant « 1001 ». Personnellement nous pencherions pour la première hypothèse puisque pour l'item « Trois cent cinquante huit » elle avait correctement retranscrit « 358 », laissant à penser que la transcription des nombres à 3 chiffres et par là l'analyse des classes « centaines, dizaines et unités » ne lui pose pas problème.

$$\begin{array}{l} [100\ 001] \\ \text{(nombre} \\ \text{à 6 chiffres)} \end{array} = \underbrace{\text{cent} \times \text{mille}}_{\text{relation multiplicative}} + \underbrace{\text{un}}_{\text{relation additive}}$$

ITEM PROPOSÉ

$$\begin{array}{l} [1001] \\ \text{(nombre} \\ \text{à 4 chiffres)} \end{array} = \underbrace{\text{mille} + \text{un}}_{\text{relation additive}}$$

TRANSCODAGE DE JULIE

Schéma expliquant le transcodage erroné de Julie (ANNEXE IV)

Nous avons donc décidé d'étudier la production de Julie « 1001 » comme « mille un » en comparaison de « 100001 » écriture en chiffres arabes attendue pour l'item « cent mille un » :

- tout d'abord il est intéressant de remarquer que « 100001 » est un nombre à 6 chiffres alors que le transcodage de Julie en chiffres arabes « 1001 » consiste en un nombre à 4 chiffres.
- Concernant les relations intéressant les primitives lexicales, pour « cent mille un » il s'agit de l'association d'une relation multiplicative avec une relation additive alors que pour « mille un » il s'agit seulement d'une relation additive.

Il apparaît ainsi que le transcodage arabe de Julie « 1001 » révèle une simplification des relations intervenant à l'intérieur du nombre phonologique « cent mille un » (puisque une seule relation additive au lieu de la forme « relation multiplicative et relation additive ») ainsi qu'une simplification du nombre de chiffres composant sa forme arabe (de 6 chiffres à 4 chiffres).

- ➔ Pour « cinq mille cinq cent cinquante », Julie transcrit l'information « cinq mille » et l'information « cinquante » à moins que ce ne soit l'information « cinq cent cinquante » qu'elle ait voulu retranscrire en écrivant « 5050 ».

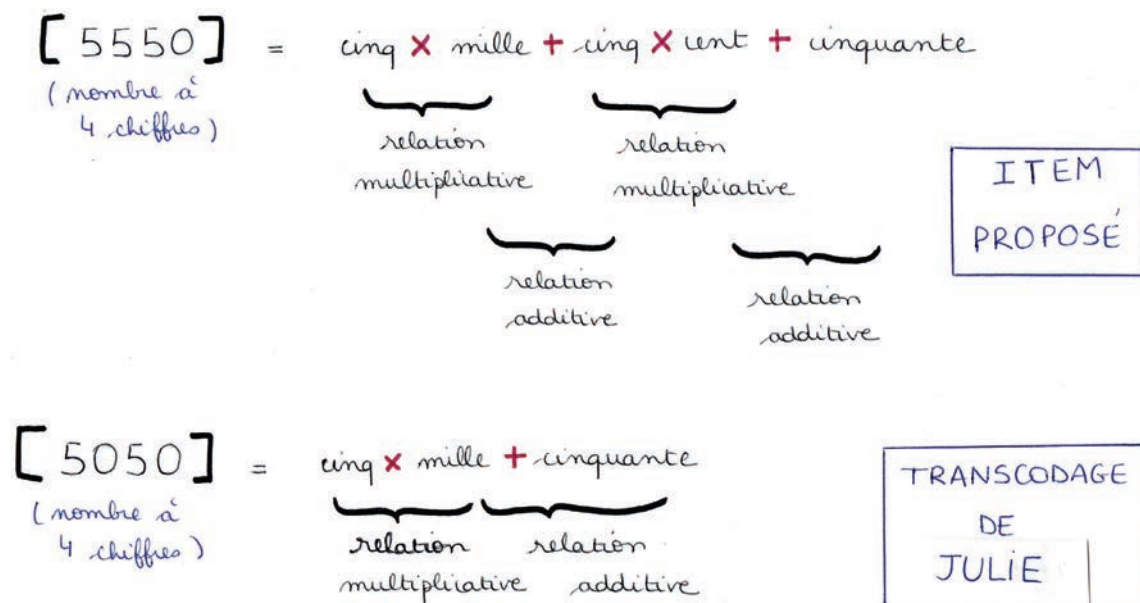


Schéma expliquant le transcodage erroné de Julie (ANNEXE V)

Comme pour l’item précédent, nous avons choisi d’étudier la production de Julie « 5050 » comme « cinq mille cinquante » en comparaison de « 5550 » écriture en chiffres arabes attendue pour l’item « cinq mille cinq cent cinquante » :

- « 5550 » et « 5050 » sont deux nombres composés de 4 chiffres
- Concernant les relations intéressant les primitives lexicales, pour « cinq mille cinq cent cinquante » il s’agit d’une construction du type : « relation multiplicative - relation additive – relation multiplicative – relation additive » alors que pour « cinq mille cinquante » il s’agit uniquement de l’association d’une relation multiplicative avec une relation additive.

Pour cet item encore, il apparaît que le transcodage arabe de Julie « 5050 » révèle une simplification des relations intervenant à l’intérieur du nombre phonologique « cinq mille cinq cent cinquante » (puisque seulement une relation multiplicative et une relation additive au lieu de deux relations multiplicatives et deux relations additives).

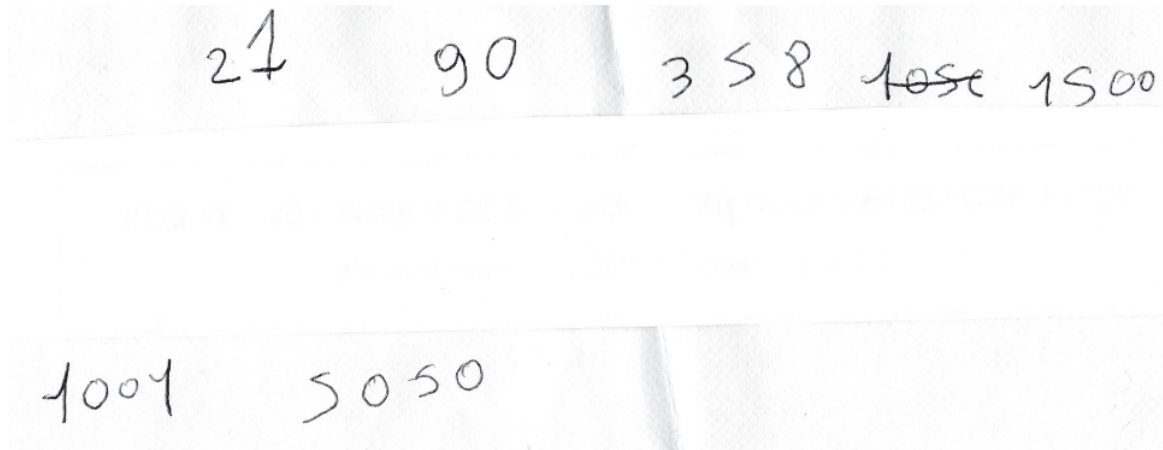
Julie étant scolarisée en Ce2, il lui est, en théorie¹⁰¹, possible de lire et d’écrire pratiquement tous les nombres de 1 à 4 chiffres et « *bien que quelques erreurs apparaissent encore sur les nombres plus grands on peut considérer qu’à cet âge les processus de transcodage sont quasiment mis en place* ».

¹⁰¹ Se référer au Chapitre II, paragraphe 3.2.3. « Ecriture en chiffres arabes de nombres sous dictée » de ce mémoire.

Ainsi il apparaît normal que pour l’item « cent mille un », **Julie simplifie la numération arabe composée de 6 chiffres en 4 chiffres puisqu’elle ne peut pas encore concevoir un nombre à plus de 4 chiffres.**

Concernant les simplifications des relations intéressant les primitives lexicales à l’intérieur des nombres phonologiques, **il apparaît que Julie privilégie les relations additives aux relations multiplicatives et simplifie leurs associations** (pour une structure relation multiplicative – relation additive – relation multiplicative – relation additive, soit 2×2 , Julie va proposer une structure binaire relation multiplicative – relation additive, soit 2×1).

A travers cette épreuve, nous avons également pu remarquer que la graphie des chiffres de Julie est approximative : son « 7 » ressemble beaucoup à un « 1 » en raison d’une barre centrale réalisée très bas, de même son « 5 » pourrait se confondre avec la lettre « S ».



→ Concernant l’épreuve testant le transcodage du code oral/écrit en code arabe à travers la lecture, Julie échoue pour « Quatre-vingt-deux » mais réussit pour « Vingt-trois » et « Quarante-cinq » :

- à l’item « Quatre-vingt-deux » Julie montre le nombre arabe « 92 » (soit « quatre-vingt-douze ») dans la liste de 6 nombres qui lui est proposée, au lieu de « 82 » attendu. Ce qui montre que la lecture de nombres arabes à 2 chiffres n’est pas encore maîtrisée.

3.1.2. Conclusions

Concernant l'investigation des aptitudes numériques, au niveau du comptage oral Julie maîtrise la comptine numérique et **se situe au niveau de la chaîne numérable**¹⁰², soit au stade 4 sur les 5 stades intéressants la chaîne numérique verbale.

Julie **ne possède pas encore les différents principes régissant le dénombrement** : le principe de correspondance terme à terme n'est pas encore acquis (puisque Julie se trompe en dénombrant 18 objets au lieu des 19 demandés), tout comme le principe de non pertinence de l'ordre. *En seconde investigation il serait également intéressant de tester le principe d'abstraction (en proposant une collection d'ours et de moutons à Julie et en lui demandant par exemple combien il y a d'animaux) non évalué par le logiciel.*

Il est également important de noter que Julie possède de **bonnes capacités à subitiser** une collection de 6 éléments.

Il apparaît ensuite, à travers l'épreuve « Situer n sur une ligne de longueur m avec $n < m$ » proposée par le logiciel, que Julie **ne possède pas encore le « sens » du nombre**. La conservation des quantités continues et discontinues, le passage au symbolisme, l'équivalence n'ayant pas été testés par le logiciel sont à investiguer lors d'épreuves complémentaires avec Julie.

Ses **capacités de transcodage du code phonologique (oral) ou orthographique (écrit) au code arabe**, que ce soit en écriture (dictée de nombres) ou en lecture, montrent des **difficultés d'identification des combinaisons de primitives lexicales constituant les nombres à partir de 2 chiffres pour la lecture de nombres en chiffres arabes et à partir de 3 chiffres pour l'écriture des nombres en chiffres arabes**. Ainsi les processus de transcodage ne sont pas encore totalement mis en place.

En ce qui concerne le calcul mental, Julie **se situe au tout début de son apprentissage**, comme en témoigne des procédures telles que **l'utilisation de la suite numérique et du surcomptage** se révélant être les **premières « stratégies » mises en place par Julie pour soulager sa mémoire de travail** et qui lui serviront plus tard de points d'appui pour le répertoire additif (lui permettant de mettre au point des stratégies de décomposition additive canonique s'appuyant sur un passage à la dizaine supérieure) pour le moment impossible. La connaissance des tables (dont celle des doubles), ou faits arithmétiques, n'est pas encore automatisée (cf erreur de $8+7 = 14$), ce qui freine ses possibilités actuelles d'établir des stratégies de calcul mental reposant sur ces automatismes de calcul.

¹⁰² Se référer au chapitre II, paragraphe 3.1.2.b « le socle du dénombrement – la chaîne numérique verbale » de ce mémoire.

3.1.3. Comptes rendus édités par MathEval

a. Le document Word

Le compte rendu exploité sous un **document Word**¹⁰³ édité par MathEval indique que la passation de Julie s'est déroulée en 22 minutes, qu'elle connaît totalement la comptine numérique et qu'elle se situe au stade 4 au moins en ce qui concerne la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable. « La chaîne numérique n'est plus uniquement une succession de nombres ordinaux ; chaque mot-nombre évoque aussi son cardinal. Julie est dotée des compétences nécessaires pour être en mesure de résoudre des opérations par surcomptage (compter x à partir de y). »

Il confirme également que le comptage par pas de 2,5 et 10, ainsi que le comptage à rebours sont automatisés et qu'au niveau de l'acquisition des stades de dénombrement (selon Gelman & Gallistel) seule la non pertinence de l'ordre n'est pas acquise. De même il apparaît que Julie subitize correctement jusqu'à 6.

Concernant les additions, le rapport indique que « s'agissant d'additions portant sur des nombres inférieurs à 20, Julie réussit, SANS UTILISER un algorithme correct, c'est-à-dire, généralisable, les additions impliquant un passage par la dizaine. Une addition du type « 8+7 » est réussie soit par surcomptage, soit en utilisant un procédé du type « 8+8-1 ». Par ailleurs Julie réussit les additions du type DU+U jusque 100 mais sans passage de classe (par exemple, « 47+4 » est échoué). »

Concernant les soustractions, le rapport indique qu' « en calcul mental, Julie ne réussit pas les soustractions impliquant un passage par la dizaine (exemple : « 15-7 »). Par contre, elle réussit les soustractions dont le résultat est inférieur à 20 mais échoue au delà. »

Le rapport conclut sur la capacité de Julie d'écrire les nombres arabes à quatre chiffres mais pas au-delà et sur le fait que la lecture de nombres arabes à 2 chiffres, tout en étant parfois réussie, n'est pas vraiment maîtrisée.

b. Le document Text Edit

Un **document « Text Edit »** est également édité par le logiciel, qui reprend l'ensemble des items proposés par le logiciel à Julie avec la mention « Ok » pour signifier ses réussites et la mention « Echoué » pour signifier ses échecs pour chaque item¹⁰⁴.

¹⁰³ Annexe II : Compte rendu Word de Julie

¹⁰⁴ Annexe III : Compte rendu « Text Edit » de Julie

c. Le document Excel

Le troisième rapport édité par le logiciel à la fin de la passation est un **document Excel** présentant les résultats obtenus par Julie aux différents sous-tests (*durée du test, gnosies digitales, comptine simple, manipulation de la chaîne numérique, dénombrement, subitizing, « sens » des nombres, additions, soustractions, écriture et lecture des nombres arabes*) ramenés en Centiles puis en écarts-types sous la forme d'un tableau, **en référence aux normes CE1** (ou 2P)¹⁰⁵, le logiciel ne proposant pas encore d'étalonnage pour le niveau CE2.

La passation de Julie ayant duré 22 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique, le tableau nous indiquant une fréquence cumulée égale à 99 signifiant que **Julie fait partie des 1% des enfants les plus lents à ce test.**

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique que **Julie se situe clairement dans le pathologique concernant le dénombrement (-3 σ), le « sens » des nombres (-2 σ) et la lecture des nombres arabes (-3 σ).** Il fait également apparaître qu'elle frôle le pathologique aux sous-tests additions (-1,4 σ) et soustractions (-1,3 σ).

Si on se réfère aux normes CP, il apparaît que Julie, actuellement scolarisée en CE2, se situe déjà dans le pathologique pour le dénombrement (-1,7 σ) et le « sens » des nombres (-1,6 σ)¹⁰⁶.

¹⁰⁵ Annexe VI : Compte rendu Excel de Julie (Normes CE1)

¹⁰⁶ Annexe VII : Compte rendu Excel de Julie (Normes CP)

3.1.4. Comparaison observations personnelles et compte-rendu MathEval

Si nous comparons nos observations personnelles (recueillies pendant la passation) aux comptes rendus édités par MathEval, **nous nous apercevons que le rapport Word édité par le logiciel**, tout en reprenant l'ensemble des épreuves proposées en les insérant dans les principaux domaines testés (à savoir : gnosies digitales, comptine simple, manipulation de la chaîne numérique, dénombrement, subitizing, « sens » des nombres, additions, soustractions, écriture des nombres arabes, lecture des nombres arabes) **situe Julie en fonction de ses résultats à différents stades ou niveaux d'acquisition intéressants les différents domaines menant au nombre.**

Aussi, il apparaît que nous ne sommes pas d'accord concernant un point :

- **concernant le dénombrement**, notamment le principe de correspondance terme à terme : selon nous Julie n'a pas encore acquis ce principe puisqu'elle s'est trompée en dénombrant 18 ronds verts au lieu des 19 présentés, ce qui implique une *mauvaise coordination entre le geste de pointage et le comptage oral et donc un principe de correspondance terme à terme en voie d'acquisition seulement.*

Le rapport Excel, quant à lui, fait clairement apparaître le fait que Julie se situe dans le pathologique pour le dénombrement, le « sens » des nombres et la lecture des nombres arabes, et à la limite du pathologique pour les additions et les soustractions, en référence aux normes CE1, révélant une totale adéquation avec nos observations personnelles.

De plus, la confrontation des résultats obtenus par Julie au regard des normes CP (rendue possible par le logiciel) nous révèle que cette dernière, actuellement scolarisée en CE2, ne possède pas les prérequis demandés à un enfant de CP.

Cela nous fait nous interroger sur l'existence d'un trouble d'apprentissage spécifique chez Julie qui mériterait d'être investigué de manière plus étendue à l'occasion d'un bilan logico-mathématique.

Nous préconisons donc, à la suite de ce test, la passation complète d'un bilan logico-mathématique, comme nous l'avons détaillé en première partie de ce mémoire (anamnèse / investigation des outils fondamentaux : espace, temps, langage, images mentales / investigation logique des structures de pensée : classification, sériation, permanence des quantités, compréhension du tout et de ses parties, résolution de problèmes / investigation du langage).

3.2. Léa, 7 ans et 10 mois, Ce1

3.2.1. Observations et interprétations personnelles

Léa nous apparaît à première vue comme une petite fille très appliquée, avec un visage impassible et un temps de latence important dans ses réponses. L'orthophoniste nous confie avant la passation qu'elle ne sait jamais si Léa est contente de venir aux séances, car c'est une petite fille tout le temps dans la retenue.

→ Concernant la chaîne numérique, Léa compte correctement jusqu'à 86 puis procède à un saut (oubli de 87) pour continuer son comptage correctement jusqu'à 100.

Elle parvient à compter de 4 à 9 mais échoue au comptage par pas de 2 alors que le comptage par pas de 5 est possible jusqu'à 40 et que le comptage par pas de 10 est réalisé jusqu'à 100.

Le comptage à rebours paraît automatisé car Léa parvient à compter à l'envers en partant de 9, puis en partant de 16.

→ Les principes de correspondance terme à terme, de l'ordre stable, de non pertinence de l'ordre et de cardinalité semblent être acquis.

→ Léa subitise correctement jusqu'à cinq éléments et le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique est possible jusqu'à 7 doigts au moins.

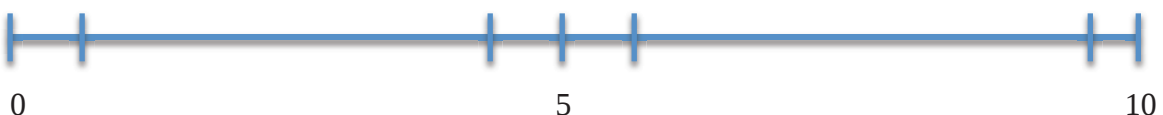
→ Concernant l'épreuve intéressant le « sens » du nombre, Léa parvient à situer 49 par rapport à 62 et 91 par rapport à 53 sur une ligne non bornée présentée de cette manière :



Quand il lui est demandé de situer, sur une ligne de « longueur 10 » soit bornée de 0 à 10, 9, puis 1 et 8 elle réussit ces items mais échoue à placer 2.

Pour comprendre l'échec de Léa il est important de préciser que le déroulement des items est le suivant :

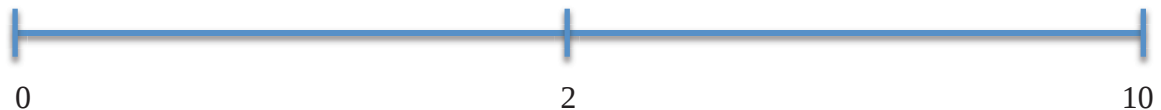
- On demande d'abord à l'enfant de placer 9 puis 1 sur une ligne de « longueur 10 » bornée de 0 à 10, mais également déjà composée de petits traits, donc de placer 9 puis 1 sur un des petits traits apparaissant sur la ligne présentée de cette manière :



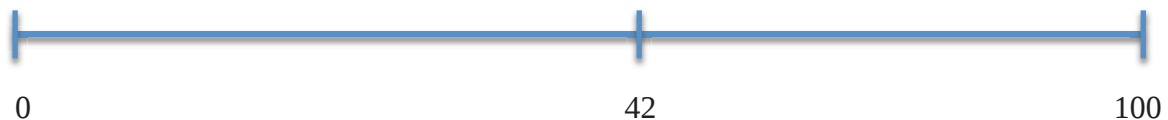
- Puis on demande à l'enfant de placer 2, puis 8 toujours sur une ligne de « longueur 10 » mais cette fois sans la présence des petits traits précédents :



Aussi, la suppression des repères précédents a pu perturber un peu Léa, la faisant échouer à situer 2, qu'elle place au milieu de la ligne :



Ensuite, elle réussit les items suivants consistant à situer 10 puis 18 sur une ligne de « longueur 20 », soit une ligne bornée de 0 à 20 mais échoue à situer 42 sur une ligne de « longueur 100 » alors qu'elle réussit à situer 802 sur une ligne de « longueur 1000 » :



Léa échoue effectivement à cet item car elle place 42 au niveau de « 55 » sur la ligne, soit « après » le milieu, dans la partie entre le « milieu » et 100 au lieu de choisir la partie entre 0 et le « milieu ».

Cette erreur peut-être expliquée par le manque de précision apporté par l'utilisation de l'écran plutôt qu'un support papier. En effet suivant l'orientation de Léa à ce moment-ci par rapport à l'écran, un effet d'optique a pu l'influencer à placer 42 après le « milieu » de la ligne au lieu de le situer juste avant.

Cette épreuve révèle donc des difficultés d'identification, de représentation, d'évaluation des nombres en tant qu' « unité » pour Léa.

→ Concernant le calcul mental et d'abord les épreuves testant l'addition, Léa échoue lors du premier item « $8+7$ » mais réussit les items suivants « $4+5$ » et « $2+3$ ». Ensuite, « $3+6$ » est également échoué tandis que « $5+3$ » est réussi. Le dernier item « $2+7$ » est échoué.

Pour résumer, Léa échoue aux items suivants :

- « $8+7 =$ je ne sais pas »
- « $3+6 = 13$ »
- « $2+7 = 8$ »

Pour le premier item, soit « $8+7$ », Léa donne, au bout d'un temps de latence, la réponse « je ne sais pas » ; elle paraît ainsi rejeter le calcul perçu comme manipulant des chiffres trop importants pour elle.

Nous lui répondons que ce n'est pas grave et nous lui montrons que la réponse attendue était 15 (en passant la souris sur la case « réponse »). Le logiciel s'adapte donc à son échec et lui propose ensuite des additions plus simples.

Aussi, nous observons qu'elle traite les items suivants par surcomptage à l'aide de la représentation mentale de ses doigts (soit « $4+5$ » et « $2+3$ »), jusqu'à l'item « $3+6$ » où elle échoue à nouveau, se perdant dans le raisonnement du traitement mental de ses doigts en nous indiquant le résultat « 13 ».

Du coup, elle change de stratégie pour résoudre l'item suivant « $5+3$ » auquel elle répond en disant tout de suite : « C'est facile ça fait 8 ! ».

Pour le dernier item « $2+7$ », elle répond de la même façon : « C'est facile, ça fait aussi 8 ! »

Ainsi au niveau des stratégies de calcul mental utilisées, Léa nous en révèle deux :

- le surcomptage à l'aide de la représentation mentale des doigts (pour « $4+5$ », « $2+3$ » et « $3+6$ » bien qu'elle se trompe pour le dernier)
- l'automatisme et donc la recherche d'un fait arithmétique stocké en mémoire (pour « $5+3$ » et « $2+7$ » où elle donne un résultat quasi immédiat, sans surcompter)

Léa oscille entre l'utilisation de ces deux stratégies pour des additions dont le résultat n'inclut pas de passage à la dizaine.

Elle se repose essentiellement sur le surcomptage, **stratégie plus archaïque que l'automatisme, sans toutefois utiliser ses doigts mais en montrant** qu'elle manipule les quantités mentalement en additionnant la représentation visuelle de ses doigts.

Léa nous montre également qu'elle commence tout juste à diversifier ses procédures en automatisant certains calculs (comme « $5+3$ ») dont le résultat est stocké en mémoire afin de lui permettre un accès plus rapide que le surcomptage.

→ Concernant les soustractions, Léa réussit les items successifs « $5-3$ », « $3-1$ », « $7-4$ » et « $14-6$ ».

Puis elle échoue à l'item « $19-7$ » en proposant la réponse « 13 ».

Les items suivants « $17-4$ », « $18-6$ », « $29-7$ », « $87-6$ », « $45-7$ » et « $69-23$ » sont réussis mais les deux derniers items, soit « $73-36$ » et « $62-24$ » sont échoués.

Ainsi on peut remarquer que la soustraction d'un nombre à deux chiffres par un autre nombre composé d'un seul chiffre, même quand il nécessite un passage par la dizaine inférieure, ne pose pas de problème à Léa qui procède ainsi par décomptage mental pour trouver le résultat.

Par contre, pour la soustraction d'un nombre à deux chiffres par un autre nombre à deux chiffres, Léa parvient à trouver le résultat uniquement s'il ne nécessite pas de passage par la dizaine inférieure, tel que « $69-23 = 46$ ». En cas de passage par la dizaine inférieure, les items sont ainsi échoués : « $73-36$ » et « $62-24$ ». Léa nous répond pour ces deux derniers items qu'elle ne sait pas combien ça fait.

→ Concernant l'épreuve testant le transcodage du code oral/écrit au code arabe à travers la dictée de nombres, il est réussi par Léa jusqu'aux nombres à 3 chiffres.

Effectivement, elle parvient à écrire correctement en numération arabe « vingt-sept » et « quatre-vingt-dix » mais échoue pour « trois cent cinquante huit » qu'elle écrit « 30058 », soit « trente-mille cinquante huit ».

A travers cet item il est flagrant que Léa ne maîtrise pas encore les structures à 3 chiffres.

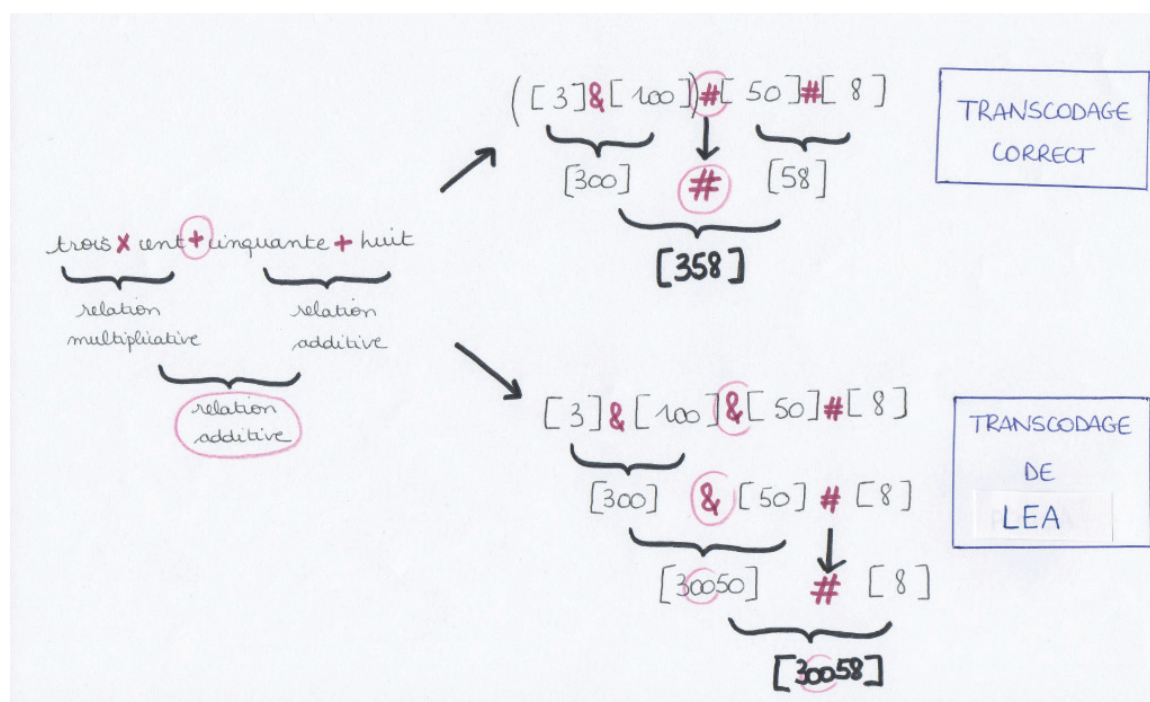
Léa ayant 7 ans et étant scolarisée en Ce1, il lui est, en théorie¹⁰⁷, possible de lire et d'écrire pratiquement toutes les structures à 2 chiffres (particulier, dizaine, dizaine-unité) tandis que les structures à 3 chiffres sont en voie d'acquisition (et représentent donc 77% de transcodage corrects).

De plus, selon l'étude de Power et Dal Martelo (1990) réalisée auprès d'une population d'enfants du même âge que Léa, « les erreurs constatées à 7 ans sont majoritairement de nature syntaxique (touchant les relations entre les primitives lexicales et entraînant une modification du gabarit du nombre) et correspondent le plus souvent à l'insertion de zéros supplémentaires dans le nombre ».

Cette erreur par insertion de zéros supplémentaires au sein du nombre proviendrait, toujours selon cette étude, d'un remplacement erroné de l'opération de surécriture (non maîtrisée) par l'opération de concaténation.

Pour mieux comprendre l'erreur de transcodage de Léa j'ai réalisé le schéma suivant, reprenant le nombre phonologique, tel que Léa l'entend ou le lit sur l'écran de l'ordinateur impliquant des relations multiplicatives et additives au sein de ses primitives, et les procédés d'opérations de concaténation et de surécriture qu'elles relatent :

¹⁰⁷ Se référer au Chapitre II, paragraphe 3.2.3.a « Ecriture en chiffres arabes de nombres sous dictée » de ce mémoire.



Analyse du transcodage incorrect de Léa concernant l'item « Trois-cent-cinquante-huit » (ANNEXE VIII)

Ainsi, comme le montre le schéma, l'erreur de transcodage de Léa concerne l'analyse de la relation additive « (trois cent) + (cinquante-huit) » qui nécessite l'utilisation d'un opérateur de surécriture (#) et non de concaténation (&) que Léa utilise, elle, pour obtenir « 30058 » comme transcription en numération arabe de « trois cent cinquante-huit ».

Aussi, cette erreur de Léa nous révèle qu'elle ne maîtrise pas encore l'opération de surécriture (et des règles qu'elle implique) représentant la relation additive dans un nombre à trois chiffres **(et donc faisant intervenir trois relations plutôt que deux maximum pour les nombres composés d'un ou deux chiffres).**

A noter que l'item suivant « cent-dix » est correctement écrit « 110 » par Léa.

Effectivement, le nombre « cent-dix » représenté par 3 chiffres ne fait état que d'une seule relation additive, ce qui le rend ainsi plus facile à transcoder. De plus c'est un nombre à 3 chiffres mais comprenant seulement 2 primitives lexicales :

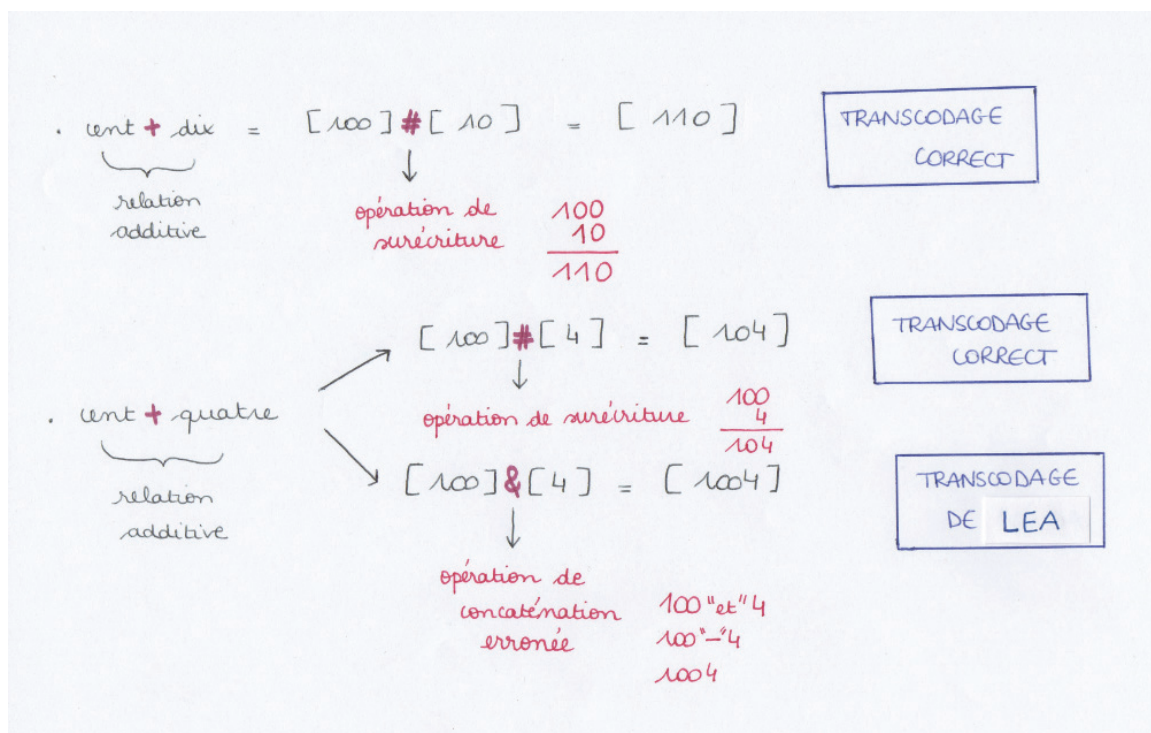
- cent = primitive lexicale dite « multiplicateur »
- dix = primitive lexicale dite « dizaine »

• cent + dix = [100] # [10] = [110]
 Nombre à 3 chiffres mais seulement 2 primitives lexicales

relation additive

→ Concernant l'épreuve testant le transcodage à travers la lecture de nombres, Léa parvient à montrer le nombre en chiffre arabes « 82 » correspondant à « quatre-vingt-deux » mais échoue pour « cent-quatre » en désignant le nombre en chiffres arabes « 1004 ».

Cette nouvelle erreur de Léa confirme bien qu'elle ne maîtrise pas encore l'opération de surécriture et des règles qu'elle implique mais qu'elle la confond avec l'opération de concaténation :



Décomposition du transcodage incorrect produit par Léa pour l'item « Cent-quatre » (ANNEXE IX)

3.2.2. Conclusions

Concernant l'investigation des aptitudes numériques, au niveau du comptage oral Léa maîtrise la comptine numérique jusqu'à 86 au moins et se situe au niveau de la chaîne numérable ou dénombrable, soit au stade 4 sur les 5 stades intéressants la chaîne numérique verbale. Il est important de noter que le comptage par pas est une opération encore complexe pour Léa, mobilisant des capacités de mobilité de pensée qu'elle ne possède pas encore.

Léa possède au moins quatre des cinq principes régissant le dénombrement : le principe d'abstraction n'étant pas investigué via le logiciel, nous pourrions le vérifier à travers une épreuve proposant une collection d'ours et de moutons à Léa, en lui demandant par exemple combien il y a d'animaux.

Il est important de noter que Léa possède de bonnes capacités à subitiser une collection de 5 éléments au moins.

De plus, il apparaît, à travers l'épreuve « Situer n sur une ligne de longueur m avec $n < m$ » proposée par le logiciel, que **Léa ne possède pas encore le « sens » du nombre**. La conservation des quantités continues et discontinues, le passage au symbolisme, l'équivalence et la sériation n'ayant pas été testés par le logiciel, seront à investiguer lors d'épreuves complémentaires.

Ses capacités de transcodage du code phonologique (oral) ou orthographique (écrit) au code arabe, que ce soit en écriture (dictée de nombres) ou en lecture, montrent des difficultés d'identification des relations intéressant les primitives lexicales concernant les nombres à partir de 3 chiffres. Aussi, Léa remplace souvent l'opération de surécriture (liée aux relations additives) par l'opération de concaténation (liée aux relations multiplicatives) dans les nombres à partir de 3 chiffres, peu importe le nombre de relations révélé au sein du nombre. Ainsi les processus de transcodage ne sont pas encore totalement mis en place.

En ce qui concerne le **calcul mental**, Léa se situe au **début de son apprentissage**, comme en témoignent des procédures telles que l'utilisation de la suite numérique et du surcomptage/décomptage.

3.2.3. Comptes rendus édités par MathEval

a. Le document Word

Le compte rendu exploité sous un document Word édité par MathEval indique que la passation de Léa s'est déroulée en 28 minutes, qu'elle connaît la comptine numérique jusqu'à 86 et qu'elle situe au stade 4 au moins en ce qui concerne la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable. « La chaîne numérique n'est plus uniquement une succession de nombres ordinaux ; chaque mot-nombre évoque aussi son cardinal. Léa est dotée des compétences nécessaires pour être en mesure de résoudre des opérations par surcomptage (compter x à partir de y). »

Il confirme également que le comptage par pas de 5 et 10 (jusque respectivement 40 et 100), ainsi que le comptage à rebours sont automatisés ; par contre, le comptage par pas de 2 n'est pas réussi.

Au niveau des stades de dénombrement de Gelman & Gallistel, le compte-rendu constate que tout paraît acquis. De même il apparaît que Léa subitise correctement jusqu'à cinq éléments mais pas davantage et que le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique est possible jusqu'à sept doigts au moins.

Concernant le calcul mental, le rapport stipule que Léa additionne correctement deux nombres dont la somme est inférieure à 5 mais échoue si l'addition a pour résultat un nombre supérieur à 5 et qu'elle maîtrise les soustractions de type DU-DU jusqu'à 100 à condition qu'il n'y ait pas passage de classe. Les soustractions de type DU-U avec passage de classe portant sur des nombres inférieurs à 100 (ex : 45-7) sont, quant à elles, maîtrisées.

Le rapport conclut sur la capacité de Léa d'écrire des nombres arabes de 3 chiffres, tout en commettant encore des erreurs. Il semble, selon lui, que ce sont les nombres de trois chiffres à structure multiplicative qui posent problème. Les nombres à 2 chiffres sont, quant à eux, maîtrisés. Et Léa maîtrise la lecture des nombres arabes à 2 chiffres mais pas au-delà.

b. Le document « Text Edit »

Un **document « Text Edit »** est également édité par le logiciel, qui reprend l'ensemble des items ayant été proposés par le logiciel à Léa avec la mention « Ok » pour signifier ses réussites et la mention « Echoué » pour signifier ses échecs.

c. Le document Excel

Le troisième rapport édité par le logiciel à la fin de la passation est un **document Excel** présentant les résultats obtenus par Léa aux différents sous-tests (*durée du test, gnosies digitales, comptine simple, manipulation de la chaîne numérique, dénombrement, subitizing, « sens » des nombres, additions, soustractions, écriture et lecture des nombres*

arabes) ramenés en Centiles puis en écarts-types sous la forme d'un tableau, **en référence aux normes CE1** (ou 2P)¹⁰⁸.

La passation de Léa ayant duré 28 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique, le tableau nous indiquant une fréquence cumulée égale à 100 signifiant que **Léa fait partie de moins des 1% des enfants les plus lents à ce test.**

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique que **Léa se situe clairement dans le pathologique concernant la comptine simple (-3 σ), la manipulation de la chaîne numérique (-2,2 σ), le « sens » des nombres (-1,5 σ) et les additions (-3 σ).** Il fait également apparaître qu'elle est bien en dessous de la moyenne aux sous-tests écriture des nombres arabes (-0,8 σ) et lecture des nombres arabes (-1 σ).

Si on se réfère aux normes CP¹⁰⁹, il apparaît que Léa, actuellement scolarisée en CE1, se situe déjà dans le pathologique pour les additions (-2,4 σ).

¹⁰⁸ Annexe XII : Compte rendu Excel de Léa (Normes CE1)

¹⁰⁹ Annexe XIII : Compte rendu Excel de Léa (Normes CP)

3.2.4. Comparaison observations personnelles et Comptes rendus MathEval

Si nous comparons nos observations et analyses personnelles aux comptes rendus édités par le logiciel une fois la passation terminée, **nous nous apercevons que le rapport Word**, tout en reprenant l'ensemble des épreuves proposées en les insérant dans les principaux domaines testés, **situe Léa en fonction de ses résultats à différents stades ou niveaux d'acquisition intéressants les différents domaines menant au nombre.**

Le rapport Excel, quant à lui, fait clairement apparaître que Léa se situe dans le pathologique pour la durée du test, la comptine simple, la manipulation de la chaîne numérique, le « sens » des nombres et les additions, et qu'elle se situe en dessous de la moyenne pour l'écriture et la lecture des nombres arabes. Le rapport Excel se révèle ainsi être en totale adéquation avec nos observations précédentes.

Certaines des stratégies de Léa, notamment en calcul mental et en transcodage, sont relevées et décrites finement bien que succinctement par le logiciel (qui grâce à sa qualité de logiciel expert retranscrit la succession des questions proposées en fonction des réponses apportées au fur et à mesure de la passation par Léa).

Il est donc intéressant de constater que le rapport édité par le logiciel nous permet un bon descriptif du fonctionnement de Léa tandis que notre analyse personnelle renvoie à un exposé plus détaillé des procédures employées par celle-ci afin de dégager des pistes de rééducation par la suite. Les deux me paraissent donc **complémentaires et intéressants**, l'un pour son côté descriptif et l'autre pour l'analyse détaillée découlant sur des objectifs de rééducation précis.

De plus, la confrontation des résultats obtenus par Léa au regard des normes CP (rendue possible par le logiciel) nous révèle que cette dernière, actuellement scolarisée en CE1, ne possède pas les prérequis demandés à un enfant de CP concernant les additions.

Cela nous fait nous interroger sur l'existence d'un trouble d'apprentissage spécifique chez Léa qui mériterait d'être investigué de manière étendue à l'occasion d'un bilan logico-mathématique.

Nous préconisons donc, à la suite de ce test, la passation complète d'un bilan logico-mathématique, comme nous l'avons détaillé en première partie de ce mémoire (anamnèse / investigation des outils fondamentaux : espace, temps, langage, images mentales / investigation logique des structures de pensée : classification, sériation, permanence des quantités, compréhension du tout et de ses parties, résolution de problèmes / investigation du langage).

3.3. Agathe, 6 ans et 7 mois, CP

3.3.1. Observations et interprétations personnelles

Agathe nous apparaît en premier abord comme une petite fille pleine de vie, au contact très agréable et qui n'hésite pas à dire les choses comme elles lui viennent, ce qui nous a été très utile lors de cette passation pour comprendre son fonctionnement. Elle est actuellement suivie pour dyslexie et l'orthophoniste nous confie qu'elle a beaucoup progressé et que l'automatisme des mécanismes de lecture se met en place.

→ Concernant la chaîne numérique, **Agathe compte correctement jusqu'à 39** : en effet lors du comptage, la chaîne numérique est stable et régulière jusqu'à 39 puis irrégulière puisque Agathe procède de cette façon « 37, 38, 39, 50 ».

Le **comptage par pas de 2 et de 5 sont impossibles**. Le comptage par pas de 10 est, quant à lui, possible jusqu'à 50 (Agathe réalise la prestation suivante : « 10, 20, 30, 40, 50, 51, 52, 52, 54, 55 ... »).

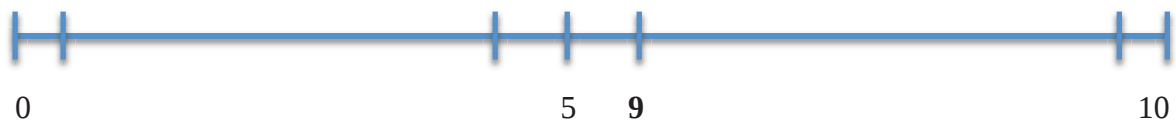
Le **comptage à rebours est impossible**, malgré mes ébauches d'encouragement du type « 9,8,7, ... », Agathe reprend « 9,8,7,1,2,3,4,...,9 ».

Les épreuves testant les principes de cardinalité, de l'ordre stable et de non pertinence de l'ordre sont réussis. Cependant Agathe échoue lors du comptage de 19 objets, en rajoutant un, nous révélant que le principe de correspondance terme à terme n'est, quant à lui, pas encore acquis.

Agathe subitize correctement jusqu'à 5 éléments présentés de manière aléatoire et le subitizing de configuration de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour un doigt, pouce et index pour deux doigts, etc.) est possible jusqu'à sept doigts au moins.

→ Concernant l'épreuve consistant à situer une numérosité sur une ligne aux limites précises, testant le « sens » du nombre, Agathe parvient à situer 49 par rapport à 62, 91 par rapport à 53.

Elle échoue à situer 9 mais parvient ensuite à situer 1, 2 et 8 sur une ligne « de longueur 10 », déjà découpée en traits indicatifs :



En effet, Agathe situe 9, sur le petit trait situé après 5, soit à la place du 6.

→ Par contre quand il lui est ensuite demandé de situer 10 sur une ligne de « longueur 20 » elle place 10 aux environs de 18 :



L’item suivant, proposant de situer 18, toujours sur une ligne de « longueur 20 », est réussi sans qu’Agathe ne montre le moindre étonnement à situer le même endroit pour deux nombres différents.

Le logiciel lui propose ensuite de situer 42 sur une ligne de « longueur 100 », item qu’elle échoue en situant 42 proche de 100 :



On peut analyser l’erreur d’Agathe comme une **confusion d’ordre phonologique** entre « quarante-deux » et « quatre-vingt-deux » puisque elle situe 42 aux alentours de 80.

Une autre hypothèse, qui expliquerait la tendance développée par Agathe à placer des nombres différents toujours au même endroit, serait qu’elle soit soumise à **l’effet de magnitude des nombres** : « *Selon divers auteurs, la représentation des nombres et la pensée mathématique dépendent en partie d’un sens des grandeurs approximatives¹¹⁰. Un grand nombre de travaux suggèrent que les hommes se représentent les relations entre les grandeurs numériques dans un format spatial, avec les **petites grandeurs du côté gauche de l’espace, et les grandeurs plus importantes du côté droit de l’espace**. Des études ont également montré des effets de distances et de taille dans la comparaison de nombres¹¹¹. Lorsque les nombres sont proches sur la ligne mentale des nombres (par exemple 4 et 5), le temps mis pour décider quel est le nombre le plus élevé va être plus important par rapport à une situation où les nombres sont plus distants sur la ligne des nombres (par exemple 1 et 5). De plus les analyses du temps de comparaison de nombres qui sont équidistants (ex : 3 et 7 vs 43 et 47) révèlent que les participants sont plus lents pour comparer les grands nombres. Cette découverte constitue un argument pour l’idée que **la représentation des nombres est logarithmique, ce qui signifie que la distance psychologique entre les grands nombres va être plus petite, malgré la distance numérique équivalente¹¹². A nouveau, ces effets de distance et de taille se produisent indépendamment du fait que le jugement de grandeur soit pertinent pour la tâche.*** »¹¹³

Cette épreuve révèle donc des **difficultés d’indentification, de représentation, d’évaluation et de comparaison des nombres entre eux pour Agathe.**

→ Concernant les épreuves testant l’addition, il apparaît qu’elle procède par recomptage du tout en utilisant le support de ses doigts :

¹¹⁰ DEHAENE, 1997 ; GALLISTEL & GELMAN, 1992.

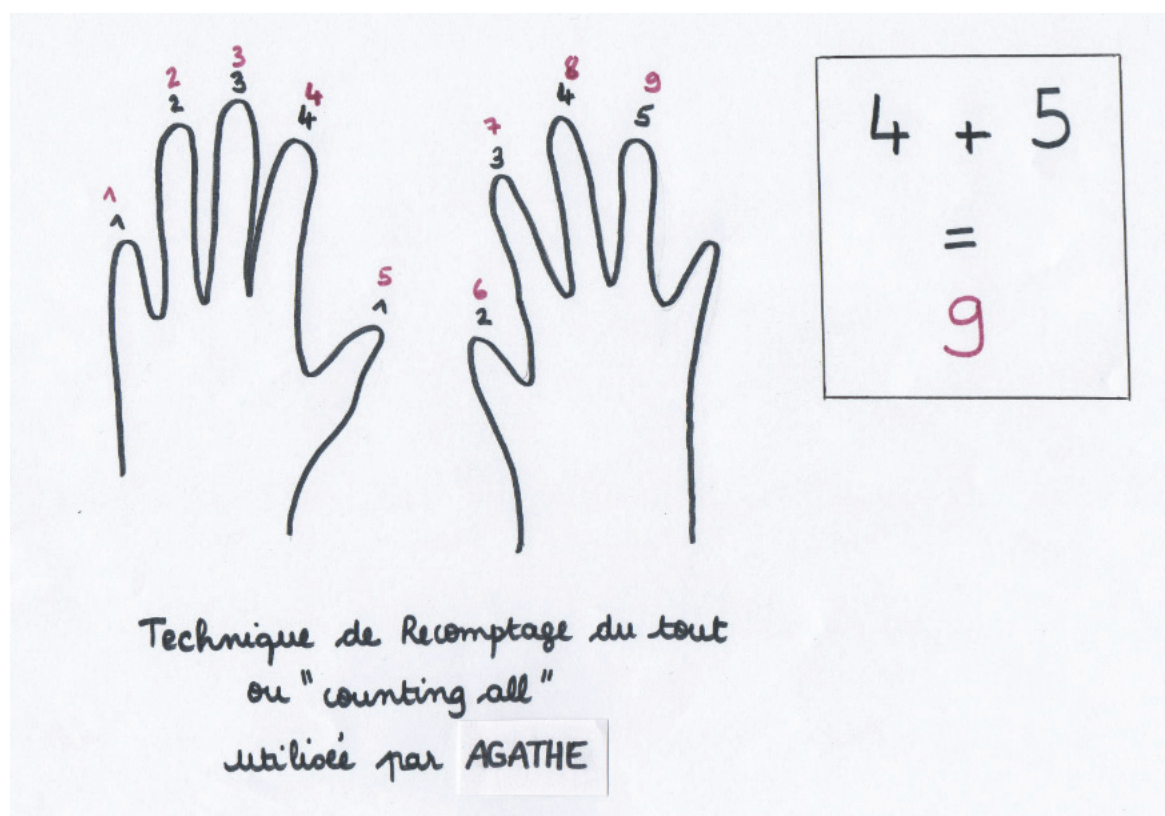
¹¹¹ DEHAENE & CHANGEUX, 1993.

¹¹² BRYSSBAERT, 1995 ; DEHAENE, 1997.

¹¹³ CHARLIER, HAGE & LEYBAERT, 2006.

Par exemple, pour réaliser « 4+5 », Agathe :

- représente 4 sur sa main gauche en comptant « 1,2,3,4 » à l'aide de son index de la main droite,
- puis elle ajoute 5 « 1,2,3,4,5 » doigts en plus (dont le pouce de la main gauche et 4 doigts de sa main droite).
- Puis elle recompte le tout, soit le nombre de doigts qu'elle a levés : « 1,2,3,4,5,6,7,8,9 : 9 ! »



Technique de recomptage du tout ou « counting all » utilisée par Agathe lors de l'opération « 4+5=9 » (ANNEXE XII)

Les items « 4+5 » et « 9+3 » sont donc réussis sur ce modèle.

L'item suivant, « 7+6 » est échoué, Agathe donnant la réponse « 7+6 = 12 » après recomptage du tout, se trompant lors de la manipulation des doigts supplémentaires aux dix doigts de ses mains.

Ce qui nous indique que le passage à la dizaine pose problème à Agathe, du fait que sa représentation des doigts ne soit plus concrètement manipulable (puisque le résultat dépassant les dix doigts de ses deux mains).

Elle change alors de technique pour les items suivants, « 11+4 », « 13+5 », « 23+4 » et « 82+6 » et nous explique « *mettre le premier nombre dans sa tête – elle joint le geste à son explication – et ajouter le nombre suivant à l'aide de ses doigts* » :

Ainsi, pour « 11+4 », Agathe procède de la façon suivante :

- le nombre 11 est gardé en mémoire
- elle représente le nombre 4 sur sa main gauche
- puis recompte à partir de 11 ses 4 doigts ainsi levés : « 12,13,14,15 : 15 ! »

Elle parvient, de cette manière, à réussir les items « 11+4 », « 13+5 », « 23+4 » et « 82+6 ». **Il s'agit d'une procédure évoluée de comptage du tout.**

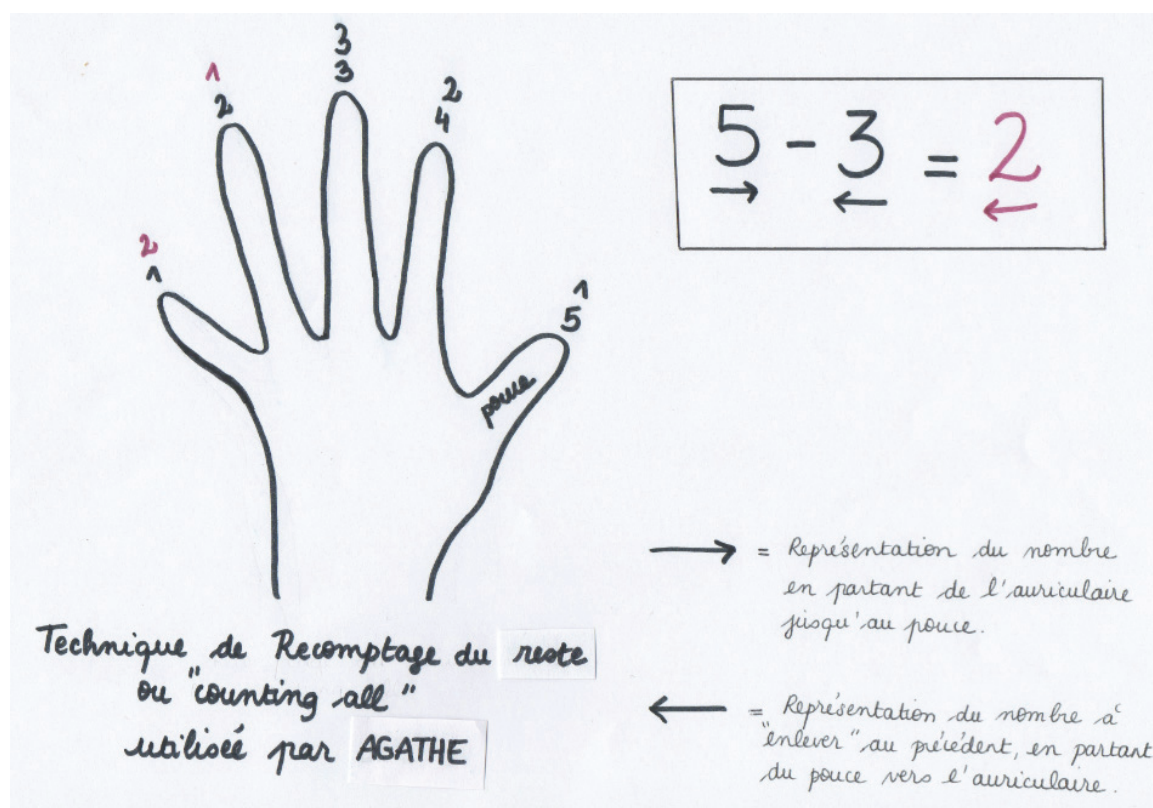
Par contre, les items suivants, soit « 67+6 » et « 47+4 » sont échoués avec le commentaire suivant : « *C'est trop dur, je n'y arrive pas !* ».

Ainsi, le logiciel nous permet de confirmer que le passage à la dizaine supérieure est encore impossible pour Agathe.

→ Concernant les épreuves testant la soustraction, il apparaît qu'elle procède également par comptage du reste, en utilisant toujours le support digital.

Ainsi pour le premier item « 5-3 », Agathe procède de la manière suivante :

- Elle représente le nombre 5 sur sa main gauche, en partant de l'auriculaire jusqu'au pouce
- Puis elle représente « moins 3 » en baissant trois doigts de sa main gauche à l'aide de sa main droite en débutant par le pouce (ou chiffre 5 pour elle) jusqu'au majeur (soit le chiffre 3 pour elle)
- Elle compte ainsi le nombre de doigts levés qu'il lui reste : l'annulaire et l'auriculaire, soit deux.
- Elle me dit : « C'est facile, c'est 2 ! »



Technique de recomptage du reste ou « counting all » utilisée par Agathe lors de l'opération « $5-3=2$ » (ANNEXE XIII)

Elle procède de la même manière pour l'item suivant « $7-4$ » qu'elle réussit.

A l'annonce de l'item « $14-6$ », Agathe s'exclame « Alors là c'est dur ... Je peux pas faire 14 avec mes mains ! ». Nous lui demandons comment elle pourrait faire alors. Et elle nous répond « Il me faut plus de mains ! » :

- Elle aligne ses deux mains sur la table, procède au comptage de ses doigts : « 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 » et continue en comptant les doigts d'une troisième main imaginaire sur la table, suivant le même alignement que les deux autres : « 11,12,13,14 ».
- Elle baisse ensuite les doigts correspondant au nombre « 6 » en débutant par les doigts de la main imaginaire mais se perd fatalement au milieu de sa manipulation en abaissant dix au lieu des six demandés, en les comptant à voix haute : « 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 ».
- Elle m'annonce alors, regardant bizarrement les doigts restants, « C'est 10 ! »

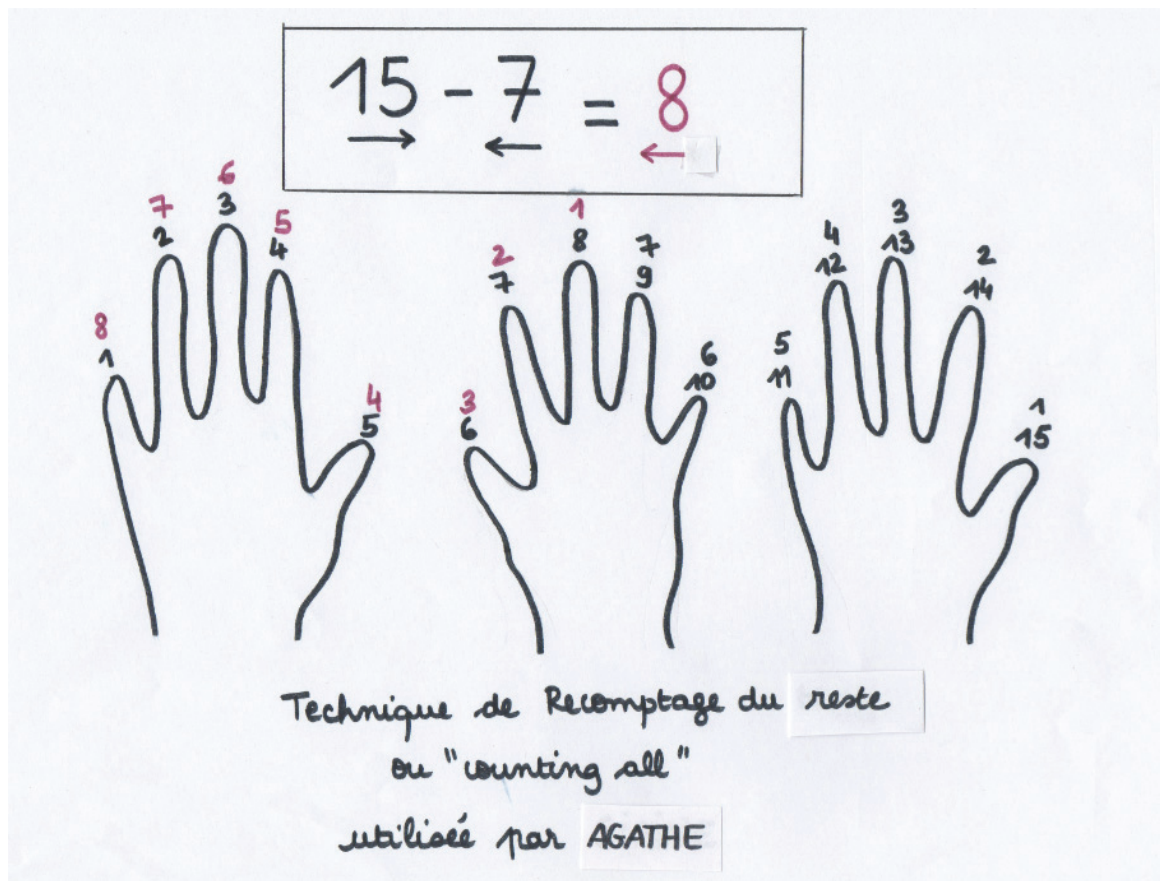
Quand nous lui demandons comment elle a fait pour trouver ce résultat, elle répond : « J'utilise la table en plus mais comme une main ! ».

Nous pensons que son échec est lié à la charge mnésique supplémentaire, qu'occasionne la visualisation de cette troisième main non présente sur la table, lui faisant perdre le fil de l'opération qu'elle est en train de réaliser. Elle énonce alors le cardinal correspondant au dernier mot-nombre du nombre qu'elle vient de représenter sur ses doigts, soit dix.

Pour les items suivants, soit « 12-4 » et « 15-7 », Agathe procède de la même manière que précédemment avec l'utilisation d'une troisième main qu'elle emprunte cette fois-ci à l'examineur, « *pour ne pas se tromper* ». Les trois mains étant ainsi représentées concrètement devant elle, elle parvient sans soucis à réaliser correctement sa technique de comptage du reste.

Pour « 15-7 », elle procède donc de la manière suivante :

- Elle aligne ses deux mains avec une des deux mains de l'examineur et procède au comptage du total de doigts : « 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 » en débutant à partir de l'auriculaire de sa main gauche.
- Elle baisse ensuite les doigts correspondant au nombre 7 : « 1,2,3,4,5,6,7 ».
- Et compte le nombre de doigts restants : « 1,2,3,4,5,6,7,8 ».
- Elle nous donne la réponse : « c'est 8 ! »



Technique de recomptage du reste ou « counting all » utilisée par Agathe lors de l'opération « 15-7 = 8 » (ANNEXE XIV)

Les items suivants « 19-7 » et « 17-4 » sont échoués puisque trop importants à manipuler. Agathe se perd dans ses manipulations digitales et nous donne des réponses erronées telles que « 0 », puis « 26 » pour « 19-7 ».

La réponse « 26 » donnée par Agathe en deuxième tentative est influencée par l'orthophoniste qui lui demande si elle se souvient comment elle faisait avant en mettant

le plus grand nombre « dans sa tête » : du coup Agathe revient à un procédé d'addition et traite l'item « 19-7 » comme « 19+7 ».

Ce qui prouve que **le passage à la dizaine inférieure perturbe vraiment le fonctionnement d'Agathe, rendant sa technique de recomptage du reste faillible**. Et, contrairement à l'addition où elle utilisait deux procédures de calcul mental différentes (le recomptage du tout et une technique de recomptage du tout évoluée), **elle n'est capable d'utiliser qu'une procédure (soit le recomptage du reste) pour la soustraction**.

→ Concernant l'épreuve testant le transcodage du code oral/écrit au code arabe à travers la dictée de nombres, il est réussi pour « vingt-sept », « quarante-cinq » et « cinquante-quatre » mais échoué pour « quatre-vingt-dix » qu'Agathe écrit « 70 ».

En effet, « quatre-vingt-dix » est le premier nombre phonologique traduisant une relation multiplicative (« quatre x vingt ») en plus d'une relation additive (« quatre-vingt + dix »), les autres nombres proposés à Agathe traduisant juste une relation additive :

- « **vingt-sept** » = relation additive « vingt + sept » = 2 primitives lexicales « unité » = 2 chiffres soit « 27 ».
- « **quarante-cinq** » = relation additive « quarante + cinq » = 2 primitives lexicales « dizaine » et « unité » = 2 chiffres soit « 45 »
- « **cinquante-quatre** » = relation additive « cinquante + quatre » = 2 primitives lexicales « dizaine » et « unité » = 2 chiffres soit « 54 »

De plus, il est le seul à comprendre 3 primitives lexicales : « quatre » (primitive lexicale nommée unité), « vingt » (primitive lexicale nommée dizaine), « dix » (primitive lexicale nommée dizaine) se traduisant seulement en deux chiffres : « 90 ».

Ainsi, dans la production du nombre phonologique « quatre-vingt-dix » elle reconnaît seulement la relation additive « quelque-chose-dix » et traduit donc par le seul nombre qu'elle connaît intéressant seulement une relation additive et se finissant par « quelque-chose-dix » : « soixante-dix », d'où sa réponse « 70 ».

Il apparaît donc **qu'Agathe ne maîtrise pas encore le concept de « relation multiplicative » intervenant au sein des primitives lexicales d'un nombre**, tout comme **elle n'est pas encore capable d'analyser chaque primitive lexicale composant le nombre**.

→ Concernant l'épreuve testant le transcodage du code oral/écrit au code arabe à travers la lecture, Agathe réussit pour « Quinze », « Vingt-trois » et « Quarante-cinq » mais échoue pour « Quatre-vingt-deux » qu'elle identifie comme « 72 ».

Cet item permet de confirmer les hypothèses précédentes, selon lesquelles Agathe ne concevrait et donc n'identifierait pas encore le concept de « relation multiplicative ».

Afin de tenter de comprendre le transcodage d'Agathe de « Quatre-vingt-deux » en « 72 », nous avons réalisé le schéma suivant :

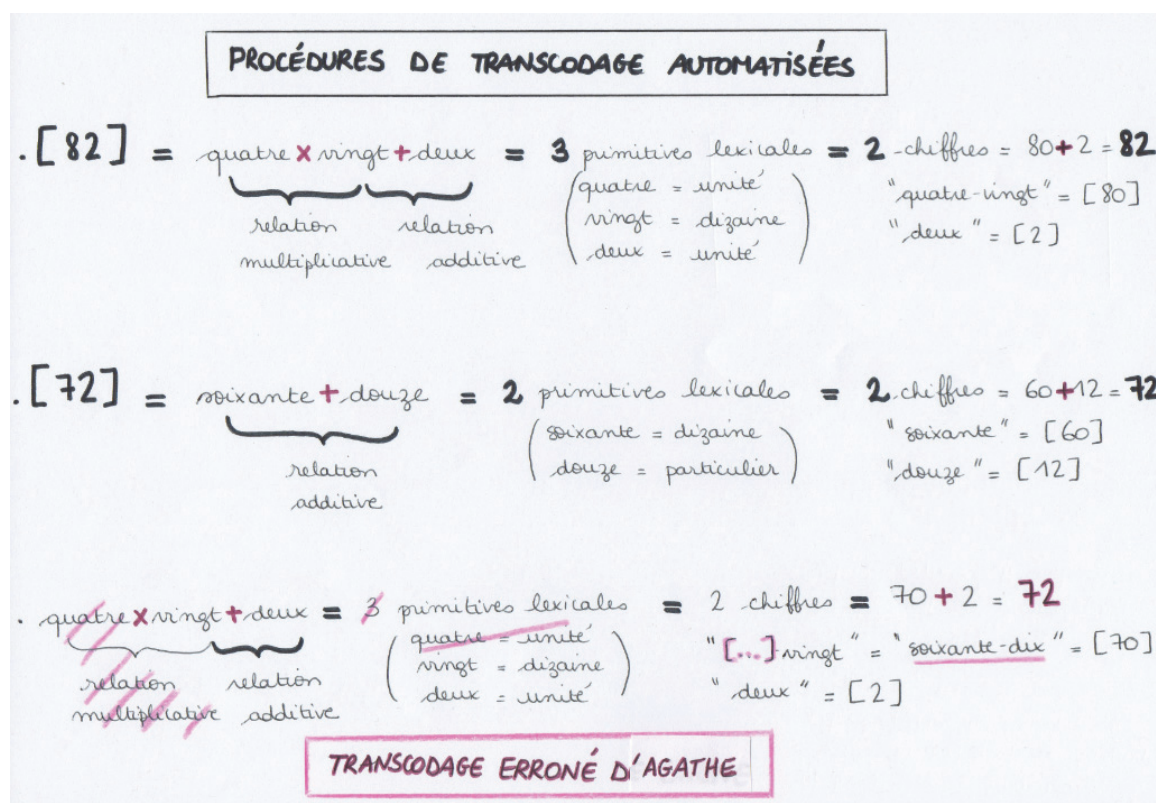


Schéma expliquant le transcodage erroné d'Agathe (ANNEXE XV)

Pour résumer :

- « quatre-vingt-deux » = une relation multiplicative (« quatre x vingt ») et une relation additive (« quatre-vingt + deux ») = 3 primitives lexicales pour seulement 2 chiffres : « 82 ». La combinaison du chiffre « 8 » représentant la dizaine « 80 » avec le chiffre « 2 » fait état de la relation additive : « 80 » + « 2 » = « 82 »
- « soixante-douze » = une seule relation additive (« soixante + douze ») = 2 primitives lexicales pour 2 chiffres : « 72 ». La combinaison du chiffre « 7 » représentant la dizaine « 70 » avec le chiffre « 2 » fait état de la relation additive : « 60 » + « 12 » = « 72 »

Aussi, nous supposons qu'Agathe ne pouvant concevoir la relation multiplicative au sein d'un nombre, **elle procède inconsciemment à son élimination au sein de « quatre-vingt-deux » pour obtenir « (...)vingt-deux » faisant apparaître juste 2 primitives lexicales (« ...-vingt » et « deux ») pour 2 chiffres.** Agathe procède donc à la combinaison de la primitive lexicale « ...-vingt » (qu'elle n'identifie pas à un nombre connu donc qu'elle remplace par le plus grand nombre qu'elle connaisse : « soixante-dix ») avec la primitive « deux », pour faire état de la relation additive transformée en « 70 » + « 2 » = « 72 ».

Une autre hypothèse envisageable serait une erreur de choix dans la pile des primitives lexicales (92, 82, 72) de la part d'Agathe, « soixante-douze » étant le premier nombre de la série irrégulière après 60.

Agathe étant scolarisée en CP, il lui est, en théorie¹¹⁴ possible d'écrire et de lire en chiffres arabes tous les nombres représentés seulement par des unités simples.

Il est donc tout à fait normal qu'elle ne parvienne pas encore à écrire et lire tous les nombres à deux chiffres, cette capacité apparaissant en Ce1 soit vers 7 ans, ses erreurs de transcodage révélant des difficultés d'ordre syntaxique (concernant les relations régissant les primitives lexicales) **et lexical** (elle n'identifie pas encore chaque primitive lexicale au sein d'un nombre phonologique, comme le prouve sa transformation de « quatre-vingt-deux » (= 3 primitives lexicales : deux unités et une dizaine) en « soixante-douze » (= 2 primitives lexicales : une dizaine et un particulier)).

3.3.2. Conclusions

Concernant l'investigation des aptitudes numériques, au niveau du comptage oral Agathe maîtrise la comptine numérique jusqu'à 39 et se situe au début du niveau de la chaîne numérable ou dénombrable.

Agathe **ne possède pas encore tous les principes régissant le dénombrement** : en effet, le principe de correspondance terme à terme n'est pas encore acquis (puisque Agathe se trompe en dénombrant 20 objets au lieu des 19 demandés). *En seconde investigation il serait également intéressant de tester le principe d'abstraction, non évalué par le logiciel.*

Il est également important de noter qu'Agathe possède de **bonnes capacités à subitiser** une collection de 5 éléments.

Il apparaît à travers l'épreuve « Situer n sur une ligne de longueur m avec $n < m$ » proposée par le logiciel, qu'Agathe **ne possède pas encore le « sens » du nombre**. La conservation des quantités continues et discontinues, le passage au symbolisme et l'équivalence n'ayant pas été testés par le logiciel seront à investiguer lors d'épreuves complémentaires avec Agathe.

Ses **capacités de transcodage du code phonologique (oral) ou orthographique (écrit) au code arabe**, que ce soit en écriture (dictée de nombres) ou en lecture, montrent des **difficultés d'identification des primitives lexicales composant les nombres à partir de 2 chiffres**, comme une **difficulté de concevoir la relation multiplicative**. Ainsi les processus de transcodage ne sont pas encore totalement mis en place.

En ce qui concerne le calcul mental, Agathe se situe au tout début de son **apprentissage**, utilisant seulement deux procédures archaïques (*apparaissant avant le surcomptage*) pour l'addition (le **comptage du tout grâce à l'utilisation de la suite numérique, et le comptage du tout évolué**) pour une seule procédure pour la soustraction (uniquement le **comptage du reste**). Ces stratégies ne lui permettant pas, actuellement,

¹¹⁴ Se référer au Chapitre II, paragraphe 3.2.2 intitulé « le système phonologique » de ce mémoire.

de résoudre des opérations comprenant un passage par la dizaine supérieure ou inférieure.

3.3.3. Comptes rendus édités par le logiciel

a. Le compte rendu Word

Le compte rendu exploité sous un document Word¹¹⁵ édité par MathEval, indique que la passation d'Agathe s'est déroulée en 26 minutes, qu'elle compte correctement jusqu'à 39 et qu'elle se situe au stade 4 au moins en ce qui concerne la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable. « La chaîne numérique n'est plus uniquement une succession de nombres ordinaux ; chaque mot-nombre évoque aussi son cardinal. Agathe est dotée des compétences nécessaires pour être en mesure de résoudre des opérations par surcomptage (compter x à partir de y). »

Il confirme également que le comptage par pas de 10 est réussi jusqu'à 50 mais que par contre, le comptage par pas de 2 et 5 ainsi que le comptage à rebours sont échoués.

Du point de vue des stades de dénombrement selon Gelman & Gallistel, le logiciel considère qu'Agathe possède toutes les acquisitions.

De même, il apparaît qu'Agathe subitise correctement jusqu'à 5 éléments mais pas d'avantage ; le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour 1 doigts, pouce et index pour 2 doigts, etc.) est possible jusqu'à sept doigts au moins (non testé au-delà).

En calcul mental, le rapport stipule qu'Agathe ne maîtrise pas les additions nécessitant un passage par la dizaine mais réussit les additions du type DU+U jusque 100 mais sans passage de classe (par exemple : « $47+4$ » est échoué).

Concernant les soustractions, Agathe réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine (exemple : « $15-7$ ») mais SANS utiliser un algorithme correct, c'est-à-dire généralisable, mais échoue à soustraire deux nombres dont le résultat se situe entre 10 et 15 (exemple : $17-4$).

Le rapport conclut sur la capacité d'Agathe d'écrire les nombres arabes jusqu'à 55 environ avec des erreurs concernant les nombres suivants et sur le fait que la lecture de nombres arabes à 2 chiffres, tout en étant parfois réussie, n'est pas vraiment maîtrisée.

¹¹⁵ Annexe XIV : Compte rendu Word d'Agathe

b. Le compte rendu « Text Edit »

Un **document « Text Edit »**¹¹⁶ est également édité par le logiciel, qui reprend l'ensemble des items proposés par le logiciel à Agathe avec la mention « Ok » pour signifier ses réussites et la mention « Echoué » pour signifier ses échecs pour chaque item (*voir pages annexes*).

c. Le compte rendu Excel

Le troisième rapport édité par le logiciel à la fin de la passation est un **document Excel**¹¹⁷ présentant les résultats obtenus par Agathe aux différents sous-tests (*durée du test, gnoses digitales, comptine simple, manipulation de la chaîne numérique, dénombrement, subitizing, « sens » des nombres, additions, soustractions, écriture et lecture des nombres arabes*) ramenés en Centiles puis en écarts-types sous la forme d'un tableau, en référence aux normes CP (ou 1P).

La passation d'Agathe ayant duré 26 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique, le tableau nous indiquant une fréquence cumulée égale à 100 signifiant qu'Agathe fait partie de moins des 1% des enfants les plus lents à ce test.

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique **qu'Agathe se situe clairement dans le pathologique concernant la manipulation de la chaîne numérique (-1,9 σ) et le « sens » des nombres (-3 σ).**

Il fait également apparaître qu'elle frôle le pathologique concernant la comptine simple (-1,1 σ), le dénombrement (-1,1 σ) et les additions (-0,9 σ), et qu'elle est bien en dessous de la moyenne aux sous-tests subitizing (-0,5 σ), écriture des nombres arabes (-0,5 σ) et lecture des nombres arabes (-0,7 σ).

Son profil est plutôt très homogène : elle se situe systématiquement en dessous de la moyenne (pour tous les domaines testés) et entre le pathologique qu'elle atteint pour la manipulation de la chaîne numérique et le « sens » des nombres. Elle n'obtient aucun résultat la situant dans la moyenne ou au dessus.

Etant scolarisée en CP et ses résultats étant soumis aux normes du CP, il apparaît qu'elle ne possède pas une grande partie des prérequis demandés à un élève de CP.

¹¹⁶ Annexe XV : Compte rendu « Text Edit » d'Agathe

¹¹⁷ Annexe XVI : Compte rendu Excel d'Agathe (Normes CP)

3.3.4. Comparaison observations personnelles et comptes rendus MathEval

Si nous comparons nos observations personnelles (recueillies pendant la passation) au compte rendu Word édité par MathEval en fin de passation, nous nous apercevons que le rapport édité par le logiciel, tout en reprenant l'ensemble des épreuves proposées en les insérant dans les principaux domaines testés, situe Agathe en fonction de ses résultats à différents stades ou niveaux d'acquisition intéressants les différents domaines menant au nombre.

Aussi, il apparaît que nous ne sommes pas d'accord sur certains points :

- **concernant le dénombrement**, notamment le principe de correspondance terme à terme : selon nous Agathe n'a pas encore acquis ce principe puisqu'elle s'est trompée en dénombrant 20 ronds verts au lieu des 19 présentés, ce qui implique une *mauvaise coordination entre le geste de pointage et le comptage oral et donc un principe de correspondance terme à terme en voie d'acquisition seulement*.
- **Concernant le calcul mental**, et plus particulièrement les soustractions : le rapport constate qu'Agathe « réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine mais SANS utiliser un algorithme correct, c'est-à-dire généralisable », *or l'item « 14-6 » est échoué*.

Toutefois, malgré ces différences d'interprétation liées à une analyse propre au thérapeute, il est intéressant de constater que logiciel permet une bonne description du fonctionnement d'Agathe.

Le rapport Excel, quant à lui, fait clairement apparaître qu'Agathe présente un profil homogène, ses résultats se situant entre le pathologique et la moyenne, qu'elle n'atteint jamais. Le rapport Excel se révèle ainsi être en totale adéquation avec nos observations précédentes.

Cela nous fait nous interroger sur l'existence d'un trouble d'apprentissage spécifique du nombre chez Agathe qui mériterait d'être investigué de manière plus vaste à l'occasion d'un bilan logico-mathématique.

Nous préconisons donc, à la suite de ce test, la passation complète d'un bilan logico-mathématique, comme nous l'avons détaillé en première partie de ce mémoire (anamnèse / investigation des outils fondamentaux : espace, temps, langage, images mentales / investigation logique des structures de pensée : classification, sériation, permanence des quantités, compréhension du tout et de ses parties, résolution de problèmes / investigation du langage).

3.4. Cas des 5 autres enfants

Parmi les 8 enfants testés avec le logiciel MathEval nous nous sommes donc penchée en détails sur 3 d'entre eux : les passations de Julie, Léa et Agathe.

Toutes les trois n'étaient pas suivies pour troubles du raisonnement logico-mathématique mais leur orthophoniste trouvait intéressant, au vu de leur pathologie commune dyslexie/dysorthographe, de les tester, le temps d'une séance, dans ce domaine.

Après passation, il s'avère que toutes les trois nécessiteraient un bilan logico-mathématique plus complet.

Mais qu'en est-il des 5 autres enfants ?

3.4.1. Cas de Maxence, 9 ans et 2 mois, CE2

Maxence est un jeune garçon appliqué, suivi en orthophonie pour dysorthographe. Il est âgé de 9 ans et 2 mois et a redoublé son CE1.

a. Compte rendu Word

Le compte rendu Word nous indique que le test a été effectué en 16 minutes. Maxence connaît totalement la comptine numérique, se situe au moins au stade 4 sur 5 possibles de la chaîne numérique et le comptage par pas comme le comptage à rebours sont automatisés.

Du point de vue des stades de dénombrement selon Gelman & Gallistel, le logiciel considère que Maxence possède toutes les acquisitions.

De même, il apparaît que Maxence subitise correctement jusqu'à 5 éléments et maîtrise les additions jusque 10000, les algorithmes utilisés étant corrects. *« Notons que les additions présentées ont l'avantage de fournir des indications fiables sur les compétences en jeu tout en minimisant la charge en mémoire de travail. Les nombres à additionner sont, en effet, visibles et leur structure n'est pas inutilement complexe. C'est la raison pour laquelle il n'y a pas d'opération du type « $387+469$ » par exemple. »*

Maxence maîtrise également les soustractions impliquant des nombre jusque 10000 et l'écriture comme la lecture des nombres arabes ne semblent pas lui poser de problème.

b. Compte rendu Excel

Résultats au test MathEval



Maxence
Troisième Primaire (CE2)
04/04/14
Référence aux Normes CE1 (2P)

	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	16	77	111	0,7
Gnosies digitales	14	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	7	96	127	1,8
Manipulation de la chaîne numérique(*)	44	79	112	0,8
Dénombrement(*)	12	56	102	0,1
Subitizing(*)	12	19	87	-0,9
"Sens" des nombres	21	97	91	-0,6
Additions	48	84	115	1,0
Soustractions	44	87	117	1,1
Ecriture des nombres arabes	22	98	132	2,1
Lecture des nombres arabes	10	95	124	1,6
Total au test MathEval	220	49	100	0,0



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

La passation de Maxence ayant duré 16 minutes, celle-ci le situe en dessous de la moyenne, le tableau (en référence aux normes CE1 (ou 2P)) nous indiquant une fréquence cumulée égale à 77 signifiant que **Maxence fait partie des 23% des enfants les plus lents à ce test.**

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique que **Maxence se situe globalement au-dessus de la moyenne mais en dessous pour le subitizing (-0,9 σ) et le « sens » des nombres (-0,6 σ).** Il fait également apparaître qu'il est juste au dessus de la moyenne au sous-test dénombrement (0,1 σ).

Sachant qu'il est actuellement scolarisé en CE2 et que ses résultats sont normés pour le CE1, il apparaît qu'il ne possède pas les aptitudes en « sens » des nombres et en subitizing attendus chez un enfant de CE1.

c. Conclusions

Au regard des deux comptes rendus édités par le logiciel, agrémentés de nos observations cliniques, **il ressort que Maxence, malgré des résultats en dessous de la moyenne concernant le subitizing et le sens des nombres, ne semble pas nécessiter une prise en charge orthophonique pour troubles du raisonnement logico-mathématique.**

3.4.2. Cas de Maëlle, 9 ans, Ce2

Maëlle est une jeune fille déjà suivie en orthophonie pour trouble du raisonnement logico-mathématique depuis octobre 2013. Elle est actuellement en classe de CE2 après avoir redoublé son CE1. C'est une jeune fille très espiègle qui n'a pas hésité à répondre au test avec quelques petites pointes d'humour.

a. Compte rendu Word

Le compte rendu Word nous indique que le test a été effectué en 33 minutes, que Maëlle connaît totalement la comptine numérique et se situe au stade 4 au moins de la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable.

Le comptage par pas de 5 et 10 sont réussis, comme le comptage à rebours, par contre **le comptage par pas de 2 n'est pas réussi.**

→ Nos observations : En effet, Maëlle se trompe en passant de 16 à 19.

Concernant l'acquisition des stades de dénombrement (selon Gelman & Gallistel), il apparaît que **le principe de non pertinence de l'ordre n'est pas encore acquis par Maëlle.**

→ Nos observations : En effet elle nous donne la bonne réponse, soit « Il y en a 20 aussi en comptant à partir de la gauche » mais quand nous lui demandons pourquoi, sa réponse n'est pas claire : « Sinon ça aurait fait 19 si t'enlèves 1 ».

Il apparaît également que Maëlle subitise correctement au moins six éléments présentés de manière aléatoire.

Concernant les additions portant sur des nombres inférieurs à 20, le rapport nous indique que Maëlle réussit les additions impliquant un passage par la dizaine mais SANS utiliser un algorithme correct. De plus, une addition du type « $8+7$ » est réussie soit par surcomptage, soit en utilisant un procédé du type « $8+8-1$ ». Par ailleurs Maëlle réussit les additions du type DU+U jusque 100 mais sans passage de classe (par exemple, « $47+4$ » est échoué.

→ Nos observations : Effectivement Maëlle réussit les additions portant sur des nombres inférieurs à 20 impliquant un passage par la dizaine (comme « $8+7$ ») **par surcomptage : 8-9-10-11-12-13-14-15**, en nous donnant l'explication suivante : « Parce que je rajoute 7 doigts ». **Il est également intéressant de noter que pour l'item « $3+6$ » Maëlle a eu recours à la multiplication « 3×3 ».** Concernant les additions portant sur des nombres supérieurs à 20 et inférieurs à 100 impliquant un passage par la dizaine (comme « $67+6$ ») **ils sont réussis par Maëlle mais considérés comme échoués par le logiciel puisque ayant nécessité un surcomptage.**

Le rapport nous informe ensuite qu'en calcul mental Maëlle réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine (exemple : « $15-7$ ») mais SANS utiliser un algorithme correct, soit généralisable. D'autre part, elle réussit les soustractions sans

passage de classe du type DU-U portant sur des nombres inférieurs à 100 (exemple : « 67-4 » mais échoue si l'opération nécessite un passage de classe (exemple : « 45-7 »).

→ Nos observations : Concernant les soustractions, nous observons que Maëlle les exécute par **décomptage, parfois erroné** (pour l'item « 19-7 » elle réalise un mauvais décomptage en nous donnant la réponse « 11 », erreur qui se produit à deux reprises), ce qui la fait échouer aux items impliquant un passage de classe sur des nombres inférieurs à 100. Nous observons également que, pour les soustractions uniquement, Maëlle procède par décomptage manuel, en représentant les petites quantités sur ses doigts (ainsi pour résoudre l'item « 7-4 », elle représente 7 à l'aide des cinq doigts de sa main gauche et de deux doigts de sa main droite puis « couche » quatre doigts sur les cinq doigts de sa main gauche, de manière à obtenir 3 avec le pouce de sa main gauche et les deux doigts de sa main droite).

Concernant l'écriture des nombres arabes, le rapport nous révèle que cela ne semble poser aucun problème à Maëlle. Elle semble également maîtriser la lecture des nombres arabes à 3 chiffres avec structure additive mais semble échouer si la structure est multiplicative. Seule, la lecture de nombres à 3 chiffres (et en deçà) est réellement maîtrisée.

→ Nos observations : Effectivement, l'écriture des nombres arabes ne semble pas poser de problème à Maëlle. Par contre, la lecture des nombres arabes est compliquée quand elle implique des nombres à 4 chiffres, comme « huit mille quatre cent vingt-neuf » que Maëlle identifie comme « 840029 », erreur nous indiquant **qu'elle ne maîtrise pas encore l'opération de surécriture et des règles qu'elle implique mais qu'elle la confond avec l'opération de concaténation** :

$\text{« huit mille quatre cent vingt-neuf »} = (\text{huit} \times \text{mille}) + (\text{quatre} \times \text{cent}) + \text{vingt} + (\text{neuf} \times \text{un}) = (8 \& 1000) \# (4 \& 100) \# 20 \# (9 \& 1) = 8000 \# 400 \# 20 \# 9 = 8400 \# 29 = 8429$
--

$\text{Transcodage de Maëlle : } (\text{huit} \times \text{mille}) + (\text{quatre} \times \text{cent}) \times (\text{vingt} + \text{neuf}) = (8 \& 1000) \# (4 \& 100) \& (20 \# 9) = (8000 \# 400) \& 29 = 8400 \& 29 = 840029$

Effectivement, Maëlle remplace l'opération de surécriture (#) intervenant entre « huit mille quatre cent » et « vingt-neuf » par l'opération de concaténation (&), erreur entraînant l'écriture de zéros surnuméraires : 84**00**29.

Pour l'item « deux mille cinq », Maëlle nous indique la bonne réponse (2005) en nous apportant l'explication suivante : « Facile, mon année de naissance c'est 2004 ! ».

Ce qui nous permet de dire que **les processus de transcodage ne sont pas encore totalement mis en place chez Maëlle**.

b. Compte rendu Excel

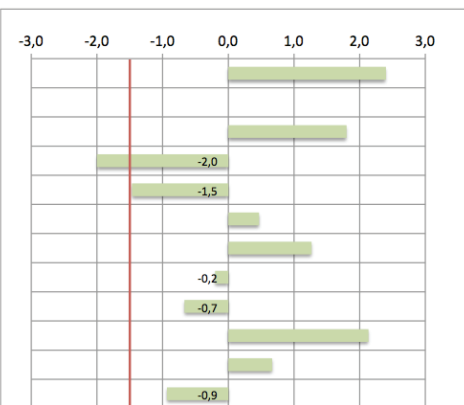
Résultats au test MathEval



Marc Heremans
<http://matheval.new.fr/>

Maëlle
Troisième Primaire (CE2)
23/04/14
Référence aux Normes CE1 (2P)

	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	33	100	136	2,4
Gnosies digitales	14	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	7	96	127	1,8
Manipulation de la chaîne numérique(*)	39	2	70	-2,0
Dénombrement(*)	10	7	78	-1,5
Subitizing(*)	13	69	107	0,5
"Sens" des nombres	26	97	119	1,3
Additions	36	22	97	-0,2
Soustractions	30	25	90	-0,7
Écriture des nombres arabes	22	98	132	2,1
Lecture des nombres arabes	8	74	110	0,7
Total au test MathEval	191	18	86	-0,9



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

La passation de Maëlle ayant duré 33 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique (-2σ), le tableau (en référence aux normes CE1 (ou 2P)) nous indiquant une fréquence cumulée égale à 100 signifiant que **Maëlle fait partie de moins des 1% des enfants de CE1 les plus lents à ce test.**

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique que **Maëlle se situe dans le pathologique concernant la manipulation de la chaîne numérique (-2σ) et le dénombrement ($-1,5\sigma$) et en dessous de la moyenne pour les soustractions ($-0,7\sigma$) et les additions ($-0,2\sigma$).** Il fait également apparaître qu'elle se situe au dessus de la moyenne aux autres sous-tests : subitizing ($0,5\sigma$), « sens » des nombres ($1,3\sigma$), écriture des nombres arabes ($2,1\sigma$) et lecture des nombres arabes ($0,7\sigma$), avec cependant une différence significative entre les deux derniers.

Ces résultats sont en totale adéquation avec nos observations précédentes.

Sachant que Maëlle est actuellement scolarisé en CE2 et que ses résultats au test sont normés pour le CE1, il apparaît très clairement qu'elle ne possède pas une grande partie des aptitudes attendues au CE1 et se situe déjà dans le pathologique concernant le dénombrement et la manipulation de la chaîne numérique.

c. Conclusions

Au regard des deux comptes rendus édités par le logiciel, agréments par nos observations cliniques, **il ressort qu'une prise en charge pour troubles du raisonnement logico-mathématiques doit être envisagée pour Maëlle, notamment**

dans les domaines propres au nombre, afin de travailler en profondeur la manipulation de la chaîne numérique et le dénombrement mais également pour renforcer les procédures de calcul (additions et soustractions) de Maëlle.

Ces résultats sont également en adéquation avec les conclusions de l'orthophoniste de Maëlle suite au dernier bilan datant d'octobre 2014 qui a révélé qu'une prise en charge orthophonique dans le cadre de troubles du raisonnement logico-mathématique semblait « indiqué pour Mathilde, permettant de renforcer les structures déjà en place et de développer les outils indispensables au raisonnement mathématique. »

En effet, « les épreuves proposées à Maëlle lors de ce bilan ont révélé des troubles du raisonnement logico-mathématique, notamment en ce qui concerne les outils logico-mathématiques et les opérations infra-logiques. Les structures logiques attendues pour son âge n'étant pas encore acquises. Parallèlement à cela, le bilan du nombre est de bonne qualité mais Maëlle, dans une situation de problème, a du mal à utiliser ses connaissances numériques du fait de difficultés dans le raisonnement logique. »

3.4.3. Cas de Mathilde, 9 ans et 6 mois, Ce2

Mathilde est une jeune fille déjà suivie en orthophonie pour troubles du raisonnement logico-mathématique depuis janvier 2014. Elle est âgée de 9 ans et 6 mois, actuellement scolarisée en CE2 après avoir redoublé son CP. Elle nous paraît très timide et un peu en retrait lors de la passation.

a. Compte rendu Word

Le compte rendu Word nous indique que le test a été effectué en 28 minutes, que Mathilde connaît totalement la comptine numérique et se situe au stade 4 au moins de la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable.

Le comptage par pas de 2, 5 et 10 (jusque, respectivement 70, 40 et 100) ainsi que le comptage à rebours sont automatisés.

→ Nos observations : Nous notons une grande lenteur d'exécution des consignes, ne nous permettant pas de savoir si cette lenteur témoigne d'un processus de résolution intermédiaire (comme se réciter la comptine numérique dans sa tête et ne dire à voix haute que les nombres correspondants aux pas demandés) ou simplement d'une tâche cognitive importante pour Mathilde.

Concernant l'acquisition des stades de dénombrement (selon Gelman & Gallistel), il apparaît que Mathilde possède les différents principes régissant le dénombrement.

→ Nos observations : En effet elle parvient à nous donner la bonne réponse concernant le principe de non pertinence de l'ordre à l'aide de l'argument d'identité après deux essais.

Il apparaît également que Mathilde subitise correctement jusqu'à cinq éléments.

Concernant les additions, le rapport nous indique que Mathilde maîtrise (les algorithmes utilisés étant corrects) les additions du type DU + DU jusque 100 excepté s'il y a passage de classe (par exemple : « $38 + 23$ » est échoué) ; elle réussit également les additions de type DU + U avec passage de classe (exemple : « $85 + 7$ »).

→ Nos observations : **De façon générale, Mathilde procède avec une grande lenteur, liée en partie au surcomptage qu'elle met en place pour les additions de nombres inférieurs à 20.** Cependant **quelques automatismes de calcul apparaissent**, comme en témoigne son échec à l'item « $23 + 4$ » auquel elle répond « 28 » presque aussitôt (confusion avec l'opération « $23 + 5 = 28$ »). Mathilde semble effectivement réussir les additions de type DU + U avec passage de classe, mais grâce au surcomptage, puisque l'item « $67+6$ » est réussi. Par contre, les additions de type DU + DU sont échouées dès qu'il y a passage de classe (avec erreur d'une unité, exemples : « $67 + 25 = 93$ » et « $38 + 23 = 62$ »).

Le rapport nous informe ensuite qu'en calcul mental Mathilde réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine (exemple : « $15-7$ ») mais SANS utiliser un algorithme correct, soit généralisable. D'autre part, elle réussit les soustractions sans passage de classe du type DU-U portant sur des nombres inférieurs à 100 (exemple : « $67-4$ ») mais échoue si l'opération nécessite un passage de classe (exemple : « $45-7$ »).

→ Nos observations : Nous observons que Mathilde réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine pour des nombres inférieurs à 20 **grâce au décomptage** mais échoue effectivement aux soustractions impliquant un passage de classe de type DU-U sur des nombres inférieurs à 100.

Concernant l'écriture des nombres arabes, le rapport nous révèle que Mathilde est capable d'écrire des nombres arabes à 4 chiffres mais commet encore des erreurs, même pour des nombres relativement simples, tels que 1050, par exemple. L'écriture des nombres arabes à 3 chiffres est, quant à elle, maîtrisée.

Le rapport conclut enfin sur le fait que Mathilde semble maîtriser la lecture des nombres arabes à 3 chiffres mais pas au-delà.

→ Nos observations : Il apparaît que Mathilde échoue à écrire et lire correctement des nombres arabes à 4 chiffres impliquant une opération de surécriture dont elle ne connaît manifestement pas encore les règles d'utilisation. Ainsi « mille cinq cent » est écrit « 10500 », « mille cinquante » est écrit « 10050 » alors que « mille cinq » est correctement écrit :

« mille cinq » = (mille) + (cinq) = $1000 + 5 = 1005$

« mille cinquante » = (mille) + (cinquante) = $1000 + 50 = 10050$ (invention d'une nouvelle règle de surécriture par Mathilde que l'on pourrait nommer « surécrire uniquement le zéro final »)

« mille cinq cent » = (mille) + (cinq x cent) = 1000 # (5 & 100) = 10500 (application d'une nouvelle règle de surécriture aberrante par Mathilde que l'on pourrait nommer « surécrire les deux zéro finalés »)

Nous pouvons expliquer de la même façon ses erreurs intéressant la lecture des nombres « huit mille quatre cent vingt neuf » en « 800040029 » (correspondant en une simple juxtaposition de chaque terme) et « deux mille cinq » en « 20005 » : **Mathilde ne maîtrise pas encore les règles d'écriture d'un nombre à 4 chiffres impliquant l'opération de surécriture, donc elle tatonne en inventant de nouvelles règles aberrantes comme « surécrire le zéro ou les deux zéro finalés » ou « juxtaposer chaque terme » (« huit & mille » / « quatre & cent » / « vingt # neuf » = soit 8000 / 400 / 29 = 800040029) comme le sous-entend l'oral ».**

b. Compte rendu Excel

Résultats au test MathEval



Mathilde
Troisième Primaire (CE2)
15/04/14
Référence aux Normes CE1

	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	28	100	136	2,4
Gnosies digitales	14	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	7	96	127	1,8
Manipulation de la chaîne numérique(*)	42	34	94	-0,4
Dénombrement(*)	12	56	102	0,1
Subitizing(*)	12	19	87	-0,9
"Sens" des nombres	23	97	100	0,0
Additions	39	38	95	-0,3
Soustractions	33	28	91	-0,6
Ecriture des nombres arabes	18	45	98	-0,1
Lecture des nombres arabes	7	49	100	0,0
Total au test MathEval	193	18	86	-0,9

Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

La passation de Mathilde ayant duré 28 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique (-2,4 σ), le tableau (en référence aux normes CE1 (ou 2P)) nous indiquant une fréquence cumulée égale à 100 signifiant que **Mathilde fait partie de moins des 1% des enfants de CE1 les plus lents à ce test.**

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique que **Mathilde se situe globalement en dessous de la moyenne notamment pour la manipulation de la chaîne numérique (-0,4 σ), le subitizing (-0,9 σ), les additions (-0,3 σ), les soustractions (-0,6 σ) et l'écriture des nombres arabes (-0,1 σ).** Il fait également apparaître qu'elle se situe juste dans la moyenne aux sous-tests dénombrement (0,1 σ), « sens » des nombres et lecture des nombres arabes.

Ces résultats sont en adéquation avec nos observations précédentes.

Sachant que Mathilde est actuellement scolarisé en CE2 et que ses résultats au test sont normés pour le CE1, il apparaît très clairement qu'elle ne possède pas une grande partie des aptitudes attendues au CE1.

c. Conclusions

Au regard des deux comptes rendus édités par le logiciel, agrémentés par nos observations cliniques, **il ressort qu'une prise en charge pour troubles du raisonnement logico-mathématiques pourrait être envisagée pour Mathilde, notamment dans les domaines propres au nombre**, afin de travailler en profondeur la manipulation de la chaîne numérique, le « sens » des nombres, le subitizing mais également pour renforcer les procédures de calcul (additions et soustractions) et de transcodage (écriture et lecture des nombres arabes) de Mathilde.

Ces résultats sont également en adéquation avec les conclusions de l'orthophoniste de Mathilde suite au dernier bilan datant de janvier 2014 qui a révélé qu'une prise en charge orthophonique dans le cadre de troubles du raisonnement logico-mathématique semblait « **indiqué pour Mathilde, permettant de renforcer les structures déjà en place et de développer les outils indispensables au raisonnement mathématique.** »

3.4.4. Cas de Chloé, 8 ans et 6 mois, CE1

Chloé est une petite fille de 8 ans et 6 mois qui redouble son CE1. Elle est actuellement suivie pour dyslexie dysorthographe en orthophonie. Elle nous est apparue comme une petite fille très studieuse et posée, prenant son temps avant de donner une réponse.

a. Compte rendu Word

Le compte rendu Word nous indique que le test a été effectué en 27 minutes, que Chloé connaît totalement la comptine numérique et se situe au stade 4 au moins de la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable.

Le comptage par pas de 2, 5 et 10 (jusque, respectivement 22, 40 et 100) ainsi que le comptage à rebours sont automatisés.

Concernant l'acquisition des stades de dénombrement (selon Gelman & Gallistel), il apparaît que Chloé possède les différents principes régissant le dénombrement.

Il apparaît également que Chloé subitise correctement jusqu'à cinq éléments.

→ Nos observations : Concernant les items testant **le « sens » des nombres, ceux-ci sont échoués par Chloé**. En effet, pour situer 9 sur une ligne de « longueur 10 », Chloé

désigne le trait correspondant à 6, puis pour situer 1 sur une ligne de « longueur 10 », elle désigne un endroit entre 0 et le trait correspondant à 1.

Concernant les additions, le rapport nous indique que Chloé maîtrise (les algorithmes utilisés étant corrects) les additions du type DU + DU jusque 100 même s'il y a passage de classe (par exemple : « $38 + 23$ » est réussi). Les additions simples impliquant des nombres à trois chiffres sont réussies (exemple : « $401 + 325$ ») ; mais pas celles qui impliquent des passages de classe sur les dizaines (exemple : « $471 + 40$ »).

→ Nos observations : Effectivement, les additions de type DU + DU jusque 100 sont réussies par Chloé même s'il y a passage de classe. Quand nous lui demandons de nous expliquer son calcul, **Chloé nous révèle ne pas procéder par surcomptage mais par regroupement de « piles » ou classes** (exemple : $13 + 5 = 10 + (3+5) = 18$) **et/ou par décomposition de chaque terme** (exemple : $8 + 7 = (5+3) + (5+2) = (5+5) + (3+2) = 10 + 5 = 15$). Cependant, pour les additions impliquant des nombres à 3 chiffres, **Chloé s'emmêle les pinceaux dès qu'il s'agit d'une addition de type CDU + DU** :

« $401 + 325 = 826$ » : **erreur de calcul dans la pile des centaines**

« $471 + 40 = 861$ » : **confusion de classe entre le premier chiffre à gauche du premier nombre (centaine) et le premier chiffre à gauche du second nombre (dizaine) qu'elle apparente à une centaine**

« $180 + 30 = 480$ puis 111 » : Idem que pour l'item précédent, **Chloé transforme « 30 » en « 300 »** pour donner le résultat « 480 » puis se ravise et calcule de la sorte : $180 + 30 = 100 + (8+3) = 100 + 11 = 111$ où **elle se trompe de classe pour « 80 » et « 30 » les transformant en simples unités.**

Alors que les items « $300 + 102$ » et « $501 + 203$ » sont réussis.

Nous pouvons donc en déduire que la catégorisation, permettant d'extraire les informations lexicales, à savoir la classe lexicale (ou pile) et la position dans la pile de chaque primitive, fait défaut à Chloé dans la tâche d'addition de nombres à 3 chiffres de type CDU + DU.

Le rapport nous informe ensuite qu'en calcul mental Chloé réussit, en utilisant un algorithme correct, les soustractions impliquant un passage par la dizaine (exemple : « $15-7$ »). D'autre part, elle réussit les soustractions sans passage de classe du type DU-U portant sur des nombres inférieurs à 100 (exemple : « $67-4$ » mais échoue si l'opération nécessite un passage de classe (exemple : « $45-7$ »).

→ Nos observations : Nous observons que Chloé réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine pour des nombres inférieurs à 20 mais échoue effectivement aux soustractions impliquant un passage de classe de type DU-U sur des nombres inférieurs à 100 :

« $19 - 7 = 2$ » : **oubli de la dizaine**

« $45 - 7 = 40$ » et « $62 - 4 = 60$ » : **passage à la dizaine inférieur impossible, pouvant être expliqué par la fatigue et/ou la fragilité de ses stratégies de résolution.**

Concernant l'écriture des nombres arabes, le rapport nous révèle que Chloé est capable d'écrire des nombres arabes à 3 chiffres mais commet des erreurs pour écrire des nombres à 4 chiffres.

Le rapport conclut enfin sur le fait que Chloé maîtrise la lecture des nombres arabes à 2 chiffres mais pas au-delà.

→ Nos observations : **Il apparaît que Chloé ne peut pas encore concevoir des nombres à 4 chiffres** puisqu'elle échoue à écrire « mille cinq cent », qu'elle transcrit « 150 » (l'écriture est douteuse, Chloé écrit d'abord « 10 » puis rajoute « 50 » en écrivant son 5 sur le zéro du « 10 » précédemment écrit), « mille cinq », qu'elle transcrit « 105 » et « mille cinquante » qu'elle transcrit « 950 ». De façon générale elle ne semble pas concevoir la pile « mille » et s'escrime donc à convertir ces nombres à 4 chiffres en nombres à 3 chiffres.

Concernant la lecture des nombres arabes, Chloé échoue à l'item « cent quatre » en désignant « 1004 », ce qui correspondrait à une **méconnaissance ou tout du moins une connaissance fragile des règles de surécriture pour les nombres à partir de 3 chiffres** (au regard des épreuves précédentes), lui faisant juxtaposer les termes « oraux » composant le nombre (soit « cent / quatre » = $100/4 = 1004$), soit inventer une règle de surécriture aberrante.

b. Compte rendu Excel

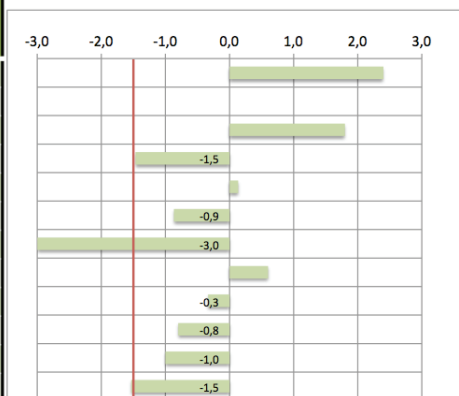
Résultats au test MathEval



Marc Heremans
<http://matheval.new.tr/>

Chloé
Deuxième Primaire (CE1)
08/04/14
Référence aux Normes CE1 (2P)

	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviations (en écart-type)
Durée du test	27	100	136	2,4
Gnosies digitales	-1	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	7	96	127	1,8
Manipulation de la chaîne numérique(*)	40	7	78	-1,5
Dénombrement(*)	12	56	102	0,1
Subitizing(*)	12	19	87	-0,9
"Sens" des nombres	0	5	55	-3,0
Additions	45	72	109	0,6
Soustractions	35	38	95	-0,3
Ecriture des nombres arabes	15	21	88	-0,8
Lecture des nombres arabes	6	17	85	-1,0
Total au test MathEval	172	6	77	-1,5



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

La passation de Chloé ayant duré 27 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique ($-2,4 \sigma$), le tableau (en référence aux normes CE1 (ou 2P)) nous indiquant une fréquence cumulée égale à 100 signifiant que Chloé fait partie de moins des 1% des enfants de CE1 les plus lents à ce test.

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique que **Chloé se situe globalement en dessous de la moyenne**, sauf concernant la comptine simple ($1,8 \sigma$), le dénombrement ($0,1 \sigma$) et les additions ($0,6 \sigma$). **En effet, elle atteint même le pathologique pour la manipulation de la chaîne numérique ($-1,5 \sigma$) et le « sens » des nombres (-3σ).**

Ces résultats sont en adéquation avec nos observations précédentes.

Sachant que Chloé est actuellement scolarisé en CE1 et que ses résultats au test sont normés pour le CE1, il apparaît très clairement qu'elle ne possède pas une grande partie des aptitudes attendues au CE1 et se situe dans le pathologique concernant la manipulation de la chaîne numérique et le « sens » des nombres.

c. Conclusions

Au regard des deux comptes rendus édités par le logiciel, agrémentés par nos observations cliniques, **il ressort qu'une prise en charge pour troubles du raisonnement logico-mathématiques devrait être envisagée pour Chloé, notamment dans les domaines propres au nombre**, concernant la manipulation de la chaîne numérique et le « sens » des nombres, mais également pour renforcer les procédures de calcul (additions et soustractions) et de transcodage (écriture et lecture des nombres arabes) de Chloé.

Nous préconisons donc, à la suite de ce test, la passation complète d'un bilan logico-mathématique, comme nous l'avons détaillé en première partie de ce mémoire (anamnèse / investigation des outils fondamentaux : espace, temps, langage, images mentales / investigation logique des structures de pensée : classification, sériation, permanence des quantités, compréhension du tout et de ses parties, résolution de problèmes / investigation du langage).

3.4.5. Cas d'Ana, 8 ans et 3 mois, CE1

Ana est une jeune fille suivie en orthophonie pour dysorthographe de type linguistique, possédant un trouble phonologique important qu'elle parvient progressivement à compenser. Elle est âgée de 8 ans et 3 mois et est actuellement scolarisée en CE1 suite au redoublement de son CP.

a. Compte rendu Word

Le compte rendu Word nous indique que le test a été effectué en 19 minutes, qu'Ana connaît totalement la comptine numérique jusque 50 au moins mais pas jusqu'à 100 et se situe au stade 4 au moins de la chaîne numérique, soit au stade de la chaîne dénombrable.

Le comptage par pas de 10 est réussi jusque 100. Par contre, le comptage par pas de 2 et 5 ainsi que le comptage à rebours sont échoués.

→ Nos observations : Effectivement, nous relevons une irrégularité dans la comptine numérique (89, 90, 81) qui nous indique que celle-ci n'est pas totalement connue jusqu'à 100. De même, le comptage par pas de 2 et de 5 comme le comptage à rebours sont impossibles pour Ana.

Concernant l'acquisition des stades de dénombrement (selon Gelman & Gallistel), il apparaît qu'Ana possède les différents principes régissant le dénombrement.

Il apparaît également qu'Ana subitise correctement jusqu'à cinq éléments.

→ Nos observations : Concernant les items testant le « sens » des nombres, ceux-ci sont globalement bien réussis par Ana. En effet, on ne relève qu'un échec concernant l'item « situer 10 sur une ligne de longueur 20 » où Ana situe 10 aux environs de 18.

En calcul mental, s'agissant d'additions portant sur des nombres inférieurs à 20, le rapport nous indique qu'Ana réussit, en utilisant un algorithme correct, les additions impliquant un passage par la dizaine (par exemple : « 8+7 »). Par ailleurs, Ana réussit les additions du type DU + U jusque 100 mais sans passage de classe (par exemple « 47+4 » est échoué).

→ Nos observations : Effectivement, Ana réussit les additions portant sur des nombres inférieurs à 20 impliquant un passage par la dizaine mais échoue aux additions du type DU + U impliquant un passage à la dizaine (les items « 67 + 6 » et « 47 + 4 » sont échoués). **Nous relevons l'utilisation du surcomptage par Ana** lorsque nous lui demandons de nous expliquer comment elle est parvenue au résultat.

Le rapport nous indique également qu'Ana ne réussit pas les soustractions impliquant un passage par la dizaine (exemple : « 15-7 ») ainsi que celles qui impliquent deux nombres dont le résultat se situe entre 10 et 15 (exemple : « 17-4 »). Par contre, les soustractions portant sur des nombres inférieurs à 10 sont réussies.

→ Nos observations : Nous sommes tout à fait d'accord avec la description donnée par le rapport. Il est intéressant de remarquer qu'Ana paraît complètement désarçonnée face aux items « 14-6 », « 12-4 », « 19-7 » et « 17-4 » qu'elle échoue de manière incohérente :

« 14 – 6 = 6 » : Cet item trahit une méconnaissance de la table des doubles de la part d'Ana (puisque $7 + 7 = 14$) et s'explique peut-être par une fatigue et une saturation cognitive ressentie par Ana, qui répond la première chose qui lui passe par la tête.

« 12 – 4 = 5 » et « 19 – 7 = 8 » : Idem que pour l'item précédent, la fatigue et/ou une saturation cognitive pourrai(en)t expliquer ces réponses immédiates incohérentes.

« 17 – 4 = 21 » : « On a 17 et on recule à 4 : 17, 18, 19, 20, 21 » : Utilisation du surcomptage au lieu du décomptage. Cet item nous permet de remarquer que le langage choisi par Ana pour nous expliquer l'opération n'est ni clair ni précis, nous permettant de comprendre l'erreur d'Ana pour qui les opérations d'addition et de soustraction ne sont pas clairement identifiées et comprises (dans le sens « j'ai 17 bonbons (ou autre) » = état initial , « j'en donne 4 » = transformation, « combien est-ce qu'il m'en reste ? » = état final).

Le rapport conclut sur la capacité d'Ana d'écrire les nombres arabes jusqu'à environ 55, avec des erreurs commises ensuite, et le fait qu'elle semble maîtriser la lecture des nombres arabes à 3 chiffres, mais pas au-delà.

→ Nos observations : Concernant l'écriture des nombres arabes, Ana échoue à l'item « quatre-vingt-dix » qu'elle transcrit « 42 » après une courte période d'hésitation. Il est intéressant de remarquer que c'est exactement à partir de ce nombre (90) qu'elle se trompe au niveau de la comptine numérique plus tôt dans le test. Ce transcodage erroné nous révèle une difficulté de segmentation et d'identification des primitives lexicales :

« quatre-vingt-dix » = « quatre » x « vingt » + « dix » = (4 & 20) # 10 = que simplifie Ana en « 4/2(0) » soit la juxtaposition du 4 et du 2 dizaine de « 20 » qu'elle transforme en unité = « 42 »

Concernant la lecture des nombres arabes, le test révèle qu'elle parvient à identifier correctement les items « quatre-vingt-deux » et « cent-quatre » donc les nombres arabes jusqu'à 3 chiffres mais échoue à identifier les nombres arabes à 4 chiffres :

« huit mille quatre cent vingt-neuf » = « huit mille » # « quatre cent » # « vingt-neuf » = **8000/400/29** = 800040029 par **juxtaposition** des différents termes composant le nombre, correspondant à l'invention d'une règle de surécriture aberrante de la part d'Ana (alors que les **opérations de concaténation** sont bien retranscrites par Ana : « huit mille = (huit) x (mille) = 8 & 1000 = **8000**).

« deux mille cinq » = « deux mille » # « cinq » = 2000/5 = 20005 par juxtaposition des différents termes composant le nombre, soit l'invention d'une règle de surécriture aberrante de la part d'Ana.

Il apparaît ainsi à travers ces deux épreuves que les différentes étapes du transcodage ne sont pas encore maîtrisées par Ana, notamment la segmentation, la catégorisation et le processus de transcodage à part entière.

b. Compte rendu Excel

Résultats au test MathEval



Ana
Deuxième Primaire (CE1)
08/04/14
Référence aux Normes CE1 (2P)

	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviations (en écart-type)
Durée du test	19	95	124	1,6
Gnoses digitales	-1	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	5	0	55	-3,0
Manipulation de la chaîne numérique(*)	23	0	55	-3,0
Dénombrement(*)	12	56	102	0,1
Subitizing(*)	12	19	87	-0,9
"Sens" des nombres	15	97	73	-1,8
Additions	38	34	94	-0,4
Soustractions	22	9	80	-1,3
Ecriture des nombres arabes	12	0	55	-3,0
Lecture des nombres arabes	7	49	100	0,0
Total au test MathEval	146	0	55	-3,0



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

La passation d'Ana ayant duré 19 minutes, celle-ci la situe déjà dans le pathologique ($-1,6 \sigma$), le tableau (en référence aux normes CE1 (ou 2P)) nous indiquant une fréquence cumulée égale à 95 signifiant qu'Ana fait partie de 5% des enfants de CE1 les plus lents à ce test.

Le graphique obtenu à l'aide des différents écarts-types nous indique qu'Ana **se situe globalement dans le pathologique, qu'elle atteint pour la comptine simple (-3σ), la manipulation de la chaîne numérique (-3σ), le sens des nombres ($-1,8 \sigma$) et l'écriture des nombres arabes (-3σ). Elle s'approche également du pathologique concernant les soustractions ($-1,3 \sigma$).**

Ces résultats sont en adéquation avec nos observations précédentes.

Sachant qu'Ana est actuellement scolarisé en CE1 et que ses résultats au test sont normés pour le CE1, il apparaît très clairement qu'elle ne possède presque aucune des aptitudes attendues au CE1 (sauf le dénombrement pour lequel elle se situe dans la moyenne) et s'inscrit vraiment dans le pathologique concernant une grande partie des items testant les aptitudes numériques.

c. Conclusions

Au regard des deux comptes rendus édités par le logiciel, agrémentés par nos observations cliniques, **il ressort qu'une prise en charge pour troubles du raisonnement logico-mathématiques pourrait être envisagée pour Ana, notamment dans les domaines propres au nombre**, concernant la comptine simple, la manipulation de la chaîne numérique, le « sens » des nombres, mais également pour renforcer les procédures de calcul (additions et soustractions) et de transcodage (écriture et lecture des nombres arabes) d'Ana.

Nous préconisons donc, à la suite de ce test, la passation complète d'un bilan logico-mathématique, comme nous l'avons détaillé en première partie de ce mémoire (anamnèse / investigation des outils fondamentaux : espace, temps, langage, images mentales / investigation logique des structures de pensée : classification, sériation, permanence des quantités, compréhension du tout et de ses parties, résolution de problèmes / investigation du langage).

3.5. Conclusions

Après l'étude plus concise des cas des 5 autres enfants, soit Maxence, Maëlle, Mathilde, Chloé et Ana, il ressort que 4 d'entre eux nécessiteraient, après passation du test MathEval, un bilan logico-mathématique plus complet.

En effet, seul Maxence, unique représentant masculin du groupe d'enfants testés, ne semble pas avoir besoin d'un bilan logico-mathématique plus complet au vu de ses résultats au test MathEval.

Par contre, les résultats obtenus par Maëlle, Mathilde, Chloé et Ana les situent dans le pathologique pour certains voire une grande partie des domaines testés par le logiciel.

Il est intéressant de constater que parmi elles, Maëlle et Mathilde sont déjà suivies en orthophonie pour troubles du raisonnement logico-mathématiques depuis moins d'un an. Au vu de leurs résultats obtenus grâce au test MathEval, il apparaît que ce dernier est un bon indicateur, permettant de dépister les enfants pouvant relever de troubles du raisonnement logico-mathématiques.

Il est également intéressant de constater que les enfants relevant du pathologique pour certains voire une grande partie des domaines testés par le logiciel ont globalement tous une durée de passation supérieure à la moyenne enregistrée par le logiciel (de 19 minutes pour Ana à 33 minutes pour Maëlle). La durée de passation semble donc déjà être un bon indicateur de pathologie.

Si nous comparons rapidement les résultats obtenus par Maëlle et Mathilde aux résultats obtenus par Chloé, Ana, Julie, Léa et Agathe (enfants dont les passations ont été plus amplement détaillées précédemment), toutes 4 non suivies actuellement pour troubles

logico-mathématiques, il apparaît que les profils sont assez similaires, penchant dans le pathologique pour une grande partie des domaines testés par le logiciel.

Enfin, si nous reprenons les pathologies pour lesquelles sont suivies Chloé, Ana, Julie, Léa et Agathe, qui sont majoritairement de l'ordre dyslexie/dysorthographe, il est intéressant d'observer l'existence d'une relation entre dyslexie et dyscalculie, que nous avons pu relever dans la littérature et qui a été reprise dans la partie théorique de ce mémoire.

En conclusion, le test MathEval nous apparaît comme un bon indicateur diagnostique, permettant à un thérapeute de tester rapidement (sur une séance, la passation pouvant aller de 15 à 30 min) les aptitudes numériques d'un enfant scolarisé entre la MSM et le CE2 en cas de suspicion de trouble du raisonnement logico-mathématique, au préalable d'un bilan logico-mathématique complet.

II. Coulisses de l'utilisation du logiciel MathEval

1. « Soucis » techniques rencontrés lors de l'installation-utilisation du logiciel

Lors de la réalisation de ce mémoire j'ai été confrontée à l'installation, et donc utilisation, du logiciel MathEval sur 3 ordinateurs différents : le mien (personnel) et ceux des deux orthophonistes ayant accepté de tester le logiciel.

A chaque fois le téléchargement n'a pas posé de problème particulier (bien que les ordinateurs intéressés fonctionnent sous des systèmes d'exploitation différents), réalisé après avoir téléchargé le logiciel « 7-zip » (conseillé par Marc Heremans sur son site internet) afin de pouvoir correctement le décompresser.

Toutefois il est important de préciser que le logiciel ne fonctionne pas sous Mac.

L'utilisation du logiciel, après explications et démonstrations aux orthophonistes concernées, s'est tout à fait bien déroulée, mis à part peut-être le fait que les 8 utilisations possibles (après téléchargement du logiciel) ne permettent pas, à mon avis, une découverte optimum du logiciel.

En effet, avant de pouvoir tester le logiciel auprès de petits patients, il est nécessaire de se l'approprier à travers des passations tests, nous permettant de comprendre le fonctionnement global du logiciel et d'enregistrer la consigne « clic gauche : réponse correcte » ou « clic droit : réponse incorrecte ».

Ainsi, les 8 essais ne permettent, tout ou plus, de ne tester que 5 voire 6 enfants maximum, sans compter les soucis rencontrés à l'ouverture des différents rapports édités à l'issue des passations.

En effet, j'ai pu observer divers soucis au moment de l'ouverture des rapports, une fois l'évaluation avec MathEval terminée :

- le **document Word** ne s'ouvrant pas OU affichant un message d'erreur (*Fichier introuvable* : « C:/MathEval.rtf ») OU affichant les données d'un autre enfant que celui testé
- le **document Excel** ne s'ouvrant pas OU affichant les données d'un enfant autre que celui testé OU n'affichant aucun résultat
- le **document Text Edit** s'ouvrant mais affichant une présentation plutôt indigeste

Après avoir fait part de ces problèmes d'ouverture des rapports sous Word et Excel à Marc Heremans, plusieurs d'entre eux ont été résolus (*notamment grâce à la nouvelle version du logiciel disponible depuis le 14 avril dernier*) mais actuellement l'impossibilité d'avoir le rapport Excel en même temps que les deux autres demeure toujours.

Ainsi, j'ai pu observer qu'en ouvrant le logiciel normalement, après téléchargement de la dernière version, seuls les documents Excel et Text Edit apparaissent, le document Word ne s'ouvrant pas.

En ouvrant le logiciel, suite aux conseils de Marc Heremans, en mode administrateur (clic droit : choisir « ouvrir le logiciel en mode administrateur »), seuls les rapports sous Word et Text Edit s'ouvrent.

Pour les passations d'enfants, apparaissant dans la première partie de ce chapitre, j'ai donc du remplir les rapports Excel (apportant l'étalonnage du logiciel MathEval) manuellement en fonction des résultats obtenus par les enfants.

Le rapport Text Edit s'ouvre, quant à lui, tout à fait correctement, et la présentation plutôt indigeste est rectifiée grâce à l'installation de la macro fournie lors du téléchargement du logiciel.

2. Echanges avec Marc Heremans

L'élaboration de ce mémoire a été l'occasion de nombreux échanges, très enrichissants, avec Marc Heremans, concepteur du logiciel MathEval.

* Comme notamment ***l'appellation « évaluation logico-mathématiques »*** :

« Selon moi, MathEval ne teste pas à proprement parler les notions logico-mathématiques au sens piagétien du terme. Contrairement à l'UDN II, par exemple, il n'y a pas d'épreuve de conservation ou de sériations (l'UDN II n'évaluant ces compétences qu'au travers d'épreuves fortement remaniées par rapport aux schémas princeps de Piaget). La construction du logiciel est plus inspirée des modèles issus de la neuropsychologie et de la psychologie cognitive (donc du Numerical et du Zareki) . » [Extrait du mail de Marc H. du 27 mars 2014]

* Ou encore concernant des ***doutes au moment de la passation*** :

« - Lors de l'épreuve de comptage à l'envers à partir de 9 : que doit-on mettre, et/ou sur quel bouton devons-nous appuyer si l'enfant repart de 10 pour procéder au comptage à l'envers ? » [Extrait du mail de Camille S. du 1^{er} avril 2014]

Réponse de Marc H. dans son mail du 2 avril 2014 :

« Je propose, et je sais qu'il y a toujours une part d'arbitraire dans ce type de décisions, que cela soit comptabilisé comme une réponse exacte, même si l'enfant n'y arrive pas sans ce subterfuge. En fin de compte, cela montre qu'une automatisation existe. Dans ce cas, il est plus que probable qu'il y aura échec à la question suivante (décomptage à partir de 16). Je vais ajouter cette observation/proposition au logiciel. »

* Tout comme des **suggestions d'évolution** :

1) « Pourquoi choisissez-vous toujours d'arrêter l'enfant à 100 pour l'énonciation de la comptine numérique comme pour les autres comptages par pas de 2, 5 et 10 ?

- Pour le comptage par pas de 2, il serait intéressant de rajouter un autre item, après avoir demandé à l'enfant de compter de 2 en 2, où il lui serait demandé de compter toujours de 2 en 2 mais à partir de 3 => ce qui nous permettrait de vérifier que le comptage n'est pas seulement/toujours l'énonciation de tous les nombres pairs.
- Pour le comptage par pas de 5 : il serait intéressant de laisser l'enfant compter de 5 en 5 jusqu'à 115 et non seulement 100 afin de vérifier l'automatisation au passage à la centaine (certains enfants que j'ai pu observer en passation comptaient bien de 5 en 5 jusqu'à 100 mais si je les laissais continuer après j'obtenais des perles intéressantes comme la reprise du comptage itératif (95, 100, 101, 102, etc ...) ou un comptage par pas de 100 (95, 100, 200, 300, etc ...) comme si le passage de cette première centaine perturbait l'exercice.
- Pour le comptage par pas de 10 : Idem, il serait intéressant de laisser compter l'enfant de 10 en 10 jusqu'à 120 au moins afin de vérifier qu'une fois la centaine franchie l'enfant ne retombe pas dans une énonciation de la chaîne numérique itérative (100, 101, 102) voire un comptage de 100 en 100 (100, 200, 300). »

Réponse de Marc H, dans son mail du 18 avril 2014 :

« Tout cela pose la question difficile de la signification précise de la notion de prérequis et de ce que l'on cherche à mesurer et pour quelle(s) raison(s).

Le principe général que j'ai adopté est le suivant :

- **Il faut s'arrêter avant que la performance attendue ne commence à impliquer d'autres compétences** qui ne seraient pas en lien direct avec la compétence mesurée.

Un exemple (caricatural) fera mieux comprendre cela : en calcul mental, si l'enfant réussit une opération du type « $45+17$ » en utilisant un algorithme correct de passage de classe et éventuellement la commutation ($47+3+2 = 50+2 = 52$), on a de bonnes raisons de penser que les principes de numération sont compris. Mais qui nous dit que ce type de compétence est étendu aux centaines, milliers, millions, etc ? Pour s'en assurer l'on peut imaginer la question suivante : « $347289+868829 = ?$ » Cette nouvelle question implique les passages de classe, c'est indéniable, mais elle charge trop la mémoire de travail. L'échec à cette question n'implique donc pas nécessairement une difficulté par rapport à la numération (notions de centaines, dizaines, etc.) mais bien d'autres compétences plus transversales (administrateur central, attention sélective, motivation, etc.).

- **Il faut éviter l'ennui** : par exemple, jusqu'où faut-il sonder l'enfant pour voir s'il connaît la comptine numérique.

Concernant vos remarques relatives aux comptages par pas de 2,5 et 10 :

- Pour le comptage par pas de 2 : ce type de tâche (j'inclus les comptages par 5 et 10) me semblent surtout utiles pour les petits (GSM, CP). A cet âge, ce type de question permet d'évaluer à quel point l'enfant est capable d'automatiser des apprentissages numériques de base, lesquels seront utiles pour le calcul mental. A nouveau, la question de fond qui se pose est celle des limites de l'évaluation. On peut imaginer un comptage par 3 mais aussi, pourquoi pas, par 7, par "0,5", voire "3,25" ... Il est clair qu'il semble y avoir une progression dans la difficulté des questions ainsi posées et, par conséquent, une meilleure discrimination des résultats obtenus par les enfants. D'où la question : est-ce utile et pour quelles raisons. Je pense que ce que l'on va mesurer en plus si l'on propose le comptage par 3, sera confirmé par le type de procédé utilisé par l'enfant pour résoudre les additions et soustractions simples. Il me semble que plus l'enfant démontre une fluidité en ce qui concerne la comptine numérique, plus il utilisera des algorithmes évolués pour résoudre les opérations de calcul mental. Cette hypothèse mériterait sans doute d'être testée.

Tout cela étant dit, on ne risquerait rien à ajouter une question relative au comptage par 3, puisque cela n'alourdit pas vraiment la passation, tout en augmentant la discrimination des résultats.

- Pour le comptage par pas de 5 : vous avez raison ; le passage par 100 apporte une information intéressante, même si je suis presque convaincu du fait que la difficulté se situe à 100 plutôt qu'après ce nombre. Dans ce cas, je proposerais de garder la répartition actuelle des points attribués mais, au lieu d'exiger 100 comme limite, l'on proposerait 115 pour les pas de 5 et 120 pour les pas de 10. Cela entraîne des modifications au niveau de l'étalonnage, mais elles me semblent relativement mineures quand-même."

2) « *Pourquoi avez-vous supprimé l'épreuve des gnosies digitales pour le Ce1 ?* »

Réponse de Marc H. :

« J'explique sur le site les raisons qui m'ont poussé à ne plus utiliser cette épreuve. Elle me semble inintéressante. Ceci dit, il est facile de la rendre possible pour les Ce1 ; le seul problème, c'est que je ne dispose pas d'étalonnage pour cette population d'enfants. Ceci dit, il faudra que je lise plus attentivement l'étude de Reeves & al. qui semble bien plus intéressante que les études dont je parle (et que je critique) sur le site. »

3) « *Pour l'épreuve testant le principe de cardinalité : il serait intéressant d'ajouter une case à cocher « cardinaliser spontanément » pour différencier les enfants énonçant d'eux-même le cardinal, des autres l'énonçant après la question « Combien y avait-il de ronds verts alors ? »* »

Réponse de Marc H. :

« Cette différenciation se fait chez les enfants de GSM et chez ceux de CP et plus qui échouent au dénombrement de 19 et 13 objets.

En fait, en plusieurs années de pratique, je n'ai jamais rencontré d'enfants de fin de GSM ou plus (CP, etc.) qui n'associaient pas spontanément le dernier mot-nombre prononcé avec le cardinal. C'est la raison pour laquelle je saute cette étape pour les plus grands.

Ce que je pourrais faire au niveau du logiciel c'est permettre au testeur de choisir un type de passation adapté aux compétences jugées à priori chez l'enfant.

Par exemple : si l'on soupçonne qu'un enfant de Ce1 est très faible, la passation du test sauterait moins d'étapes. Ceci-dit, vu qu'il s'agit d'un système expert, les questions s'adaptent automatiquement au niveau de l'enfant (retour vers des questions de plus en plus simples en cas d'échec, et ce, même pour le dénombrement). »

4) « Concernant l'item « 5-3 », lorsque vous nous proposez l'étiquette « décomptage », celle-ci prend-elle en compte le décomptage manuel ET mental ? (Certains enfants utilisent leurs doigts pour décompter et d'autres décomptent mentalement en se récitant la chaîne numérique à rebours). Si non, comment les différencier au niveau de l'étiquette/choix de stratégie adoptée par l'enfant ? »

Réponse de Marc H. :

« J'ai constaté qu'il est souvent difficile de différencier les enfants qui mentalisent « vraiment » de ceux qui utilisent de manière plus ou moins perceptible les doigts (même par des petits mouvements imperceptibles). Il me semble donc difficile et/ou peu utile de différencier les deux procédures, et d'attribuer des points différents. La ventilation des points est déjà fort différenciée pour le calcul mental. Ceci dit, il est conseillé de compléter le rapport engendré par des observations cliniques. »

5) « Concernant la dictée de nombres, il serait intéressant de tester plus de nombres que ceux actuellement proposés. Tout comme l'item « Trois cent cinquante-huit » serait peut-être plus intéressant s'il consistait en un nombre moins facilement découpable par « classe » par l'enfant (centaines : 3/ dizaines : 5/ unités : 8) comme « Trois cent huit ».

Réponse de Marc H. :

« Je pourrais en effet ajouter plus de nombres. Qu'ajouteriez-vous (voir organigrammes ci-joints, lesquels indiquent les chemins suivis par le programme en fonction des réussites/échecs) ?

Tout à fait d'accord en ce qui concerne votre remarque relative au nombre 358, que je vais modifier comme vous le proposez. »

3. Suggestions de modifications éventuelles

D'un commun accord avec les deux orthophonistes ayant participé à l'élaboration de la partie pratique de ce mémoire en acceptant de tester le logiciel sur certains de leurs petits patients, certaines suggestions ressortent (en plus de celles vues précédemment) et mériteraient d'être apportées au logiciel :

- Possibilité d'un bouton pour différencier un comptage à l'envers jusqu'à 1 ou 0.

- Possibilité d'un bouton pour mettre en évidence la stratégie de repartir de 10 pour compter à l'envers à partir de 9 : « 9-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1/-0 »

- Calcul mental : additions : suggestion d'investigation de stratégie intéressant les premiers items comme les suivants (pour le moment seuls les deux premiers en bénéficient). En effet, on observe souvent, lors des passations, des changements de stratégies selon l'item investigué.

- Question : En cas de saut dans la comptine numérique (cas très courant), faut-il demander à l'enfant de recommencer à partir de la dizaine concernée ou le laisser continuer ? Faut-il considérer la chaîne numérique comme stable ? Comment l'indiquer au moment de la passation ?

- Possibilité de pouvoir accéder à un détail du système de notation établi par MathEval

CONCLUSION

Les « troubles logico-maths » souffrent souvent d'une méconnaissance généralisée touchant autant leur évaluation que leur rééducation.

Effectivement, il est avant tout difficile de répertorier les batteries d'évaluation investiguant ce domaine et plus encore de les différencier. Confrontés à des conditions tarifaires importantes, de nombreux orthophonistes ne parviennent pas à faire leur choix pour une batterie de tests plutôt qu'une autre et se détournent ainsi de la prise en charge, pourtant passionnante, des troubles logico-maths.

Suite à ce constat, nous avons souhaité rédiger et proposer cet ouvrage, compilant connaissances théoriques et pratiques nécessaires à l'évaluation puis la prise en charge des troubles logico-mathématiques.

Nous nous sommes donc, dans un premier temps, intéressée à la définition complexe de dyscalculie, au regard des connaissances actuelles de la science, tout en détaillant les étapes nécessaires à la bonne investigation « logico-mathématique » dans la pratique orthophonique. S'en est suivie une description détaillée des différentes batteries de tests existants sur le marché, axée sur leurs particularités et leurs points forts lors de la passation, sans omettre leur tarification. Parmi celles-ci, nous avons découvert un logiciel, de téléchargement libre, nommé MathEval permettant une évaluation des aptitudes numériques chez l'enfant scolarisé à partir de la Moyenne Section de Maternelle jusqu'au CE2. L'exploration détaillée de ce dernier nous a permis de comprendre et d'étudier un par un les nombreux domaines intéressant le nombre.

Une fois cette présentation des connaissances théoriques nécessaires à la compréhension des troubles logico-mathématiques réalisée, nous nous sommes confrontée à la pratique, en étudiant les passations de huit enfants de trois niveaux scolaires différents (CP, CE1 et CE2), tels que nous pouvions les rencontrer dans la pratique orthophonique, soumis au logiciel MathEval.

Parmi ces huit enfants, trois d'entre eux ont fait l'objet d'une étude approfondie, confrontant description du fonctionnement global des enfants (réalisée par le logiciel et éditée sous la forme de trois rapports à la fin de la passation) et analyse qualitative de leurs stratégies de résolution (réalisée par le thérapeute).

Au sein de cette étude, nous avons souhaité rappeler que, dans le cadre d'une utilisation du logiciel par un thérapeute, il était nécessaire que ce dernier complète et précise l'analyse globale pré rédigée, éditée par le logiciel, afin de définir les structures défaillantes et les objectifs éventuels d'une rééducation.

Après l'étude globale des passations des huit enfants, il en est ressorti que sept d'entre eux nécessiteraient, en raison de résultats situés dans le pathologique, un bilan logico-mathématique complet. Parmi les sept enfants concernés, toutes étaient des filles et seules deux étaient déjà suivies en orthophonie pour troubles du raisonnement logico-mathématique.

Nous avons ainsi pu constater que la durée de passation du logiciel semblait déjà un bon indicateur de la pathologie et que l'on pouvait observer une corrélation, déjà signifiée dans de nombreuses études, entre dyslexie et dyscalculie.

De plus, en confrontant les résultats obtenus par les deux enfants déjà suivis pour troubles du raisonnement logico-mathématique aux résultats des autres enfants, il nous est apparu que les profils étaient assez similaires, bien que relevant des difficultés particulières propres à chacune, se situant dans le pathologique pour une grande partie des domaines testés par le logiciel.

C'est ce qui nous permet de conclure sur le fait que **le logiciel MathEval nous apparaît être un bon indicateur diagnostique, permettant à un thérapeute de tester rapidement (sur une séance, la passation pouvant aller de 15 à 30 min) les aptitudes numériques d'un enfant scolarisé entre la MSM et le CE2 en cas de suspicion de trouble du raisonnement logico-mathématique, au préalable d'un bilan logico-mathématique complet.**

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES :

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. 1996. *DSM IV : manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Traduction française par JD Guelfi. Edition Masson.

BASIL A., CARAMAZZA A., MCCLOSKEY M. 1985. *Cognitive mechanisms in number processing and calculation : evidence from dyscalculia*. *Brain Cogn* ; 4 : 171-96.

BESSAC J. 2013. *Troubles des apprentissages – dictionnaire pratique*. Editions Tom Pousse, 393 pages.

BIDEAUD J., LEHALLE H., VILETTE B. 2004. *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*. Presses Universitaires du Septentrion, 371 pages.

BOW-THOMAS C., GEARY D.C. FAN L. et SIEGLER R.S. 1996. « *Development of Arithmetical Competencies in Chinese and American Children* », *Child Development*, 67, 2022-2044.

BRIARD D.J., FUSON K.C. et RICHARD J. 1982. *The acquisition and elaboration of the number word sequence*. In : *Brainerd C.J. Edition Children's logical and mathematical cognition*. New York : Springer Verlag ; P.39-92.

BRUN V., GEORGE-PORACCHIA F., HABIB M., NOEL M.-P. 2011. *Calcul et dyscalculies – Des modèles à la rééducation – Rencontres en rééducation N°28* (Collection sous la direction de C. HERISSON, J. PELISSIER et L. SIMON) – Editions Elsevier Masson SAS, 168 pages.

CHARLIER B., HAGE C. et LEYBAERT J. 2006. *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd : Pistes d'évaluation*. Editions Mardaga, 289 pages.

COHEN L. et DEHAENE S. 1995. *Towards an anatomical and functional model of number processing*. *Math Cogn* ; 83-120.

COHEN L. et DEHAENE S. 2000. *Un modèle arithmétique et fonctionnel de l'arithmétique mentale*. In : *Pesenti M, Seron X, eds. Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Editions Solal ; p.191-232.

DEHAENE S. 1992. *Varieties of numerical abilities*. *Cognition* ; 44 : 1-42.

DEHAENE S., MOLKO N. et WILSON A., *unité Inserm de neuro-imagerie cognitive, IFR 49, service hospitalier Frédéric-Joliot, Orsay*.

DELLATOLAS G. et VON ASTER M. 2005. *Zareki-R : Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris : Editions du centre de psychologie appliquée.

DE VRIENDT S., VAN NIEUWENHOVEN C. 2010. *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et support d'intervention*. Editions Solal, 270 pages.

FAYOL M. 2012. *L'acquisition du nombre – Que sais-je ?* – Edition Presses Universitaires de France, 128 pages.

FISCHER J-P., MELJAC C., VAN HOUT A. 2005. *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Editions Masson, 425 pages.

GALLISTEL CR. et GELMAN R. 1978. *The Child's understanding of number*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

GREGOIRE J., NOEL MP. et VAN NIEUWENHOVEN C. 2001. *Tedi-math. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris : Editions du centre de psychologie appliquée.

LEMMEL G. et MELJAC CL. 1999. *Batterie UDN-II. Matériel et manuel*. Paris : ECPA.

MIRASSOU A. 2010. *Des calculi aux dyscalculies. Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*. Marseille : Editions Solal, p.209-24.

TEMPLE CM. *Developmental dyscalculia*. In : Segalowitz SJ, Rapin I, Boller F, Grafman J, eds. *Handbook of neuropsychology*. Vol. 7 : Child Neuropsychology. Xxxxx : Xxxxx ; Xxxxx. p.211-22.

REVUES :

BARROUILLET P., FAYOL M. et THEVENOT C. 2009. « *Evidence for Knowledge of the Syntax of Large Numbers in Preschoolers* ». *Journal of Experimental Child Psychology*, 105, 264-271.

BARROUILLET P., FAYOL M. et MARINTHE C. septembre 1999. *Rééducation Orthophonique N°199 « Relations entre des performances à des épreuves perceptivo-tactiles et des épreuves arithmétiques chez des jeunes enfants »*. OrthoEdition, 159 pages.

Bulletin officiel de l'Education Nationale, juin 2008.

CREM, *Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques*, dite commission Kahane.

GAILLARD F. 2000. *Numérical : Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul. Actualités psychologiques*. Lausanne : Université de Lausanne, édition spéciale.

GREGOIRE J. 1996. *L'évaluation diagnostique des troubles d'apprentissage. De l'évaluation des performances à l'évaluation des compétences*. ANAE ; 29-40 : 116-22.

GREGOIRE J., NOEL MP. et VAN NIEUWENHOVEN C. 2002. *L'évaluation des dyscalculies avec la batterie TEDI-MATH*. Glossa ; 82 ; 52-65.

MENISSIER A. 1999. Rééducation orthophonique n°199 « *Les activités logico-mathématiques* ». OrthoEdition, 159 pages.

MORLAIX S. et SUCHAUT B. « *Apprentissages des élèves à l'école élémentaire : les compétences essentielles à la réussite scolaire* » Etudes et Notes de l'IREDU, Institut de Recherche sur l'économie de l'EDUcation.

COURS :

THUBE-POLI Isabelle. 2013. *Cours de dyscalculie*. Ecole d'orthophonie de Nice.

PAGES INTERNET :

COGILUD, Précisions et tarif MALLETTE ERLA [en ligne], consulté en juin 2014, « URL : <http://www.cogilud.com> »

DUFOURNIER Pascaline. *La dyscalculie* [en ligne], consulté en mars 2014, « URL : <http://ortho.pascaline.dufournier.perso.neuf.fr/dossier%20dyscalculie.pdf> »

ECPA, *Précisions et tarifs UDN-II, TEDI-MATH et ZAREKI-R* [en ligne], consulté en janvier 2014, « URL : http://www.ecpa.fr/orthophonie/test-liste.asp?id_rubrique=110& »

EVOLUDYS, Précisions et tarif MALLETTE B-LM cycle II [en ligne], consulté en juin 2014, « URL : http://www.evolutdys.com/fr/mallette-b-lm-cycle-ii_a_90.html »

HEREMANS Marc, *Logiciel MathEval*, [en ligne], consulté en avril 2014, « URL : <http://matheval.new.fr/> »

IIDRIS, *Définition Gnosie digitale*, [en ligne], consulté en avril 2014, « URL : <http://www.med.univ-rennes1.fr/iidris/cache/fr/26/2694> »

INSERM, *Etudes Prévalence Dyscalculie*, [en ligne], consulté en mars 2014, « URL : http://www.inserm.fr/content/download/7161/55284/version/2/file/dyslexie_dysorthographie_dyscalculie.pdf »

SIGNES.ED, *Précisions et tarif NUMERICAL*, [en ligne], consulté en février 2014, « URL : <http://www.signes-ed.com/accueil.htm> »

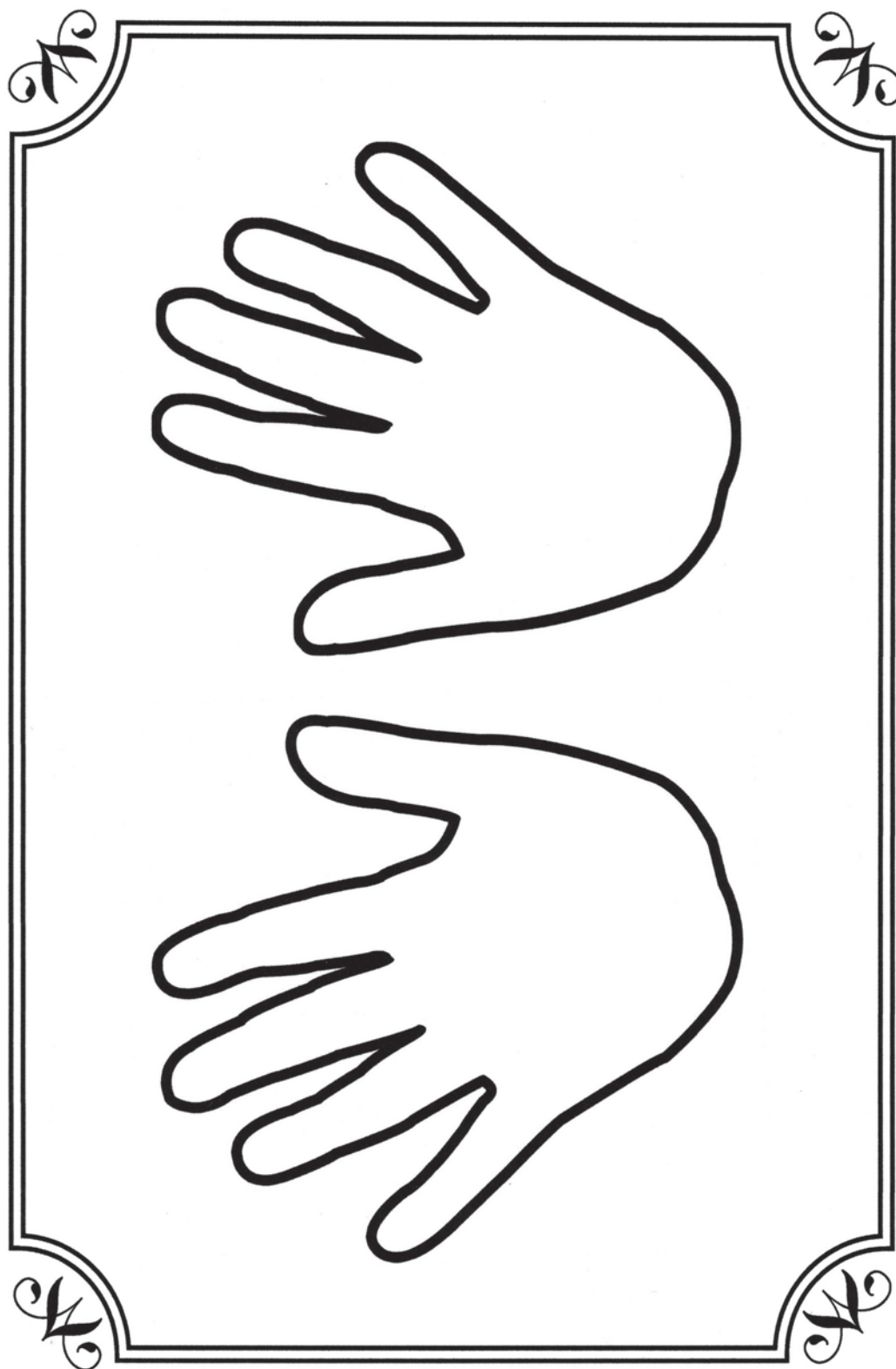
VERDENNE Dominique. *Le calcul mental*, [en ligne], consulté en mars 2014, « URL : <http://cms.ac-martinique.fr/circonscription/francois/file/calculdiaporama.pdf> »

WIKIPEDIA, *Diagnostic de dyscalculie*, [en ligne], consulté en février 2014, « URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Dyscalculie#Diagnostic> »

WIKIPEDIA, *Jean Piaget*, [en ligne], consulté en février 2014, « URL : http://fr.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget »

ANNEXES

Annexe I : Dessin de mains utilisé pour l'item « Gnosies digitales »



Annexe II : Compte rendu Word de Julie

Evaluation de Julie B

Julie, élève de troisième primaire (ou CE2), a été évalué(e) en mathématique ce 7/4/2014, à l'aide du test MathEval. Le test a été effectué en 22'.

Julie connaît 'totalement' la comptine numérique.

En ce qui concerne la chaîne numérique, Julie se situe au stade 4 au moins (sur 5 possibles), c-à-d au stade de la chaîne dénombrable. La chaîne numérique n'est plus uniquement une succession de nombres ordinaux ; chaque mot-nombre évoque aussi son cardinal. Julie est doté(e) des compétences nécessaires pour être en mesure de résoudre des opérations par surcomptage (compter x à partir de y).

Le comptage par pas de 2, 5 et 10 (jusque, respectivement 24, 100 et 200), ainsi que le comptage à rebours sont automatisés.

Acquisition des stades de dénombrement (Gelman & Gallistel) :

- correspondance terme à terme : acquis
- ordre stable : acquis
- non pertinence de l'ordre : non acquis
- cardinal : semble acquis ; en tout cas, Julie cite le dernier mot-nombre prononcé à la question 'combien y-en-a-t-il ?'
- abstraction : non évalué. Il nous semble que ce principe est universel, parce qu'indispensable à la survie ; il se manifeste dans toutes les activités et pas seulement dans les épreuves de comptage.

Julie subitise correctement au moins six éléments présentés de manière aléatoire (non testé au-delà) ; le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour 1 doigt, pouce et index pour 2 doigts, etc.) est possible jusqu'à sept doigts au moins (non testé au-delà).

S'agissant d'additions portant sur des nombres inférieurs à 20, Julie réussit, SANS UTILISER un algorithme correct, c-à-d, généralisable, les additions impliquant un passage par la dizaine. Une addition du type '8+7' est réussie soit par surcomptage, soit en utilisant un procédé du type '8+8-1'. Par ailleurs Julie réussit les additions du type DU+U jusque 100 mais sans passage de classe (par ex., '47+4' est échoué).

En calcul mental, Julie ne réussit pas les soustractions impliquant un passage par la dizaine (ex. : '15-7'). Par contre, elle réussit les soustractions dont le résultat est inférieur à 20 mais échoue au delà.

Julie est capable d'écrire les nombres arabes à quatre chiffres, mais pas au-delà.

La lecture de nombres arabes à 2 chiffres, tout en étant parfois réussie, n'est pas vraiment maîtrisée.

Résultats bruts aux différents sous-tests :

- résultat 'gnosies' : 14
- résultat 'comptine à l'endroit' : 7
- résultat 'manipulation de la chaîne numérique' : 42

- résultat 'dénombrement' : 8
- résultat 'subitizing' : 13 ('ronds' = 6 ; 'doigts' = 7)
- résultat 'sens des nombres' : 14
- Transcodage
 - o résultat 'dictée de nombres' : 20
 - o résultat 'lecture de nombres' : 5
- Calcul mental
 - o résultat 'additions' : 31
 - o résultat 'soustraction' : 24

Résultats bruts

B	
Julie	
troisième primaire (ou CE2)	
Durée du test	22
Gnosies digitales	14
Comptine simple	7
Manipulation de la chaîne numérique	42
Total comptine	49
Dénombrement	8
Subitizing	13
"Sens" des nombres	14
Additions	31
Soustractions	24
Ecriture des nombres arabes	20
Lecture des nombres arabes	5

Remarque : les nombres négatifs signifient que la tâche n'a pas été proposée.

Annexe III : Compte rendu « Text Edit » de Julie

[Test 'MathEval'] <http://matheval.be.cx/>

[DATE] = 7/4/2014

[IDENTIFICATION] Nom=B

Prénom= Julie

Classe= 3ème primaire

[QUESTIONS POSEES]=

Comptine numérique totalement connue= (Total Comptine = 7)

Compter jusqu'à 8=OK (Total Comptine = 12)

Compter en partant de 6=OK (Total Comptine = 18)

Compter de 4 à 9=OK (Total Comptine = 25)

Compte par 2 jusqu'à 24 (Total Comptine = 27)

Comptage par 5 automatisé=(Total Comptine = 32)

Comptage par 10 automatisé=(Total Comptine = 38)

Comptage à rebours en partant de 9=OK (Total Comptine = 43)

Comptage à rebours en partant de 16=OK (Total Comptine = 49)

Compter 9 objets=OK

Principe cardinal=OK

Correspondance terme à terme=OK

Ordre stable=OK

Compter 19 objets=Echec

Compter 13 objets=OK

Non pertinence de l'ordre=Echec

Subitizer 1=OK

Subitizer 3=OK

Subitizer 6=OK

Subitizer 3 doigts=OK

Subitizer 7 doigts=OK

Situer 49 par rapport à 62=réussi (4)

Situer 91 par rapport à 53=réussi (2)

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 9=réussi

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 1=réussi (3)

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 2=réussi (3)

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 8=réussi (2)

Sur une ligne de 'longueur 20', situer 10=réussi (3)

Sur une ligne de 'longueur 20', situer 18=Echec

Sur une ligne de 'longueur 100', situer 97=Echec

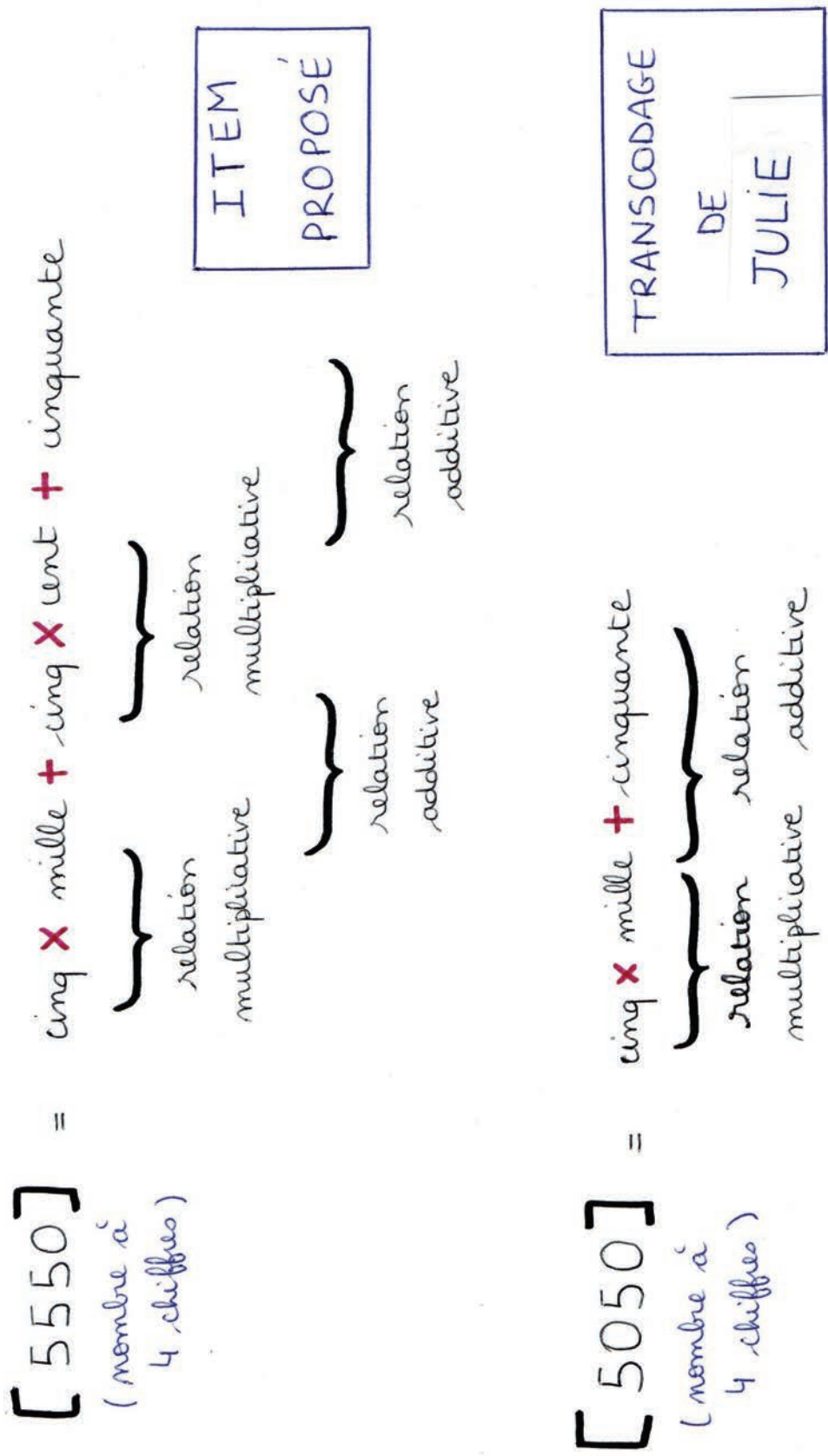
2+3=OK

3+6=OK

8+7=Echoué

9+3=OK
7+6=OK
11+4=OK
13+5=OK
23+4=Echoué
25+3=OK
24+5=OK
82+6=Echoué
43+5=OK
72+7=OK
67+6=Echoué
47+4=Echoué
5-3=OK
7-4=OK
14-6=Echoué
12-4=Echoué
19-7=OK
29-7=Echoué
26-3=Echoué
Ecrire '27'=OK
Ecrire '90'=OK
Ecrire '358'=OK
Ecrire '1500'=OK
Ecrire '100001'=Echoué
Ecrire '50550'=Echoué
Lire '82'=Echoué
Lire '23'=réussi
Lire '45'=réussi

Annexe V : Schéma expliquant le transcodage erroné de Julie



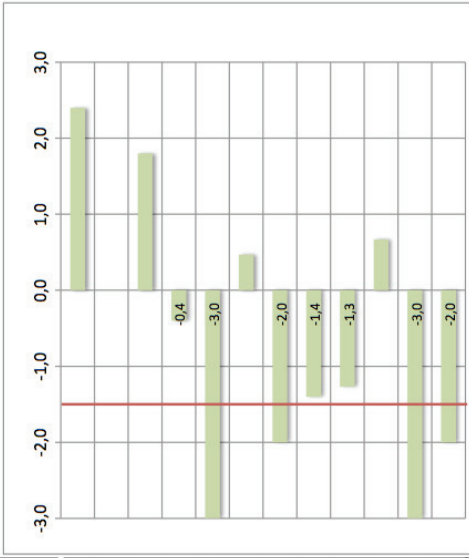
Annexe VI : Compte rendu Excel de Julie (Normes CE1)

Résultats au test MathEval

Julie
Troisième Primaire (CE2)
07/04/14
Référence aux Normes CE1 (2P)



	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	22	99	136	2,4
Gnoses digitales	14	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	7	96	127	1,8
Manipulation de la chaîne numérique(*)	42	34	94	-0,4
Dénombrement(*)	8	0	55	-3,0
Subitizing(*)	13	69	107	0,5
"Sens" des nombres	14	97	70	-2,0
Additions	31	8	79	-1,4
Soustractions	24	10	81	-1,3
Ecriture des nombres arabes	20	74	110	0,7
Lecture des nombres arabes	5	0	55	-3,0
Total au test MathEval	164	2	70	-2,0



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

Annexe VII : Compte rendu Excel de Julie (Normes CP)

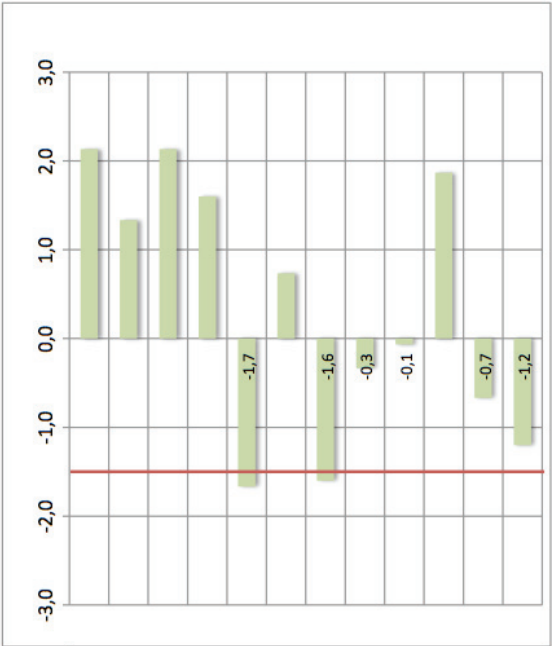


Marc Heremans
<http://matheval.new.tr/>

Résultats au test MathEval

Julie
Troisième Primaire (CE2)
07/04/14
Référence aux Normes CP (1P)

	Résultat brut	Fréquence cumulée	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	22	98	132	2,1
Grosies digitales	14	100	120	1,3
Comptine simple	7	100	132	2,1
Manipulation de la chaîne numérique	42	95	124	1,6
Dénombrement	8	6	75	-1,7
Subitizing	13	100	111	0,7
"Sens" des nombres	14	6	76	-1,6
Additions	31	43	95	-0,3
Soustractions	24	49	99	-0,1
Ecriture des nombres arabes	20	100	128	1,9
Lecture des nombres arabes	5	37	90	-0,7
Total au test MathEval	164	13	82	-1,2



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

Annexe VIII : Compte rendu Word de Léa

Evaluation de LEA D

LEA, élève de deuxième primaire (ou CE1), a été évalué(e) en mathématique ce 7/4/2014, à l'aide du test MathEval. Le test a été effectué en 28'.

LEA compte correctement jusqu'à 59.

En ce qui concerne la chaîne numérique, LEA se situe au stade 4 au moins (sur 5 possibles), c-à-d au stade de la chaîne dénombrable. La chaîne numérique n'est plus uniquement une succession de nombres ordinaux ; chaque mot-nombre évoque aussi son cardinal. LEA est doté des compétences nécessaires pour être en mesure de résoudre des opérations par surcomptage (compter x à partir de y).

Le comptage par pas de 5 et 10 (jusqu'à, respectivement 40 et 100), ainsi que le comptage à rebours sont automatisés ; par contre, le comptage par pas de 2 n'est pas réussi.

Acquisition des stades de dénombrement (Gelman & Gallistel) :

- correspondance terme à terme : acquis
- ordre stable : acquis
- non pertinence de l'ordre : acquis
- cardinal : semble acquis ; en tout cas, LEA cite le dernier mot-nombre prononcé à la question 'combien y-en-a-t-il ?'
- abstraction : non évalué. Il nous semble que ce principe est universel, parce qu'indispensable à la survie ; il se manifeste dans toutes les activités et pas seulement dans les épreuves de comptage.

LEA subitise correctement jusqu'à cinq éléments mais pas davantage ; le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour 1 doigt, pouce et index pour 2 doigts, etc.) est possible jusqu'à sept doigts au moins (non testé au-delà).

En calcul mental, LEA additionne correctement deux nombres dont la somme est inférieure ou égale à 5 (ex. : $2+3$) mais échoue si l'addition a pour résultat un nombre supérieur à 5 (ex. : $5+3$).

LEA maîtrise (utilisation d'un algorithme correct) les soustractions de type DU-DU jusqu'à 100 à condition qu'il n'y ait pas de passage de classe. Les soustractions de type DU-U avec passage de classe portant sur des nombres inférieurs à 100 (ex. : $45-7$) sont, quant à elles, maîtrisées.

LEA est capable d'écrire des nombres arabes de trois chiffres, mais commet encore des erreurs. Il semble que ce sont les nombres de trois chiffres à structure multiplicative qui posent problème. Les nombres à deux chiffres sont, quant à eux, maîtrisés.

LEA maîtrise la lecture des nombres arabes à 2 chiffres, mais pas au-delà.

Résultats bruts aux différents sous-tests :

- résultat 'gnosies' : non passé
- résultat 'comptine à l'endroit' : 5
- résultat 'manipulation de la chaîne numérique' : 38
- résultat 'dénombrement' : 12
- résultat 'subitizing' : 12 ('ronds' = 5 ; 'doigts' = 7)
- résultat 'sens des nombres' : 18

- Transcodage
 - o résultat 'dictée de nombres' : 15
 - o résultat 'lecture de nombres' : 6
- Calcul mental
 - o résultat 'additions' : 18
 - o résultat 'soustraction' : 35

Résultats bruts

D	
LEA	
deuxième primaire (ou CE1)	
Durée du test	28
Gnosies digitales	-1
Comptine simple	5
Manipulation de la chaîne numérique	38
Total comptine	43
Dénombrement	12
Subitizing	12
"Sens" des nombres	18
Additions	18
Soustractions	35
Ecriture des nombres arabes	15
Lecture des nombres arabes	6

Remarque : les nombres négatifs signifient que la tâche n'a pas été proposée.

Annexe IX : Compte rendu « Text Edit » de Léa

[Test 'MathEval'] <http://matheval.be.cx/>=

[DATE]= 7/4/2014

[IDENTIFICATION] Nom=D

Prénom=LEA

Classe= 2ème primaire

[QUESTIONS POSEES]=

Connaît la comptine numérique jusque=59 (Total Comptine = 5)

Compter de 4 à 9=OK (Total Comptine = 23)

Comptage par 2 échoué=(Total Comptine = 23)

Comptage par 5 au moins jusque 40=(Total Comptine = 27)

Comptage par 10 au moins jusque 100=(Total Comptine = 32)

Comptage à rebours en partant de 9=OK (Total Comptine = 37)

Comptage à rebours en partant de 16=OK (Total Comptine = 43)

Principe cardinal=OK

Correspondance terme à terme=OK

Ordre stable=OK

Compter 19 objets=OK

Subitizer 1=OK

Subitizer 3=OK

Subitizer 6=Echec

Subitizer 5=OK

Subitizer 3 doigts=OK

Subitizer 7 doigts=OK

Situer 49 par rapport à 62=réussi (4)

Situer 91 par rapport à 53=réussi (2)

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 9=réussi

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 1=réussi (3)

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 2=Echec

Sur une ligne de 'longueur 10', situer 8=réussi (2)

Sur une ligne de 'longueur 20', situer 10=réussi (3)

Sur une ligne de 'longueur 20', situer 18=réussi (3)

Sur une ligne de 'longueur 100', situer 42=Echec

Sur une ligne de 'longueur 1000', situer 802=réussi (3)

8+7=Echoué

4+5=OK

2+3=OK

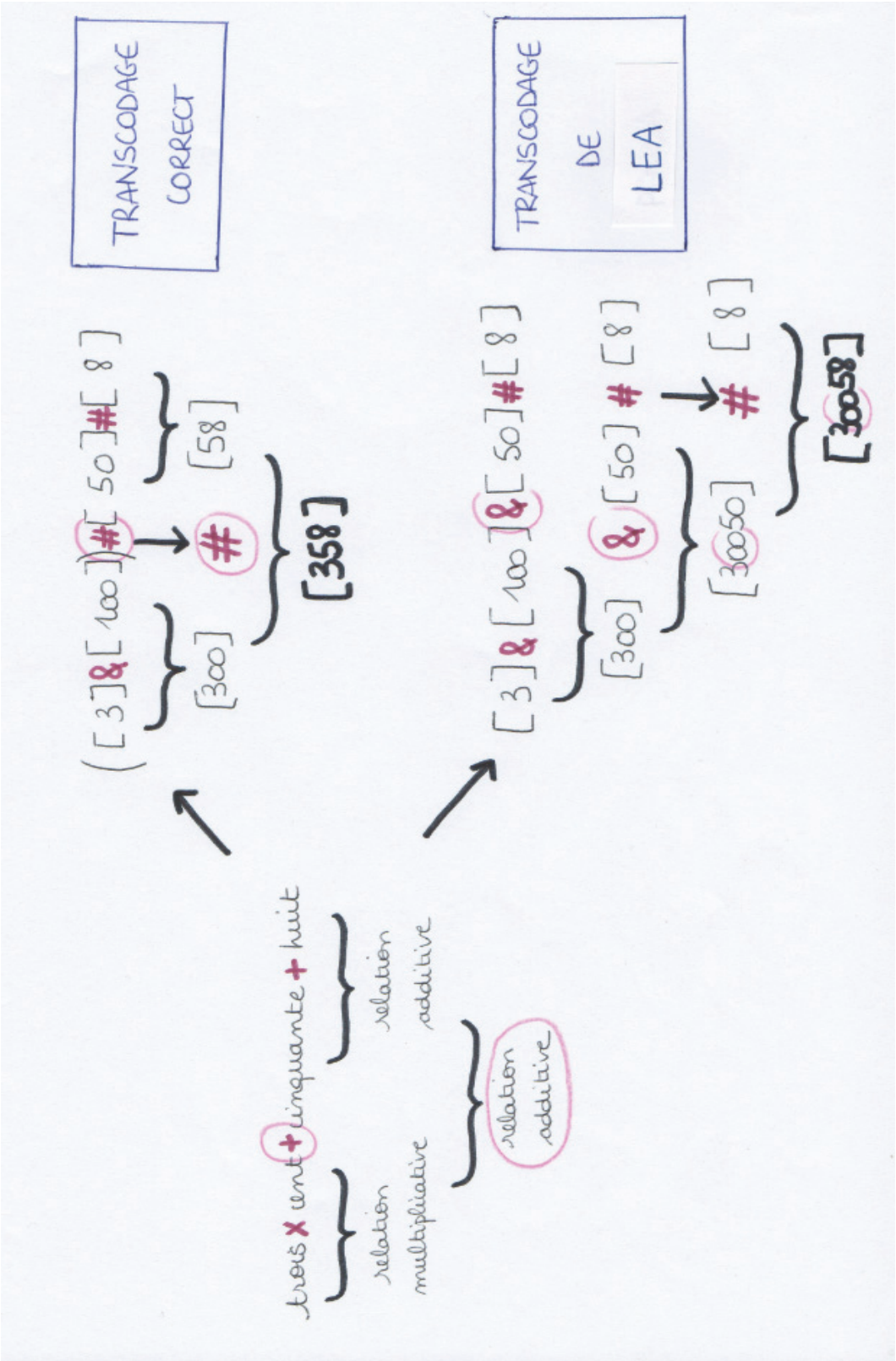
3+6=Echoué

5+3=OK

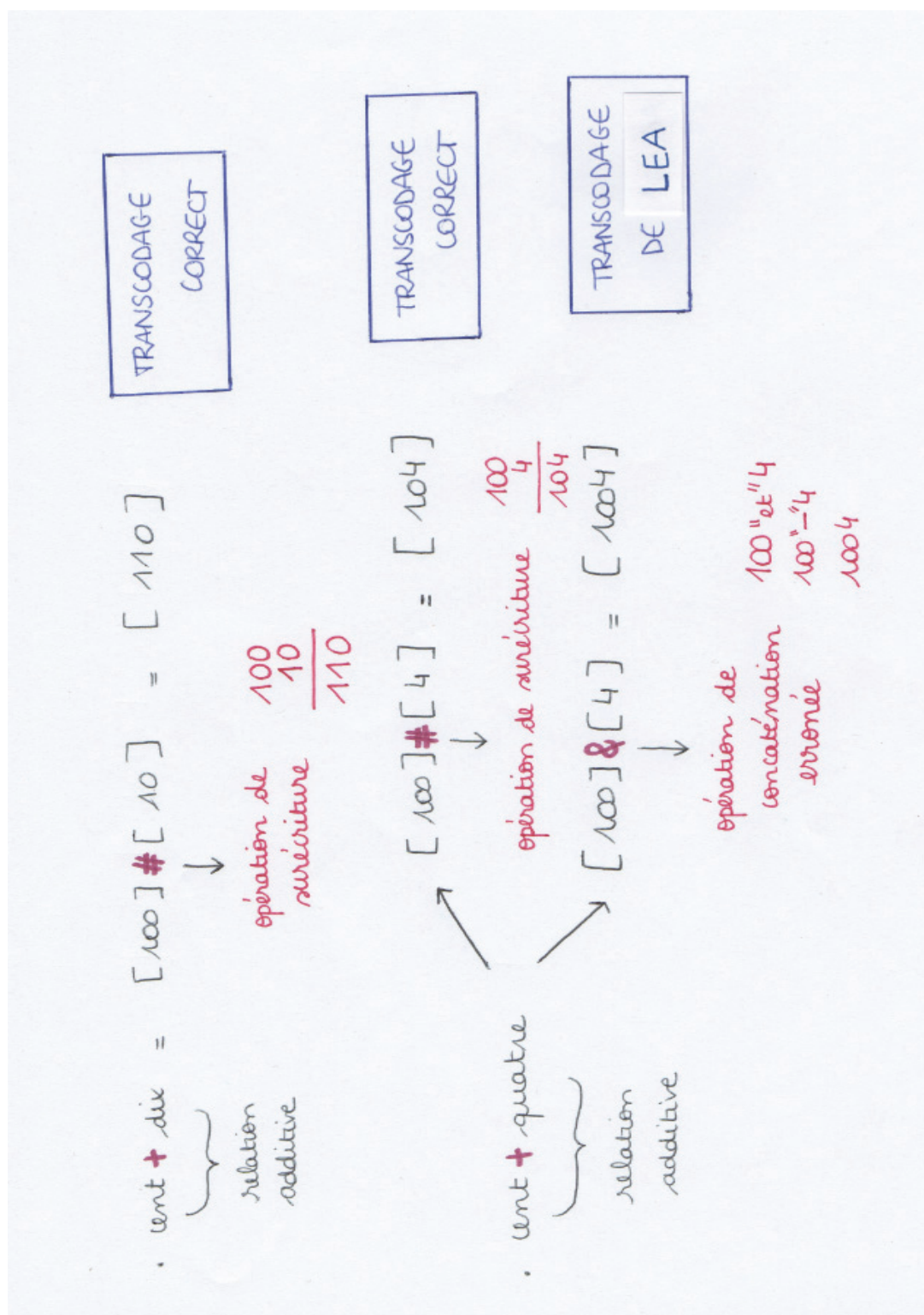
2+7=Echoué

5-3=OK
3-1=OK
7-4=OK
14-6=OK
19-7=Echoué
17-4=OK
18-6=OK
29-7=OK
87-6=OK
45-7=OK
69-23=OK
73-36=Echoué
62-24=Echoué
Ecrire '27'=OK
Ecrire '90'=OK
Ecrire '358'=Echoué
Ecrire '110'=OK
Lire '82'=réussi
Lire '104'=Echoué

Annexe X : Schéma expliquant le transcodage erroné de Léa (1)



Annexe XI : Schéma expliquant le transcodage erroné de Léa (2)



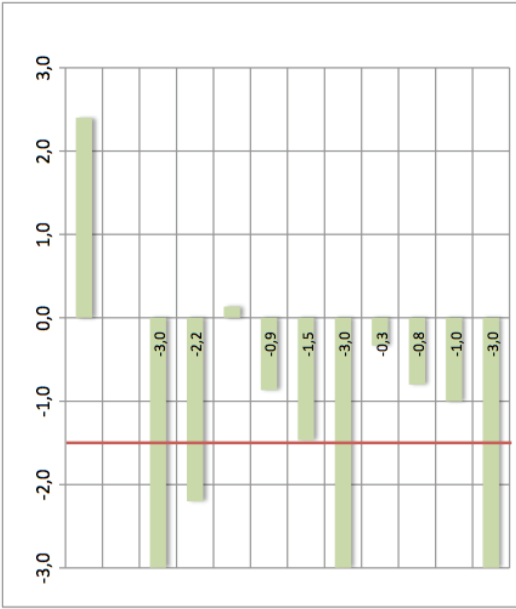
Annexe XII : Compte rendu Excel de Léa (Normes CE1)

Résultats au test MathEval

Léa
 Deuxième Primaire (CE1)
 07/04/14
 Référence aux Normes CE1 (2P)



	Résultat brut	Centile	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	28	100	136	2,4
Gnoses digitales	-1	Pas de normes en 2P		
Comptine simple(*)	5	0	55	-3,0
Manipulation de la chaîne numérique(*)	38	1	67	-2,2
Dénombrement(*)	12	56	102	0,1
Subitizing(*)	12	19	87	-0,9
"Sens" des nombres	18	97	78	-1,5
Additions	18	0	55	-3,0
Soustractions	35	38	95	-0,3
Ecriture des nombres arabes	15	21	88	-0,8
Lecture des nombres arabes	6	17	85	-1,0
Total au test MathEval	159	0	55	-3,0



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
 Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

(*) Ces sous-tests, évaluant des prérequis, connaissent un effet "plafond" ; ils ne discriminent pas les élèves moyens ou supérieurs à la moyenne.
 Par contre, ils discriminent très bien les élèves les plus en difficulté.

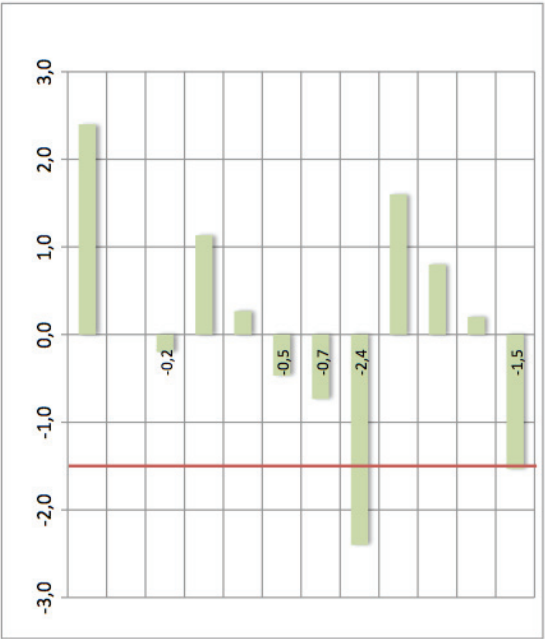
Annexe XIII : Compte rendu Excel de Léa (Normes CP)

Résultats au test MathEval



Léa
Deuxième Primaire (CE1)
07/04/14
Référence aux Normes CP

	Résultat brut	Fréquence cumulée	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	28	100	136	2,4
Gnoses digitales	-1	non testé	non testé	Non disponible
Comptine simple	5	62	97	-0,2
Manipulation de la chaîne numérique	38	89	117	1,1
Dénombrement	12	100	104	0,3
Subitizing	12	56	93	-0,5
"Sens" des nombres	18	30	89	-0,7
Additions	18	2	64	-2,4
Soustractions	35	95	124	1,6
Ecriture des nombres arabes	15	84	112	0,8
Lecture des nombres arabes	6	78	103	0,2
Total au test MathEval	159	6	77	-1,5



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

Annexe XIV : Compte rendu Word d'Agathe

Evaluation de Agathe L

Agathe, élève de première primaire (ou CP), a été évalué(e) en mathématiques ce 7/4/2014, à l'aide du test MathEval. Le test a été effectué en 26'.

Agathe compte correctement jusque 39.

En ce qui concerne la chaîne numérique, Agathe se situe au stade 4 au moins (sur 5 possibles), c-à-d au stade de la chaîne dénombrable. La chaîne numérique n'est plus uniquement une succession de nombres ordinaux ; chaque mot-nombre évoque aussi son cardinal. Agathe est doté(e) des compétences nécessaires pour être en mesure de résoudre des opérations par surcomptage (compter x à partir de y).

Le comptage par pas de 10 est réussi jusque 50. Par contre, le comptage par pas de 2 et 5 ainsi que le comptage à rebours sont échoués.

Acquisition des stades de dénombrement (Gelman & Gallistel) :

- correspondance terme à terme : acquis
- ordre stable : acquis
- non pertinence de l'ordre : acquis
- cardinal : semble acquis ; en tout cas, Agathe cite le dernier mot-nombre prononcé à la question 'combien y-en-a-t-il ?'
- abstraction : non évalué. Il nous semble que ce principe est universel, parce qu'indispensable à la survie ; il se manifeste dans toutes les activités et pas seulement dans les épreuves de comptage.

Agathe subitise correctement jusqu'à cinq éléments mais pas davantage ; le subitizing de configurations de doigts levés de manière canonique (pouce levé pour 1 doigt, pouce et index pour 2 doigts, etc.) est possible jusqu'à sept doigts au moins (non testé au-delà).

En calcul mental, Agathe ne maîtrise pas les additions nécessitant un passage par la dizaine. Par contre Agathe réussit les additions du type $DU+U$ jusque 100 mais sans passage de classe (par ex., '47+4' est échoué).

En calcul mental, Agathe réussit les soustractions impliquant un passage par la dizaine (ex. : '15-7'), mais SANS utiliser un algorithme correct, c-à-d généralisable mais échoue à soustraire deux nombres dont le résultat se situe entre 10 et 15 (ex. : '17-4').

Agathe est capable d'écrire les nombres arabes jusque 55 environ ; des erreurs sont commises ensuite.

La lecture de nombres arabes à 2 chiffres, tout en étant parfois réussie, n'est pas vraiment maîtrisée.

Résultats bruts aux différents sous-tests :

- résultat 'gnosies' : 14
- résultat 'comptine à l'endroit' : 3
- résultat 'manipulation de la chaîne numérique' : 20
- résultat 'dénombrement' : 10
- résultat 'subitizing' : 12 ('ronds' = 5 ; 'doigts' = 7)

- résultat 'sens des nombres' : 9
- Transcodage
 - o résultat 'dictée de nombres' : 12
 - o résultat 'lecture de nombres' : 5
- Calcul mental
 - o résultat 'additions' : 28
 - o résultat 'soustraction' : 21

Résultats bruts

L	
Agathe	
première primaire (ou CP)	
Durée du test	26
Gnosies digitales	14
Comptine simple	3
Manipulation de la chaîne numérique	20
Total comptine	23
Dénombrement	10
Subitizing	12
"Sens" des nombres	9
Additions	28
Soustractions	21
Ecriture des nombres arabes	12
Lecture des nombres arabes	5

Remarque : les nombres négatifs signifient que la tâche n'a pas été proposée.

Annexe XV : Compte rendu « Text Edit » d'Agathe

[Test 'MathEval'] <http://matheval.be.cx/>=
[DATE] = 7/4/2014
[IDENTIFICATION] Nom= L
 Prénom= Agathe
 Classe= 1ère primaire
[QUESTIONS POSEES]=
Connaît la comptine numérique jusque=39 (Total Comptine = 3)
Compter de 4 à 9=OK (Total Comptine = 21)
Comptage par 2 échoué=(Total Comptine = 21)
Comptage par 5 échoué=(Total Comptine = 21)
Compte par 10 jusque=50 (Total Comptine = 23)
Comptage à rebours en partant de 9=Echec (Total Comptine = 23)
Compter 9 objets=OK
Principe cardinal=OK
Correspondance terme à terme=OK
Ordre stable=OK
Compter 19 objets=Echec
Compter 13 objets=OK
Non pertinence de l'ordre=OK
Subitizer 1=OK
Subitizer 3=OK
Subitizer 6=Echec
Subitizer 5=OK
Subitizer 3 doigts=OK
Subitizer 7 doigts=OK
Situer 49 par rapport à 62=réussi (4)
Situer 91 par rapport à 53=réussi (2)
Sur une ligne de 'longueur 10', situer 9=Echoué
Sur une ligne de 'longueur 10', situer 1=réussi (3)
Sur une ligne de 'longueur 10', situer 2=réussi (1)
Sur une ligne de 'longueur 10', situer 8=réussi (2)
Sur une ligne de 'longueur 20', situer 10=Echec
Sur une ligne de 'longueur 20', situer 18=réussi (3)
Sur une ligne de 'longueur 100', situer 42=Echec
4+5=OK
9+3=OK
7+6=Echoué
11+4=OK
13+5=OK

23+4=OK

82+6=OK

67+6=Echoué

47+4=Echoué

5-3=OK

7-4=OK

14-6=Echoué

12-4=OK

15-7=OK

19-7=Echoué

17-4=Echoué

Ecrire '27'=OK

Ecrire '90'=Echoué

Ecrire '45'=OK

Ecrire '54'=OK

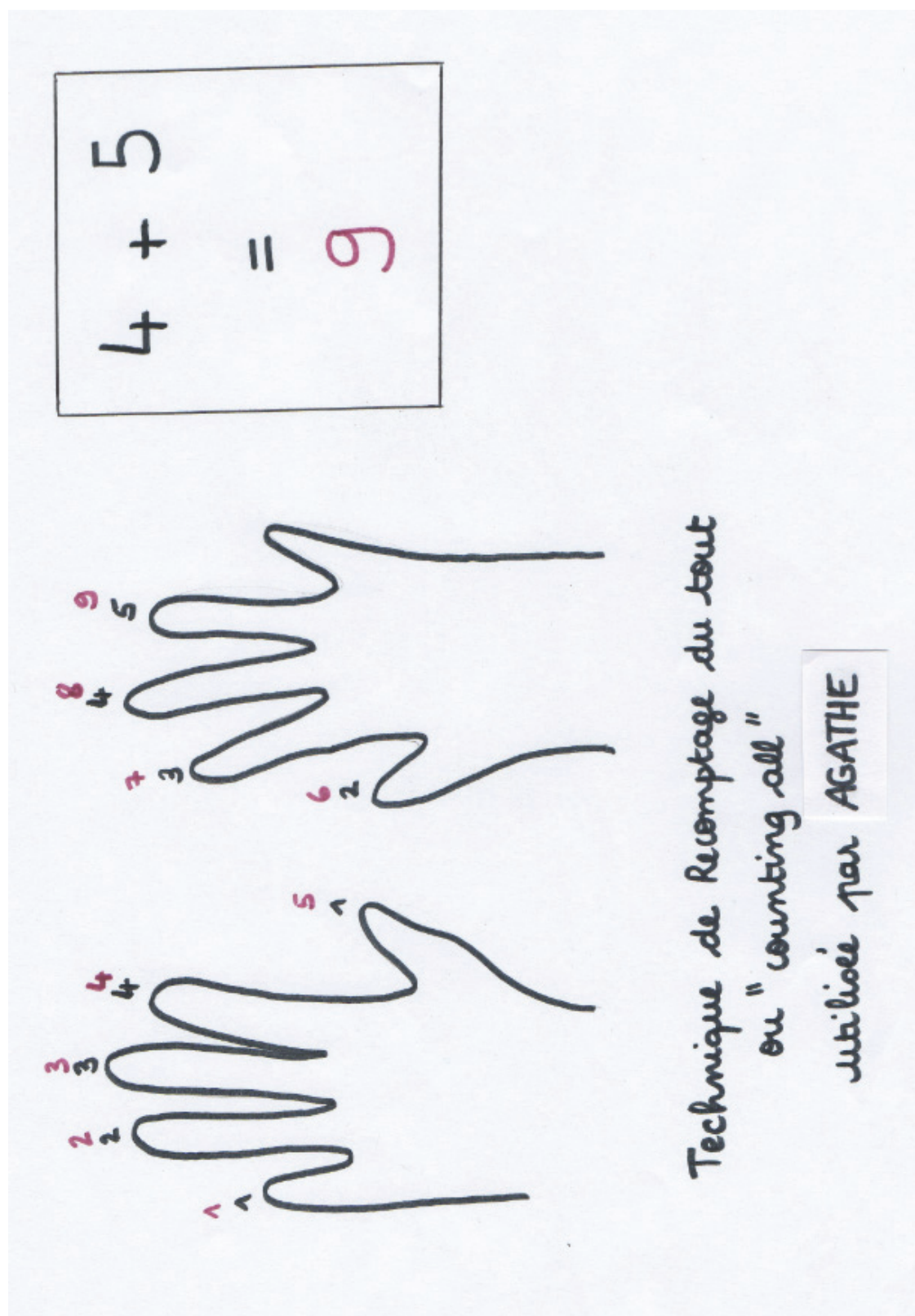
Lire '15'=réussi

Lire '82'=Echoué

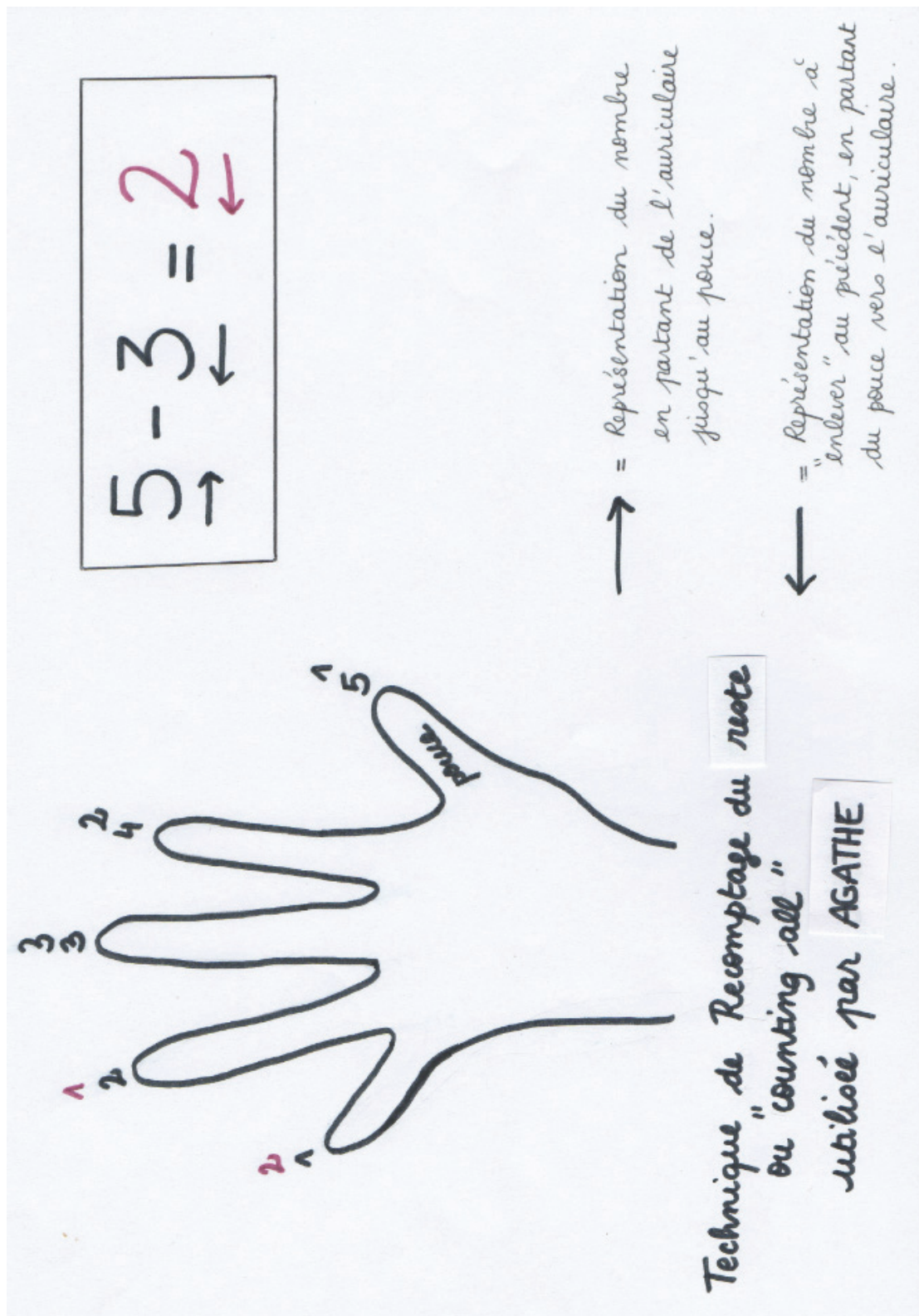
Lire '23'=réussi

Lire '45'=réussi

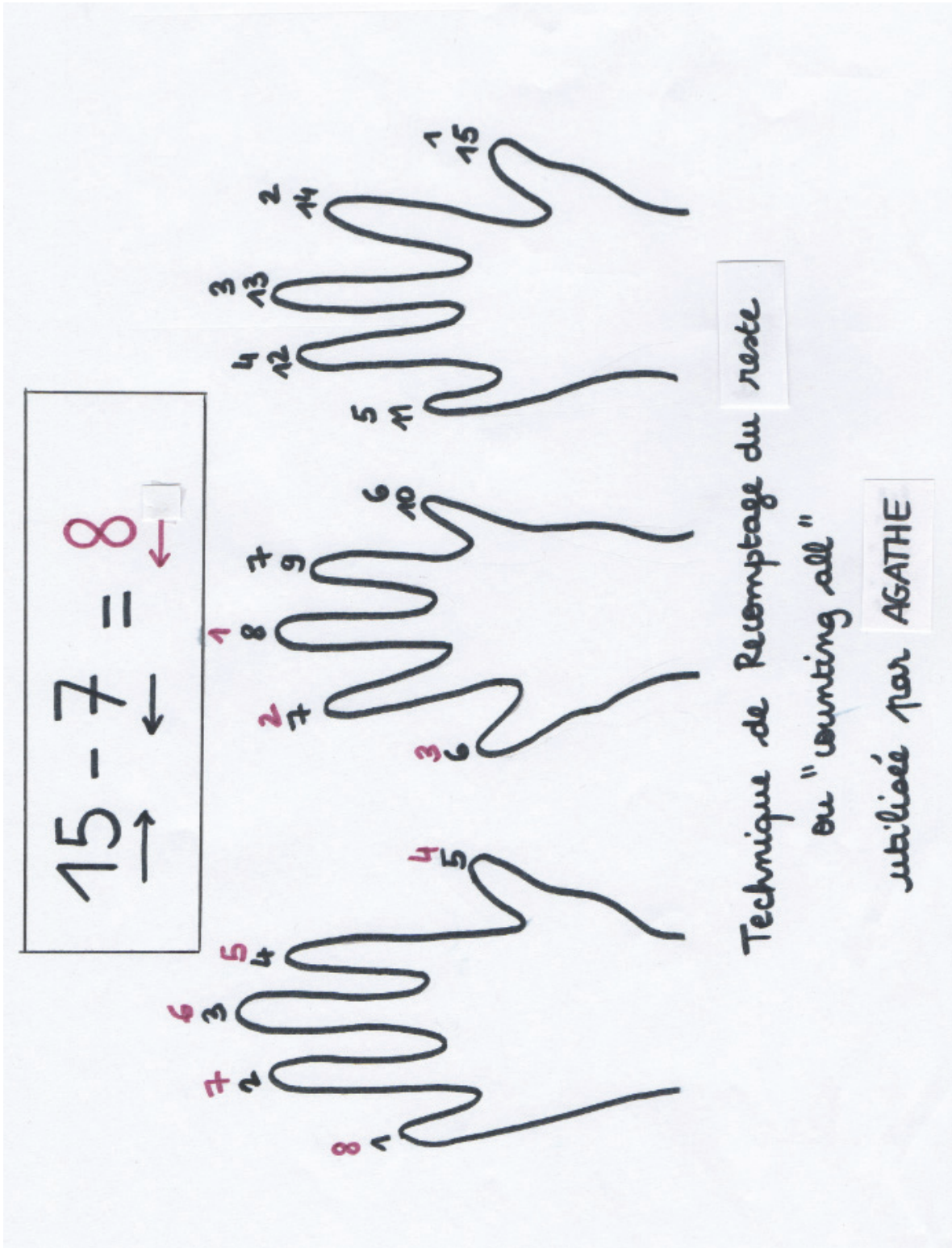
Annexe XVI : Schéma expliquant la technique de Recomptage du tout développée par Agathe



Annexe XVII : Schéma expliquant la technique de Recomptage du reste développée par Agathe (1)



Annexe XVIII : Schéma expliquant la technique de Recomptage du reste développée par Agathe (2)



Annexe XIX : Schéma expliquant le transcodage erroné d'Agathe

PROCÉDURES DE TRANSCODAGE AUTOMATISÉES

$$.[82] = \text{quatre} \times \text{vingt} + \text{deux} = 3 \text{ primitives lexicales} = 2 \text{ chiffres} = 80 + 2 = 82$$

relation multiplicative
 relation additive
 (quatre = unité)
 (vingt = dizaine)
 (deux = unité)

"quatre-vingt" = [80]
 "deux" = [2]

$$.[72] = \text{soixante} + \text{douze} = 2 \text{ primitives lexicales} = 2 \text{ chiffres} = 60 + 12 = 72$$

relation additive
 (soixante = dizaine)
 (douze = particulier)

"soixante" = [60]
 "douze" = [12]

$$. \text{quatre} \times \text{vingt} + \text{deux} = 3 \text{ primitives lexicales} = 2 \text{ chiffres} = 70 + 2 = 72$$

relation multiplicative
 relation additive
 (quatre = ~~unité~~)
 (vingt = dizaine)
 (deux = unité)

"[...]vingt" = "soixante-dix" = [70]
 "deux" = [2]

TRANSCODAGE ERRONÉ D'AGATHE

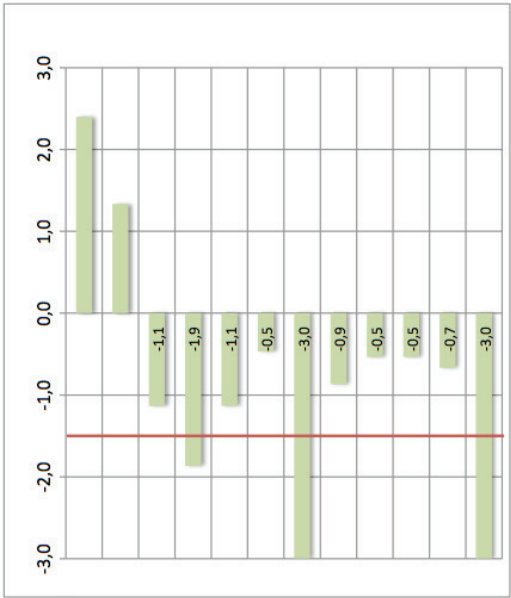
Annexe XX : Compte rendu Excel d'Agathe (Normes CP)

Résultats au test MathEval

Agathe
Première primaire (CP)
07/04/14
Référence aux Normes CP (1P)



	Résultat brut	Fréquence cumulée	Résultat normalisé	Déviation (en écart-type)
Durée du test	26	100	136	2,4
Gnoses digitales	14	100	120	1,3
Comptine simple	3	17	83	-1,1
Manipulation de la chaîne numérique	20	3	72	-1,9
Dénombrement	10	19	83	-1,1
Subitizing	12	56	93	-0,5
"Sens" des nombres	9	0	55	-3,0
Additions	28	22	87	-0,9
Soustractions	21	30	92	-0,5
Ecriture des nombres arabes	12	46	92	-0,5
Lecture des nombres arabes	5	37	90	-0,7
Total au test MathEval	120	0	55	-3,0



Les étalonnages concernant la durée de passation sont à interpréter comme suit : plus la durée est longue, plus le "résultat" est élevé.
Par ex., une fréquence cumulée égale à 90 signifie que l'enfant fait partie des 10% les plus lents à ce test.

Annexe XXI : Aide à l'installation du logiciel MathEval

Lien pour le téléchargement du logiciel MathEval :

<http://matheval.new.fr/>

Avant tout téléchargement du logiciel, Marc Heremans conseille de télécharger un logiciel nommé « 7-zip » permettant la décompression de dossiers téléchargés. Ce dernier vous permettra de décompresser la version de MathEval telle que vous l'aurez téléchargée par la suite.

En cas de problème de téléchargement Marc Heremans reste entièrement disponible à vos questions par mail : ottignies@centrepms.be

A savoir que le logiciel MathEval, de même que le contenu du site internet lui étant consacré, est mis à disposition selon les termes de la **licence Creative Commons** « Paternité – Pas d'Utilisation Commerciale – Pas de modification ».

En utilisant ce logiciel, vous êtes donc libres de reproduire, distribuer et communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :

- Paternité : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre (par exemple, en plaçant un lien visible renvoyant à ce site) ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre).
- Pas d'Utilisation Commerciale : Vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales.
- Pas de Modification : Vous n'avez pas le droit de modifier, de transformer ou d'adapter cette création.

Didacticiels du logiciel MathEval disponibles sur Youtube :

- Didacticiel n°1 du test MathEval : présentation générale du test¹¹⁸
- Didacticiel n°2-1 du test MathEval : immersion dans le test à l'aide d'un enfant (fictif) de Moyenne Section de Maternelle – partie 1¹¹⁹
- Didacticiel n°2-2 du test MathEval : immersion dans le test à l'aide d'un enfant (fictif) de Moyenne Section de Maternelle – partie 2¹²⁰
- Didacticiel n°2-3 du test MathEval¹²¹

¹¹⁸ <http://www.youtube.com/watch?v=QFuoEB8LzrA>

¹¹⁹ <http://www.youtube.com/watch?v=4LpltS1m6Ug>

¹²⁰ <http://www.youtube.com/watch?v=V0t6OQD27To>

¹²¹ <http://www.youtube.com/watch?v=yQ3PuxGqebS>

Camille Simon

EVALUATION LOGICO-MATHEMATIQUE A TRAVERS LE LOGICIEL MATHEVAL

161 pages

Mémoire d'orthophonie – UNS / Faculté de Médecine - Nice 2014

RESUME

Quelles structures évaluer lors d'une évaluation logico-mathématique ?

Quel(s) test(s) utiliser ?

Telles sont les questions que se posent de nombreux orthophonistes lorsqu'ils sont confrontés à une demande de bilan.

Cela peut s'expliquer en partie par un manque de formation et d'informations concernant les tests présents sur le marché, ainsi que sur l'ensemble des troubles existants.

C'est tout d'abord par un rappel théorique des différentes notions intéressant les troubles "logico-mathématiques", ainsi que par la revue détaillée de leur évaluation générale dans la pratique orthophonique, que ce mémoire tentera de répondre à de telles questions.

C'est ensuite à travers la découverte d'un logiciel nommé "MathEval" permettant une évaluation "logico-mathématique" de base, et grâce à une étude approfondie de huit cas investigués via ce dernier, que nous avons pu nous pencher sur des pistes concrètes de rééducation des troubles du raisonnement logico-mathématique.

MOTS-CLES

Dyscalculie – Orthophonie – Evaluation – Etude de cas – Enfant (de 0 à 12 ans) – Logique - Mathématiques

DIRECTEUR DE MEMOIRE

Isabelle Thubé-Poli