



Université Lille 2
Droit et Santé



Institut d'Orthophonie
Gabriel DECROIX

MEMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophonie
présenté par :

Chloé REGINA

soutenu publiquement en juin 2012 :

« A l'aventure Dénombré » :
Le dénombrement chez l'enfant Infirmes Moteur
Cérébral âgé entre 6 et 10 ans, étude et essai
d'élaboration d'un jeu sur support informatique visant
à renforcer cette compétence.

MEMOIRE dirigé par :

Monique Bednarek , orthophoniste en libéral à Evin Malmaison

Clarisse Lefèvre , orthophoniste à l'Institut médico éducatif la Cigale à Nîmes

Lille – 2012

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mes maîtres de mémoire : Madame Bednarek et Madame Lefèvre pour leurs conseils, leurs remarques, et pour le temps qu'elles ont consacré à la lecture bienveillante de ce mémoire et à sa réalisation. Je remercie aussi monsieur le Dr Torres, médecin de médecine physique et de réadaptation fonctionnelle, pour son aide et sa lecture critique de ma partie consacrée à l'enfant Infirme Moteur Cérébral, ainsi que tous les directeurs de structures qui m'ont permis de rencontrer les enfants de ma population et leurs collaborateurs orthophonistes ou autres qui m'ont apporté des conseils. Je remercie particulièrement dans l'ordre alphabétique Mesdames Aubat, Confort-Cotard, Durand, Gimenez, Hardy, Jacquesson, Nobile, Massaut, ainsi que monsieur Bouguin et le docteur Wagner (médecin de médecine physique et de réadaptation fonctionnelle). Je remercie aussi mes maîtres de stage : mesdames Caritey-Carue et Larroque-Hillenmeyer pour leurs apports théoriques et cliniques.

Je remercie aussi les enfants Marie, Mathieu, Damien, Pierre, Louis, Romain, Victor, Jérôme, Sandra, Patrick, Mélissa, Alan et Matteo, et leurs familles pour leur patience et leur gentillesse, et sans qui ce travail n'aurait pu aboutir.

Enfin je tiens à remercier mon amie Emilie et Thomas pour leur aide dans la réalisation du jeu, ainsi que ma famille pour son soutien durant l'année.

Résumé :

Le dénombrement est un processus de quantification complexe. Dans les nouvelles conceptions sur le nombre, cette procédure contribue à la construction du nombre.

L'enfant infirme moteur cérébral présente bien souvent des troubles neuropsychologiques associés à sa déficience motrice, qui peuvent venir entraver l'exercice de cette procédure. Les études effectuées chez cette population ont montré combien cette compétence pouvait être importante pour le développement ultérieur de la pensée mathématique et la réussite scolaire.

Notre mémoire s'est intéressé au dénombrement chez l'enfant Infirmes Motrices Cérébrales âgé entre six et dix ans. Il nous a paru intéressant de développer un jeu sur support informatique visant à contourner les troubles associés, qui influent sur la réussite du dénombrement. La réalisation d'une enquête par le biais d'un questionnaire et l'étude de cette compétence chez huit sujets ont confirmé l'existence de ces difficultés. Fort des réponses obtenues au questionnaire portant sur l'intérêt de cette création et des constats notés chez nos sujets après les avoir évalués avec certaines épreuves du TEDI-MATH, nous avons estimé que cette création pouvait revêtir un intérêt dans la rééducation de la dyscalculie.

La proposition de ce matériel à sept enfants a confirmé l'efficacité relative de celui-ci, puisque quatre sujets ont pu augmenter leur score en dénombrement suite à ces séances, et donc construire une représentation quantitative plus solide du nombre. En ce qui concerne les autres sujets, notre réalisation aura permis une facilitation de cette procédure pouvant laisser penser une évolution positive avec plus de temps de prise en charge.

Mots-clés :

Neuropsychologie, dyscalculie, Infirmes Motrices Cérébrales, matériel, enfant (6-10 ans), dénombrement.

Abstract :

The counting out is a complicated quantification process. In the new number concepts, this contributes to the building of number.

The cerebral palsy child presents neuropsychological disorders due to his motor deficiency. Experimentations done on these children have shown how this competence is important on two levels: for the development of mathematical thought and for school success in general.

Our report has focused on counting out cerebral palsy on children aged 6 to 10. It was interesting to elaborate a game on a computer to prevent associated disorders which have an influence on the counting process. That game and questions have been tested on eight subjects. They have confirmed the existence of difficulties.

The results we have obtained have convinced us about the various interests of the game with the help of TEDI MATH. We believe our creation can help us in curing dyscalculia.

The equipment was offered to seven children. It confirms a relative efficiency as four of them improved their counting results after using it. Thanks to it, they had a better quantitative representation of numbers.

As far as the other subjects are concerned, our material has permitted us to make the procedure easier. A positive evolution could be possible if we spent more time on it with them.

Keywords :

Neuropsychology, dyscalculia, cerebral palsy, re-education-equipment, child (6-10 years), counting out.

Table des matières

<u>Introduction.....</u>	<u>10</u>
<u>Contexte théorique, buts et hypothèses.....</u>	<u>12</u>
<u>1.La construction du nombre chez l'enfant</u>	<u>13</u>
1.1.Introduction : concepts théoriques:	13
1.1.1.La conception piagétienne du nombre:	13
1.1.1.1 Le nombre : le fruit d'une construction.....	13
1.1.1.1.1 Le stade sensori-moteur.....	13
1.1.1.1.2 Le stade de l'intelligence symbolique (ou de la pensée préopératoire).....	14
1.1.1.1.3 Le stade de la pensée opératoire.....	14
1.1.1.1.4 Le stade de la pensée formelle.....	14
1.1.1.2. En conclusion.....	14
1.1.2. Apports de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie	15
1.1.3. Controverse sur la primauté des principes du dénombrement et l'installation du comptage.....	18
1.1.3.1.« La théorie des principes en premier ».....	19
1.1.3.2.« La théorie des principes après ».....	19
1.2.La chaîne numérique verbale:	19
1.2.1.Acquisition de la suite verbale chez l'enfant :	19
1.2.1.1.Phase initiale : trois parties dans la chaîne des mots-nombres.....	20
1.2.1.1.1.Partie stable et conventionnelle.....	20
1.2.1.1.2.Partie stable mais non conventionnelle.....	20
1.2.1.1.3.Partie instable et non conventionnelle.....	21
1.2.1.2.Les différents niveaux d'élaboration et de conceptualisation.....	21
1.2.1.2.1.Le niveau chapelet.....	21
1.2.1.2.2.Le niveau chaîne insécable.....	21
1.2.1.2.3.Le niveau chaîne sécable	22
1.2.1.2.4.La chaîne terminale.....	22
1.2.1.3.De l'apprentissage par cœur à l'élaboration.....	22
1.2.2.Linguistique et suite des nombres.....	23
1.2.2.1.Le lexique.....	23
1.2.2.2.La syntaxe.....	23
1.3.L'accès à la numérosité.....	24
1.3.1.Les procédures de quantification chez l'enfant.....	24
1.3.1.1.. Perception immédiate globale ou estimation.....	24
1.3.1.2.Perception globale de petites quantités ou subitizing.....	24
1.3.1.3.Le dénombrement.....	24
1.3.1.3.1.Les composantes de base du dénombrement.....	24
1.3.1.3.2.Les cinq principes de Gelman et Gallistel.....	25
1.3.2.Lien entre le comptage et le dénombrement.....	26
- Du comptage numérotage au dénombrement.....	26
<u>2.L'infirmité motrice cérébrale (I.M.C.).....</u>	<u>28</u>
2.1.Généralités.....	28
2.1.1.Historique et définitions.....	28
2.1.1.1.La conception anglo-saxone.....	28
2.1.1.2. La conception française.....	28
2.1.2.Epidémiologie.....	28

2.1.3.Etiologies.....	29
2.1.3.1.Causes prénatales	29
2.1.3.2.Causes périnatales.....	29
2.1.3.3.Causes post-natales.....	29
2.2 Troubles médicaux associés.....	30
2.2.1 L'épilepsie.....	30
2.2.3 Autres troubles.....	30
2.3 Les déficiences anatomiques.....	30
2.3.1 Les déficiences sensibles.....	30
2.3.2 Les déficiences sensorielles.....	31
2.3.3. Les déficiences motrices.....	31
2.3.3.1.Topographie.....	31
2.3.3.2. Typologie.....	31
2.4. Les déficiences neuropsychologiques ou cognitives.....	33
2.4.1. Les troubles langagiers.....	33
2.4.2. Les troubles neurovisuels.....	34
- Les fonctions oculomotrices.....	34
2.4.3 Les troubles gnosiques.....	36
2.4.4 Les troubles praxiques.....	37
2.4.5 Les troubles mnésiques.....	38
2.4.6. Les troubles des fonctions exécutives.....	39
2.4.6.1 Les troubles dysexécutifs.....	39
2.4.6.2 Les capacités attentionnelles.....	40
2.4.6.3. Description des troubles dysexécutifs.....	40
2.4.7. Les troubles de l'organisation spatiale.....	41
2.5 Les difficultés psychoaffectives.....	42
2.6.Grands tableaux cliniques	43
3. L'enfant Infirmes moteur cérébral et la construction du nombre.....	44
3.1 Fonctions cognitives nécessaires au développement des compétences numériques.....	44
3.1.1 Le langage, la mémoire et les compétences numériques.....	44
3.1.2 Le syndrome frontal et les compétences numériques.....	45
3.1.3. La logique et les compétences numériques.....	45
3.1.4 Les troubles du regard.....	45
3.2. Les difficultés logico-mathématiques retrouvées lors des études	45
3.3. Le dénombrement.....	46
3.3.1 Les composantes du dénombrement touchées.....	47
3.3.2 Les principes de Gelman et Gallistel les plus touchés.....	48
3.4. L'enfant I.M.C peut-il être dyscalculique ?.....	49
3.5 Les solutions proposées pour remédier à ces troubles.....	51
3.5.1.Le subitizing peut-il remplacer un dénombrement peu efficace ?.....	51
3.5.2. L'apport de la verbalisation.....	51
3.5.3. Adaptations du matériel ou passage direct au nombre.....	52
4. Buts et hypothèses.....	53
Sujets, matériel et méthode.....	54
1.Méthodologie.....	55
1.1 Revue du matériel existant et dégagement des manques.....	55
1.2.Questionnaire.....	56
1.2.1 Construction du questionnaire.....	56
1.2.2 Public visé.....	56

1.2.3 Conditions de présentation du questionnaire.....	57
1.2.4 Réponses.....	57
1.2.4.1 Identité des professionnels interrogés.....	57
1.2.4.2. Place du dénombrement dans les structures logico-mathématiques atteintes et contraintes à cet apprentissage.....	58
1.2.4.3. Matériel utilisé en rééducation.....	58
1.2.4.4. Intérêt pour cette création.....	59
1.2.5 Critiques du questionnaire.....	59
1.3. Réalisation du matériel.....	60
1.3.1 L'élaboration de l'histoire.....	60
1.3.2. La création des exercices.....	60
1.3.3. Les moyens mis en place pour contrer les troubles neurovisuels.....	61
1.4. Présentation de l'étude.....	61
1.4.1 Phase de « validation »	61
1.4.2 Phase d'expérimentation chez la population pathologique.....	62
2. Présentation des populations	62
2.1. Population contrôle.....	62
2.2. Population pathologique.....	62
2.2.1 Critères d'exclusion et d'inclusion.....	62
2.2.2 Lieux et contexte de passation.....	63
2.3. Les enfants de la population pathologique.....	63
2.3.1 Marie.....	63
2.3.2 Damien.....	64
2.3.3. Pierre.....	64
2.3.4 Louis.....	65
2.3.5 Romain.....	65
2.3.6 Jérôme.....	66
2.3.7 Victor.....	66
2.3.8 Mathieu.....	67
2.4. Tests utilisés.....	67
2.4.1 Présentation rapide des tests utilisés.....	68
2.4.2 Choix du Tedi- Math.....	68
2.4.3 La présentation des tests	68
2.4.3.1 La population contrôle.....	68
2.4.3.2 La population des enfants I.M.C.	69
2.4.4. La présentation du Tedi- Math aux enfants I.M.C.....	69
2.4.4.1. Le principe d'ordre stable	69
2.4.4.2. Le principe d'abstraction.....	70
2.4.4.3. Le principe d'ordre indifférent ou de non pertinence de l'ordre.....	71
2.4.4.4 Le principe de correspondance terme à terme.....	71
2.4.4.5. Le principe cardinal.....	73
3. Présentation du matériel.....	74
3.1. Règle du jeu.....	74
3.1.1. Principe.....	74
3.1.2. Déroulement.....	74
3.2. Objectifs généraux.....	75
3.3. Exercices.....	76
3.3.1. Le travail du principe d'ordre stable.....	76
3.3.1.1. Chez M. Croco.....	76
3.3.1.2 La préparation des affaires.....	77
3.3.2. Le travail du principe d'abstraction	78

3.3.3. Le travail du principe d'ordre indifférent	78
3.3.4. Le travail du principe de correspondance terme à terme.....	79
3.3.5. Le travail du principe cardinal	80
4.L'utilisation du matériel.....	80
4.1. Description des séances auprès de la population contrôle.....	80
4.1.1. Prise de contact.....	80
4.1.2 Observations	81
4.1.3. Premières modifications effectuées.....	82
4.2. Description des séances auprès des enfants.....	82
4.2.1. Prise de contact.....	82
4.2.2. Séances de recrutement.....	82
4.2.3. Utilisation du matériel.....	82
Résultats.....	84
1. Analyse des séances d'utilisation du matériel.....	85
1.1. Marie.....	85
1.2. Damien.....	86
1.3. Pierre.....	89
1.4. Romain.....	90
1.5. Jérôme.....	92
1.6. Victor.....	94
1.7. Mathieu.....	95
2. Observations faites sur le matériel.....	97
2.1 Avis des enfants.....	97
2.2 Remarques des orthophonistes	98
2.2.1. La forme	98
2.2.2 Le contenu	98
2.3. Améliorations du logiciel.....	99
2.3.1. Les modifications faites.....	99
2.3.2. Les améliorations futures.....	100
3. Résultats des enfants lors de la post-évaluation.....	101
3.1. Comparaison des résultats au tedi-math.....	101
3.1.1. Marie.....	101
3.1.2. Damien.....	101
3.1.3. Pierre.....	103
3.1.4. Romain.....	104
3.1.5. Jérôme.....	105
3.1.6. Victor.....	105
3.1.7. Mathieu.....	106
3.2. Conclusion et réponses aux hypothèses de départ.....	107
Discussion.....	112
1. Rappel du cadre théorique.....	113
2. Rappel des principaux résultats.....	113
3. Réflexions sur les objectifs fixés.....	115
4. Critiques et problèmes rencontrés.....	115
4.1. Une étude pilote.....	115
4.2. Critiques méthodologiques	116
4.3. Problèmes rencontrés.....	118
5. Apports de ce travail.....	119
5.1 Apports de ce travail au domaine de l'orthophonie.....	119

5.2. Apports personnels de ce travail.....	119
6.Ouvertures.....	120
Conclusion.....	122
Bibliographie.....	125
Liste des annexes.....	132
Annexe n°1 : Modèles théoriques du dénombrement.....	133
Annexe n°2 : Modèle triple code de Dehaene et Coehn.....	133
Annexe n°3 : Grands tableaux cliniques de l'infirmité motrice cérébrale.....	133
Annexe n°4 : Comparatif effectué sur les logiciels.....	133
Annexe n°5 : Questionnaire vierge.....	133
Annexe n°6 : Déficiences neuropsychologiques des enfants I.M.C.....	133
Annexe n°7 : Résultats des enfants de la population contrôle au test.....	133
Annexe n°8 : Résultats des enfants I.M.C. à l'E.C.O.S.S.E, le TVAP-F, l'ANITEST et la N.E.E.L.....	133
Annexe n°9 : Présentation du TEDI-MATH.....	133
Annexe n° 10 : Tableau d'observation d'une séance.....	133
Annexe n° 11 : Tableau recueil de l'avis des enfants.....	133
Annexe n°12 : Scores des enfants I.M.C au TEDI-MATH.....	133
Annexe n° 13 : Configuration informatique requise pour utiliser le jeu.....	133

Introduction

Le dénombrement est un processus de quantification complexe et lent qui fait appel à de nombreuses habiletés. Longtemps sous-estimé, il apparaît aujourd'hui dans les nouvelles conceptions sur le nombre comme un des outils indispensables permettant l'accès à sa signification.

Or l'enfant I.M.C.,(Infirme Moteur Cérébral) présente bien souvent outre son handicap moteur de nombreux troubles associés, qui ne lui permettent pas l'accès à certains apprentissages mathématiques dont le dénombrement fait partie. Cette procédure est souvent échouée et ne lui permet donc pas d'atteindre l'invariance de la quantité.

Quelles sont ces difficultés mathématiques ? Comment faciliter le succès du dénombrement et lui garantir un meilleur accès au nombre?

Force est de constater que peu d'outils rééducatifs proposent des activités sur ce sujet prenant en compte les troubles associés de l'enfant I.M.C. Or, les études et les cliniciens semblent s'accorder sur l'importance de cette procédure, et aussi sur son échec chez ces enfants.

Dès lors, passer par un support informatique prenant en compte certains troubles comorbides semble être un apport nouveau et pouvant peut-être permettre une manipulation à l'enfant, qui lui garantirait de meilleurs résultats.

Après une revue théorique traitant des conceptions du nombre et de sa construction, mais aussi de l'enfant I.M.C et de l'ensemble des troubles possiblement rencontrés, nous avons essayé de présenter les troubles mathématiques de l'enfant I.M.C pouvant découler de ces difficultés, en mettant en exergue les difficultés observées en dénombrement.

Suite à cette première étape faisant revue de la littérature sur le sujet, nous avons cherché à analyser s'il existait des besoins réels de création d'un matériel destiné à développer cette notion; un état des lieux sur les outils informatiques existants, et des témoignages recueillis auprès de cliniciens ont permis d'infirmer ou confirmer cette idée.

L'étude réalisée auprès de huit enfants I.M.C. âgés de six à dix ans nous a permis de vérifier si ces difficultés existaient réellement et si le matériel créé pouvait apporter une amélioration dans la réalisation de cette procédure.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. La construction du nombre chez l'enfant

1.1. Introduction: concepts théoriques:

1.1.1. La conception piagétienne du nombre:

1.1.1.1 Le nombre: le fruit d'une construction

Pour Piaget, l'acquisition du nombre représente un des fondements de l'intelligence. Ainsi pour l'auteur la notion d'intelligence est assimilée à l'élaboration de concepts, au développement de la logique et au développement de la capacité d'adaptation au monde extérieur. L'enfant acquiert la notion de nombre et en même temps il développe son intelligence. La théorie constructiviste piagétienne place l'enfant en position d'acteur de son développement intellectuel. Celui-ci évolue dans un contexte d'interaction permanente avec son environnement. C'est le vécu de diverses expériences qui lui permet de construire son intellect.

Ainsi, selon lui, l'enfant se construit en interaction avec son environnement mais aussi et surtout par son activité propre. Cette construction peut être découpée en périodes qu'il appelle stades. Il en rapporte quatre. Ces stades comportent eux-mêmes des sous-stades, chaque stade découlant du précédent.

Lors de ces différentes périodes l'enfant développe ses connaissances sur les objets; tout d'abord en les manipulant, il fait ressortir leurs propriétés et leurs relations. Puis petit à petit, il arrive à se décentrer de ceux-ci. Les actions deviennent au fur et à mesure de moins en moins concrètes et matérielles, elles s'intériorisent, le dernier stade étant celui des opérations formelles où la conceptualisation abstraite apparaît.

1.1.1.1.1 Le stade sensori-moteur

Durant le premier stade (sensori-moteur), qui dure de la naissance à deux ans, l'enfant mettra en place grâce aux schèmes sensori-moteurs les fondements cognitifs nécessaires à l'établissement des futures structures logiques. Il élabore les notions fondamentales d'objet, de temps, d'espace et de causalité. Il passe de son corps propre au monde des objets permanents. A la fin de cette première période émerge la fonction symbolique, qui lui permet d'élargir son champ de pensée. L'enfant

acquiert les représentations symboliques alors qu'il a déjà acquis une représentation plus juste du réel grâce à ses multiples expériences motrices.

1.1.1.1.2 Le stade de l'intelligence symbolique (ou de la pensée préopératoire)

Lors du second stade, l'enfant pourra construire ses premières représentations mentales (pré-concept) grâce au développement de différentes conduites symboliques. Il met en place l'imitation différée en reproduisant les actions intériorisées lors du précédent stade. Cette capacité marque le passage vers la pré-conceptualisation mais la pensée reste néanmoins intuitive et dépendante de la perception en cette fin de deuxième période. En effet, l'enfant n'est pas encore capable de se détacher de ses actions. Il ne peut en donner une représentation parfaite.

1.1.1.1.3 Le stade de la pensée opératoire

Durant ce stade, l'enfant transforme sa pensée intuitive en une pensée opératoire, mobile et réversible. Le raisonnement logique apparaît, et toujours par le moyen d'actions concrètes et matérielles, les actions peuvent être intériorisées et les objets imaginés. Cependant les opérations portent encore sur des objets. Elles peuvent être de deux types: logico-mathématiques (classification, sériation...) ou infra-logiques (temps, causalité, espace). A partir de sept ans l'enfant peut atteindre l'invariance de la quantité. Mais il reste encore attaché aux objets malgré un passage de l'action à l'opération.

1.1.1.1.4 Le stade de la pensée formelle

Vers onze ans, l'enfant peut accéder à une logique formelle, où les opérations pourront porter sur des énoncés verbaux et non plus seulement sur les objets (construction d'un langage élaboré).

1.1.1.2. En conclusion...

Le modèle piagétien accorde une place importante aux aspects moteurs: «l'intelligence ne se construit pas indépendamment de l'action » (Ménissier, 2010b, 21). Les stades deux, trois et quatre, restent subordonnés au premier. De même, les représentations restent dépendantes des actions et des opérations.

Le nombre n'apparaît véritablement qu'au stade opératoire où l'enfant développe son raisonnement logique et découvre les structures logiques de classification, sériation et conservation, sans lesquelles, il ne peut développer la

notion de nombre sous ses deux facettes: nombre ordinal et nombre cardinal. En effet pour Piaget, le nombre est constitué par la fusion de deux opérations mentales: la classification (réunion de deux termes considérés comme équivalent en faisant abstraction de leur différence) responsable de l'accession à l'aspect cardinal du nombre, et la sériation (construction d'un ordre dans une série) qui elle, est à l'origine de l'accession à l'aspect ordinal du nombre. Deux propriétés constitutives du nombre découlent de ces structures logiques: l'additivité (le tout est égal à la somme des parties), et la conservation (la quantité se conserve quelle que soit les transformations qu'on lui fait subir).

Or pour Piaget, l'acquisition du nombre passerait par la maîtrise des conservations qui prend de longues années avant de s'installer (acquise à 7 ans pour les quantités discontinues).

1.1.2. Apports de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie

Dans l'approche piagétienne (Piaget J., 1991) les compétences numériques et arithmétiques s'élaborent petit à petit. Le concept de nombre est absent chez le jeune enfant (apparition au stade opératoire 7-8 ans) et la stratégie de comptage est délaissée car trop empirique, pratique et non assez conceptuelle.

A l'inverse, des travaux plus récents effectués par des psychologues cognitivistes ou neuropsychologues (les travaux de Halford, 1993, «*cité par*» Fayol, 1999, puis ceux de Gelman, 1982, «*cité par*» Van Nieuwenhoven 1996) accordent une place importante à l'activité de comptage qui va être le sujet de nombreuses études.

Lors de ces études, les auteurs révèlent l'existence de compétences numériques précoces chez les bébés. Ces compétences sont considérées comme innées et contribuent à la construction du nombre.

En plus de ces auteurs, Gelman et Gallistel, ont eux aussi reconnu une place importante au comptage dans le développement du concept de nombre. Leurs travaux récents avec ceux de Fuson en 1988, contrairement à ceux de l'école de Genève, considèrent le comptage comme un indicateur de la richesse des connaissances mathématiques **dès la petite enfance** et comme un facteur potentiellement important du développement des conceptualisations numériques (Fuson, 1988, Gelman et Gallistel, 1982, «*cités par*» Van Nieuwenhoven C, 1996).

Outre ces découvertes les chercheurs appartenant au courant cognitiviste et/ou neuropsychologique ont aussi établi deux modèles théoriques permettant d'expliquer

ces habiletés numériques précoces: **le modèle de l'accumulateur** repris par Gelman et Gallistel et le modèle numérique analogique de Dehaene (Gelman, Gallistel, 1992 «cités par» Noël M.-P 2005 et Dehaene, 1997 «cité par» Noël M.-P. 2005).

- Le modèle de l'accumulateur

En s'inspirant du modèle de Meck et Church (1983, «cités par» Noël M.-P, 2005), Gallistel et Gelman ont décrit le **modèle de l'accumulateur** (cf annexe n°1). Pour ces auteurs, les bébés disposent d'une compétence conceptuelle relative au comptage. Cette compétence permet la réalisation du comptage préverbal et est présente selon Gelman, Gallistel et Wynn (Gallistel et Gelman, 1992 «cités par» Noël, 2005, et Wynn, 1995, «cité par» Noël 2005) au sein d'un module neuronal de comptage préverbal. Ce module se présente sous la forme d'un accumulateur et permettrait au bébé d'appréhender les quantités.

Ce modèle comprend trois mécanismes:

- un générateur interne d'impulsions, qui libère à vitesse constante des impulsions. On dit « qu'il somme des impulsions»;
- une vanne, qui, ouverte, permet la transmission de ces impulsions à l'accumulateur;
- un accumulateur dans lequel nous retrouvons l'énergie chargée soit la somme des impulsions. Cette somme est représentée sous forme de représentations mentales approximatives appelées «magnitudes».

Trois modes d'ouverture et fermeture de la vanne existent. Selon le mode d'ouverture et fermeture de la vanne employée, la représentation sera différente. Ainsi si le mode est continu ou discontinu les représentations seront celles du temps. En revanche si le mode événement est utilisé, la représentation sera numérique car ce dernier sert à l'estimation du nombre.

Dans ce modèle la représentation de la quantité est variable, car l'ouverture de la vanne pendant une même durée ne transmet pas exactement la même quantité d'énergie d'une fois à l'autre. Il existe une variabilité intrinsèque, qui augmente avec la taille de la numérosité représentée, ce qui explique que les bébés discriminent mieux les petites numérosités. Outre cette variabilité, le modèle possède des caractéristiques qui permettent de vérifier même à un niveau préverbal les principes de Gelman et Gallistel relatifs au dénombrement.

- Le modèle analogique de Dehaene

Dehaene a lui aussi décrit un modèle numérique proche de celui de l'accumulateur.

Dans son modèle analogique la représentation des quantités se ferait sous la forme d'une ligne numérique, allant de gauche à droite et comprimée dans la zone des grands nombres. Cette représentation analogique serait sémantique mais non verbale de la taille des nombres. Selon M-P Noël (2005, 25) «les quantités y sont représentées par des accroissements locaux d'activation». Cette représentation permet chez l'adulte la comparaison des chiffres et des calculs approximatifs (cf annexe n°2 modèle de Dehaene et Cohen 1992). Par la suite Dehaene et Changeux (cf annexe n°1) ont intégré ce modèle de détection numérique au sein d'un modèle neuronal comportant 4 modules distincts, chaque module correspondant à une étape du traitement .

-Le premier module correspond à *la carte rétinienne*. Elle est composée de clusters neuronaux (série de neurones densément interconnectés par des synapses) sur lesquels les objets perçus (taille et localisation variables) sont représentés sous la forme d'activations locales. Elle est topographiquement organisée et peut coder jusqu'à cinq objets en entrée. «La taille des objets est codée par le nombre de clusters actifs (codage quantitatif) et la localisation par la répartition des activations sur la rétine (codage positionnel)»(Noël M.-P, 2005, 26).

-Le deuxième module équivaut à *la carte topographique*. Elle reçoit les stimuli projetés de façon parallèle par la carte rétinienne. Elle code la localisation des objets sur une plage bidimensionnelle constituée de clusters neuronaux. Cette étape assure la normalisation de la taille des objets.

-Le troisième module correspond aux *clusters de sommation*. Ils reçoivent les stimuli projetés par les clusters de la carte topographique. Chaque cluster est caractérisé par un seuil d'activation propre et de plus en plus élevé. Il somme l'activité totale de la carte topographique, avec la normalisation cette activité est hautement corrélée avec la numérosité.

-Le quatrième module équivaut aux clusters de numérosité. Ces clusters reçoivent les stimuli projetés par les clusters de sommation. Les connexions entre ces clusters sont caractérisées par une excitation centrale et une inhibition latérale. Pour que la numérosité soit activée, il faut que d'une part le cluster de sommation correspondant soit actif et que d'autre part les clusters de sommation supérieurs soient inhibés.

Ce modèle comprend lui aussi une variabilité intrinsèque. Ainsi « les activations évoquées par les différentes numérosités peuvent se recouvrir au cours du traitement ce qui implique que le même cluster de numérosité peut être activé quand, par exemple les numérosités 3 et 4 sont présentées en entrée » (Noël M.-P, 2005, 27). Ce risque de recouvrement augmente avec la taille des collections.

Ces deux modèles se ressemblent donc car nous pouvons retrouver chez tous deux l'existence d'une variabilité croissante et des étapes présentant des ressemblances. Ils présentent aussi deux dissemblances. Ainsi la nature du traitement présenté dans ces modèles est différente: le modèle de l'accumulateur peut traiter les stimuli de manière sérielle (un par un) mais aussi séquentielle. Le modèle neuronal, par contre ne les traite qu'en parallèle, c'est-à-dire de manière séquentielle. Ce dernier ne peut donc expliquer la discrimination de stimuli visuels présentés un à un. La deuxième divergence concerne la comparaison des relations de quantité, seul le modèle de l'accumulateur permet cette comparaison dès la naissance. Le modèle neuronal permet de discriminer les quantités, la comparaison est possible ultérieurement avec le développement du modèle mnésique. D'autres auteurs en revanche ne pensent pas qu'il existe un mécanisme inné de détection des numérosités, leurs explications des performances observées chez les nourrissons sont alors dites non numériques. Simon parle ainsi de la présence de marqueurs spatiaux présents en nombre limité (comme chez l'adulte dans le modèle du subitizing) et qui permettraient de garder en mémoire la disposition spatiale des éléments présentés. Et d'autres auteurs considèrent que le bébé ne dispose pas d'habiletés numériques car ses performances sont largement dépendantes des indices perceptifs non numériques, qui lui permettent dans les cas de couplage entre variations d'indices perceptifs et changement de numérosité de réussir les épreuves décrites par les auteurs. Malgré l'absence de preuve de l'existence de représentations numériques précoces, nous ne pouvons aujourd'hui complètement bannir l'idée selon laquelle il existerait des traitements numériques innés mais dont le système de détection numérique ne deviendrait opérationnel qu'avec les expériences.

1.1.3. Controverse sur la primauté des principes du dénombrement et l'installation du comptage

Bien que les auteurs s'accordent sur une certaine sensibilité aux quantités dès la naissance, ils n'accordent pas tous la même importance à l'inné et à la pratique.

Ainsi, deux théories s'affrontent concernant la mise en place du comptage et le rôle des principes du dénombrement dans sa mise en œuvre.

1.1.3.1.«La théorie des principes en premier»

Pour R. Gelman (1978, «*cité par*» Van Nieuwenhoven, 1996) tous les enfants savent dénombrer une collection d'objets vers quatre ans. Les principes de correspondance terme à terme, d'ordre stable et de cardinalité sont innés. Ils guident l'apprentissage de la suite des noms de nombre et du comptage. L'enfant possède une connaissance implicite de ceux-ci. Ses échecs de mise en œuvre ne sont pas dus à des lacunes conceptuelles, mais plutôt à un problème de compétence liée à la charge de la tâche. Il a des difficultés pour coordonner tous ces principes.

Dans cette optique le comptage-numérotage n'existe pas. De plus le subitizing s'explique par des stratégies de comptage rapide (non extériorisé).

1.1.3.2.«La théorie des principes après»

D'après Fuson (1988 «*cité par*» Anne Van Hout et al , 2005, 100) «c'est en pratiquant des comptages et des dénombrements dans diverses situations que l'enfant finit par comprendre les principes directeurs». Cet apprentissage est lent et laborieux. Les enfants récitent d'abord les mots-nombres et c'est en répétant des activités de comptage qu'ils acquièrent les principes de dénombrement. La compréhension de la relation qui existe entre les mots nombres et la numérosité est lente.

Même si les auteurs ont des avis divergents concernant l'ordre d'acquisition de ces principes (innés ou acquis), ils sont d'accord pour reconnaître des habiletés de quantification précoces, et aussi pour admettre que les performances augmentent lorsque les contraintes appliquées au dénombrement sont moindres.

Nous allons tout d'abord voir comment l'enfant développe sa connaissance de la chaîne numérique verbale, acquisition précédant l'acquisition du dénombrement pour les adeptes de la théorie des principes après. Avant de savoir dénombrer l'enfant récite, ce n'est qu'après avoir utilisé les mots nombres, qu'il peut accéder à la cardinalité, et au dénombrement.

1.2.La chaîne numérique verbale:

1.2.1.Acquisition de la suite verbale chez l'enfant :

Cette acquisition commence vers deux ans et se termine à six ans.

Selon A. Van Hout, et al (Van Hout *et al*, 2005, 102)«l'apprentissage initial de la chaîne numérique se fait de manière incidente. Très tôt l'enfant rencontre les noms de nombres dans différents contextes et apprend la distinction entre les mots représentant des nombres et les autres mots.» Rapidement l'enfant utilise ce lexique numérique en compréhension et en production. Dès deux ans, lorsque l'enfant les utilise dans des tâches, peu d'intrusions sont observées .

D'après, Fuson, Richards et Briars (1982, «cités par» Fayol M., 1985), la construction de la chaîne se réalise en deux étapes partiellement confondues:

-**une phase initiale** d'apprentissage par cœur de la suite des noms de nombres

-**une phase d'élaboration** où la séquence est décomposée en mots et les relations entre ceux-ci établies.

1.2.1.1.Phase initiale: trois parties dans la chaîne des mots-nombres

Fuson *et al* en analysant les productions d'enfants ont constaté que la chaîne récitée pouvait se décomposer en trois parties quasiment toujours présentes.

1.2.1.1.1.Partie stable et conventionnelle

Cette portion est identique à celle connue des adultes (1,2,3,4,etc.), l'enfant la répète à chaque essai. Elle augmente à partir de quatre ans. Il existe des variations inter individuelles et intra individuelles dans son développement. Les variations inter individuelles sont dues à la provenance sociale de l'enfant. Elles existent jusqu'à cinq ans. D'après Ginsburg et Russel (1981, «cités par» Bardi et al, 1996), cet écart entre origines sociales disparaît avec la scolarisation.

Les variations intra individuelles quant à elles tendront à diminuer avec la consolidation et l'extension par l'enfant de cette séquence stable et conventionnelle.

1.2.1.1.2.Partie stable mais non conventionnelle

Elle comprend surtout la suite des nombres allant de dix à dix-neuf, difficile à apprendre pour l'enfant. Cette partie est stable à 80% car l'enfant l'énonce toujours dans le même ordre. Cependant son énoncé comprend des omissions c'est pourquoi, elle est dite «non conventionnelle». A partir du CE1, ce phénomène devient quasi nul. Il traduit cependant les difficultés de l'enfant, qui n'a pas encore compris les règles linguistiques de construction ou, qui n'a pas encore appris toute la chaîne et l'invente lorsqu'il ne la connaît plus.

Néanmoins, il sait qu'à un objet de la collection on associe un seul mot nombre, il respecte donc un des principes du dénombrement: la correspondance terme à terme.

1.2.1.1.3. Partie instable et non conventionnelle

L'enfant présente un problème de mémorisation. Arrivé au bout de son stock, il continue à compter mais ses productions non conventionnelles, d'un essai à l'autre sont instables (change d'un essai à l'autre).

1.2.1.2. Les différents niveaux d'élaboration et de conceptualisation

Suite à l'apprentissage par cœur, l'enfant va pouvoir décomposer la séquence en mots et établir les relations entre ceux-ci. Fuson *et al* ont distingué quatre niveaux d'organisation et de conceptualisation lors de cette phase d'élaboration. «A chaque niveau, le comptage requiert une opération conceptuelle, qui construit les éléments unitaires de ce niveau». (Bideaud J. *et al*, 1991, 178)

1.2.1.2.1. Le niveau chapelet

Les nombres ne possèdent aucune individualité. L'enfant ne peut segmenter cette séquence. Elle est mémorisée dans sa totalité et rappelée sous cette même forme. «Undeuxtroisquatrecinqsix...» l'enfant récite mécaniquement. Son comptage s'apparente alors à une récitation dénuée de tout sens arithmétique. Il ne peut l'utiliser que s'il commence du début. Dans ce contexte, le dénombrement est possible; mais ce n'en est pas réellement un, car il ne possède pas de véritable correspondance terme à terme. Il se contente d'associer deux comportements: le pointage et l'énonciation de la chaîne.

1.2.1.2.2. Le niveau chaîne insécable

Les mots sont individualisés mais l'enfant doit toujours commencer son comptage par «un», d'où le terme insécable. En revanche, il peut compter jusqu'à n . Cette exécution jusqu'à une borne précise est possible vers quatre ans. Elle est plus difficile, car il faut savoir garder en mémoire de travail le nombre n et pouvoir exercer un contrôle suffisant sur cette récitation pour s'arrêter à temps.

A cette période nous observons la mise en place de la correspondance terme à terme et la possibilité pour l'enfant de répondre à «qu'est-ce qui vient après?».

1.2.1.2.3. Le niveau chaîne sécable

Les liaisons entre les différents éléments de la chaîne apparaissent. L'enfant peut de ce fait mieux manipuler cette chaîne. De nouvelles compétences s'installent vers cinq ans et seront maîtrisées vers six ans: le comptage à partir de n et le comptage de n à m . C'est aussi le début du comptage à rebours.

1.2.1.2.4. La chaîne terminale

Pour certains chercheurs, il existe deux niveaux dans cet ultime niveau:

-le niveau de la chaîne numérable

Les mots de la chaîne sont totalement individualisés. «Ils acquièrent leur sens numérique, et leurs relations avec les opérations arithmétiques sont perçues.» (Van Hout *et al*, 2005, 102). L'enfant peut compter d'un nombre à un autre pour dire combien il y en a entre eux (**taille de n**). Le comptage à rebours demeure ardu.

-le niveau de la chaîne bidirectionnelle

L'enfant maîtrise la séquence dans les deux sens, il peut l'utiliser aussi bien à rebours (à ce niveau la charge en mémoire à court terme est moins lourde) que vers l'avant. De plus, il a perçu que la suite des nombres est sériée, emboîtée (relations établies entre les nombres), bidirectionnelle. Il a compris aussi la signification cardinale des nombres et que ces différents termes sont compris comme des unités. A ce stade, les nombres peuvent être dénombrés .

1.2.1.3. De l'apprentissage par cœur à l'élaboration

Le fait de retrouver peu ou prou deux parties dans l'acquisition de la suite numérique est dû à un développement de cette chaîne longtemps basé sur un apprentissage par cœur (1 à 19). Petit à petit l'enfant va saisir que cette récitation correspond à «(...) une suite de mots nombres qui tiennent place d'objets et qui ont une signification cardinale en tant que sommes, des mots nombres les précédant.» (Fuson, 1991, «*cité par*» Bideaud *et al*, 1991, 20). Sa représentation de la suite numérique va changer, «le tout indissociable» de la phase initiale pourra peu à peu être décomposé et les relations entre les nombres apparaître.

L'enfant pour maîtriser complètement cette suite numérique, aura donc dû, d'une part mémoriser la liste des nombres à répéter (de 1 à 19), et d'autre part (devra) savoir combiner les chiffres grâce aux règles syntaxiques. Siegler *et Robinson* (1982, «*cités par*» Fayol M., 1985) déterminent deux listes: la liste des nombres à répéter (1 à 19) et la liste des nombres à construire selon des règles.

Avant de maîtriser cette chaîne, l'enfant entre trois et six ans produira des erreurs habituelles lors de sa récitation: oublis, répétitions, inversions, productions de nombres inventés.

1.2.2.Linguistique et suite des nombres

L'enfant pour compter a recours à des dénominations langagières organisées linguistiquement. Les deux étapes d'acquisition de la chaîne numérique verbale étudiées plus haut dans notre exposé peuvent respectivement chacune être rapportée à une composante linguistique. La première étape (apprentissage par cœur) se référerait davantage au lexique (étape d'acquisition du lexique verbal), et celle d'élaboration à la syntaxe, puisqu'au terme de ces niveaux d'élaboration l'enfant est capable grâce à la découverte des règles de combinaison de compter jusqu'à l'infini.

1.2.2.1.Le lexique

Le lexique comprend trois ensembles :

- les unités: de un à neuf;
- les particuliers: de onze à seize;
- les dizaines: de dix à quatre-vingt-dix.

Ces trois ensembles sont «finis», soit fermés et restreints.

Les erreurs lexicales se rapportent aux erreurs de classe (cinq devient quinze) et de position (trois devient quatre).

1.2.2.2.La syntaxe

En français l'expression linguistique du nombre peut être décomposée en une expression arithmétique de type somme et/ou produit.

Il existe alors deux types de relations:

-les relations additives: nombre décomposable selon une somme, par exemple vingt-cinq, cent quatre, dix-neuf.

-les relations multiplicatives: par exemple trois cents, quatre-vingts.

Deux types d'erreurs peuvent être recensées: les erreurs de lexicalisation (trente sept devient 307)et les erreurs où les mots «mille et cent» sont transcodés par le chiffre «un ou zéro» (huit cent cinquante sept devient 8057 par exemple).

Une fois que l'enfant a appris correctement la suite des mots-nombres il peut s'adonner au comptage.

1.3. L'accès à la numérosité

1.3.1. Les procédures de quantification chez l'enfant

La recherche en psychologie cognitive décrit trois processus de quantification : le subitizing, l'estimation globale et le dénombrement. Certains auteurs ajoutent la procédure de surcomptage et celle de comptage-numérotage.

Ces procédures de quantification permettent de définir la numérosité d'une collection ou d'une séquence c'est-à-dire le nombre d'éléments qui la composent.

D'après Barouillet, Camos et Lépine (2004, « cités par » Noël M.-P, 2005), elles sont fondamentales pour l'acquisition des habiletés numériques et arithmétiques.

1.3.1.1. Perception immédiate globale ou estimation

Il s'agit d'une quantification très approximative de la taille d'un ensemble, elle peut se révéler efficace pour les collections de un à quatre éléments. Elle est imprécise mais rapide.

1.3.1.2. Perception globale de petites quantités ou subitizing

Il s'agit d'une quantification rapide et précise des collections inférieures à quatre ou cinq objets, qui possèdent une disposition spatiale régulière.

Dès trois, quatre ans l'enfant peut utiliser de façon concomitante le comptage et le subitizing. L'enfant peut ainsi donner le nombre d'objets d'une collection de quatre unités vers trois ans et de cinq unités vers quatre, cinq ans.

1.3.1.3. Le dénombrement.

Il s'agit d'une procédure nécessaire pour quantifier une collection de plus de quatre éléments, elle est lente et n'est pas sans risque d'erreurs. D'après Campolini et al, (Campolini et al, 2002, 45), le dénombrement est **«une technique de comptage permettant de comprendre que le dernier mot-nombre prononcé représente à lui seul la quantité de tous les objets présents dans la collection (comptage quantifiant).»**

1.3.1.3.1. Les composantes de base du dénombrement

Pour dénombrer correctement l'enfant doit maîtriser trois types d'habiletés. Il doit pouvoir énoncer la suite conventionnelle des noms de nombres (maîtrise de la chaîne numérique). Cette **énonciation** nécessite une connaissance de la chaîne numérique et donc une mémorisation rendue possible au préalable, car l'enfant doit

recupérer ces informations en mémoire. La taille de la collection a une incidence sur l'efficacité et la vitesse de l'énonciation.

Outre la bonne énonciation de la chaîne numérique, ce processus nécessite **un pointage** des cibles manuel (doigt) ou visuel (regard) de chaque élément; une fois et une fois seulement. Pour cela, l'enfant doit pouvoir distribuer son attention spatialement. La qualité du pointage influence directement les résultats du dénombrement. Si la taille de la collection considérée est conséquente ou si la disposition des éléments est aléatoire le pointage devient difficile. Ainsi, lorsque la disposition est aléatoire l'enfant doit faire appel à ses compétences mnésiques afin de pouvoir garder en mémoire les éléments déjà comptés.

Dans toutes les dispositions, il est bon de noter que l'utilisation du geste soulage la mémoire de travail, et facilite ainsi, les autres traitements annexes tels que l'énonciation de la chaîne numérique ou la coordination entre les mots nombres et les cibles. De plus le geste aurait selon Gelman et Gallistel un rôle dans le dénombrement, ainsi (M.-P Noël *et al*, 2005, 49) «en pointant manuellement, le sujet sépare les objets en deux ensembles, les «déjà comptés» et ceux «qui restent à compter». Au cours de leur développement les enfants acquièrent la correspondance gestuelle (geste/objet) avant la correspondance langagière (parole/objet). Si le geste paraît être le premier maillon à l'acquisition du principe de correspondance terme à terme, il ne suffit pas, l'enfant doit aussi pour compter savoir maîtriser une double correspondance:

- correspondance externe: pointage (œil /doigt) et objets à dénombrer
- correspondance interne: pointage et mots nombres.

La dernière habileté est donc **la coordination entre l'énonciation et le pointage (correspondance interne)**. Les erreurs les plus communément observées concernent cette dernière compétence. Selon Fuson (1988, «*cité par*» M. P Noël, 2005, 50) il existerait «une difficulté de mise en place d'une correspondance spatio-temporelle, les mots étant organisés temporellement et les objets spatialement».

1.3.1.3.2. Les cinq principes de Gelman et Gallistel.

De plus l'enfant pour pouvoir dénombrer correctement doit disposer des cinq principes définis par Gelman et Gallistel, et qui le guident dans son dénombrement.

-le principe d'ordre stable: les mots nombres doivent être formulés dans le même ordre à chaque comptage.

-le principe de correspondance terme à terme: chaque élément d'une collection doit être désigné par un seul mot nombre.

-le principe cardinal: le mot nombre qui désigne le dernier élément d'une collection représente le nombre total d'éléments.

-le principe d'abstraction: il précise que l'hétérogénéité des objets n'a aucun effet sur le dénombrement. D'après FRICK (1987, «*cité par*» Bardi et Laquière, 1995, 17) cela pourrait même «faciliter la performance en favorisant les repérages spatiaux».

-le principe de non pertinence de l'ordre: peu importe l'ordre du trajet du dénombrement, le résultat final sera identique. Ce principe permet de distinguer le comptage du simple étiquetage.

Ces deux derniers principes déterminent l'invariance du nombre.

1.3.2. Lien entre le comptage et le dénombrement

Comme nous l'avons vu ci-dessus, avant de pouvoir compter et dénombrer l'enfant récite une comptine. Il n'accorde pas de sens mathématique à cette activité.

Puis vers quatre ans et demi il accède au comptage, à chaque mot-nombre correspond un seul élément (correspondance terme à terme), mais en réalisant cette opération il ne quantifie pas car il ne peut répondre à la question «combien?».

Pour certains auteurs, selon la signification accordée aux mots-nombres, il existerait deux types de comptage: le comptage numérotage et le dénombrement. Pour M. P Noël (Noël M.-P., 2005, 22) «le comptage est défini comme la répétition automatique de la suite conventionnelle des noms de nombre (oral counting)». Le dénombrement pour Van Nieuwenhoven C. désigne **l'activité qui permet de déterminer le cardinal d'une collection**.

Dénombrement et comptage se déroulent simultanément mais parfois les jeunes enfants s'amuse à compter sans dénombrer.

Pour Fayol (1990, «*cité par*» Gillet P. *et al*, 2000) le comptage joue un rôle fondamental dans toutes les activités d'estimation des quantités numériques.

- Du comptage numérotage au dénombrement

D'après R. Brissiaud (Brissiaud R., 1997, 32) «Un enfant sait dénombrer une collection quand le dernier mot-nombre prononcé n'est pas un simple numéro, mais représente à lui seul la quantité de tous les objets». Pour accéder au dénombrement

à partir du comptage numérotage «l'enfant doit accorder une double signification au dernier mot prononcé. Si l'enfant compte une collection de 7 objets par exemple, il doit pouvoir passer de «le 7» à «les 7» et donc comprendre que «le 7» correspond à un numéro qui distingue un objet (même statut que les autres nombres) mais aussi à «les 7» car il représente la quantité de tous les objets».

L'enfant perçoit cette différence grâce au subitizing. Le subitizing joue donc, un rôle important dans l'accès au dénombrement. Il permet le passage du comptage numérotage au dénombrement. L'enfant, grâce au subitizing selon R. Brissiaud (Brissiaud R., 1997, 33) peut observer que «le mot-nombre qu'il prononce pour dire combien il y a d'objets (mot-nombre obtenu par subitizing), est aussi celui sur lequel se termine le comptage si on lui demande de les compter. La prise de conscience de cette coïncidence d'emploi du mot-nombre (trois par exemple) qui désigne à la fois le numéro d'un objet lors du comptage, et la quantité globale, peut donc jouer un rôle important dans l'apprentissage.»

Au cours de cette première partie nous avons pu voir les différentes conceptions existant autour de la construction du nombre. La conception moderne stipule, que le développement des processus de quantification est important dans cette construction. La présentation des différents processus existants avec un accent porté au dénombrement, a permis de mettre en exergue la complexité de réalisation de ce processus, qui nécessite la mise en œuvre de nombreuses habiletés dont une connaissance parfaite de la chaîne numérique. Ces habiletés permettent à l'enfant d'appréhender de façon exacte la numérosité.

L'enfant infirme moteur cérébral est un enfant particulier, qui peut présenter différents troubles découlant de sa pathologie. Nous allons voir dans cette deuxième partie, quels sont ces troubles, pour terminer par une mise en lien entre les troubles recensés, et les difficultés observées dans le développement des apprentissages mathématiques dont le dénombrement.

2.L'infirmité motrice cérébrale (I.M.C.)

2.1.Généralités

2.1.1.Historique et définitions

2.1.1.1.La conception anglo-saxone

En Angleterre, le terme «cerebral palsy» ou paralysie cérébrale est reconnu depuis les années 1947-1948. Il définit «un ensemble de troubles du mouvement et /ou de la posture et de la fonction motrice, ces troubles étant permanents mais pouvant avoir une expression clinique changeante dans le temps, et étant dus à un désordre, une lésion ou une anomalie non progressive d'un cerveau en développement ou immature (Cans C., 2005, 52).» Les affections d'origine prénatale (malformation ou infection) font partie de ce concept et la population des paralysés cérébraux n'exclut pas les déficients intellectuels.

2.1.1.2. La conception française

En France, après le courant né en Europe de l'Est et celui des anglo-saxons est apparu un troisième courant en 1953 avec Guy Tardieu (1984, «cité par» Leroy Malherbe, site consulté). Celui-ci a défini la notion d'infirmité motrice cérébrale (I.M.C.). Pour lui, l'I.M.C. regroupe des troubles moteurs prédominants et non évolutifs dus à une lésion cérébrale prénatale, périnatale ou postnatale précoce, pouvant s'accompagner d'atteintes sensorielles et d'atteintes partielles des fonctions supérieures, à l'exception d'une déficience intellectuelle. De même, elle ne s'accompagnera pas de troubles premiers de la personnalité et/ou du comportement. Cette définition exclut les enfants présentant un retard mental (QI inférieur à 70) en plus de leur trouble moteur. Ces enfants sont regroupés sous le terme d'Infirmité Motrice d'Origine Cérébrale (IMOC: QI compris entre 35 et 70 correspondant à une déficience intellectuelle légère ou moyenne) ou de polyhandicap (déficience intellectuelle sévère).

L'infirmité motrice cérébrale est due à une lésion neurologique centrale qui entraîne comme conséquences primaires: des troubles neuromoteurs et neuropsychologiques.

2.1.2.Epidémiologie

Il existe environ 20 à 30 000 infirmes moteurs cérébraux au sens de M. Tardieu.

Selon le Dr Leroy-Malherbe, la prévalence de ce handicap est de 0,6 pour mille naissances.

2.1.3.Etiologies

L'infirmité motrice cérébrale peut trouver son origine avant la naissance, pendant et autour de la naissance, et après la naissance (jusqu'à deux ans). La cause de ce handicap reste pour le moment dans 12 à 15% des cas inconnue.

2.1.3.1.Causes prénatales

L'infirmité motrice cérébrale peut être engendrée par des malformations, des maladies maternelles (infections: rubéole, jaunisse, toxoplasmose...), des syndromes divers, une hémorragie cérébrale, une hypoxie, un placenta endommagé, un accident vasculaire cérébral, une incompatibilité de facteur rhésus...

2.1.3.2.Causes périnatales

Elle peut aussi être due à une souffrance cérébrale néonatale qui entraîne généralement une anoxie (responsable d'une encéphalopathie anoxo-ischémique). Elle peut également résulter d'une pré ou post-maturité (25% des I.M.C sont prématurés).

2.1.3.3.Causes post-natales

Enfin, ce handicap peut aussi être causé par un traumatisme, une méningite, une encéphalopathie, une hémorragie cérébrale, une intoxication, une asphyxie...

La lésion de l'enfant I.M.C n'est pas évolutive, mais comme elle intervient sur un cerveau en pleine maturation, elle va avoir des conséquences primaires et secondaires sur celui-ci. Ainsi l'enfant IMC peut présenter un risque d'évolutivité clinique de son handicap. L'importance du handicap ou désavantage dépend du nombre d'incapacités que présente le patient face à son environnement proche. Ces incapacités résultent du nombre de déficiences constatées au niveau de l'individu et qui sont engendrées par la lésion.

Ces notions de déficiences, d'incapacités et de handicap sont définies par l'OMS comme suit.

La déficience correspond à « toute perte de substance ou altération d'une fonction ou d'une structure psychologique ou anatomique».

L'incapacité est «toute réduction (résultant d'une déficience) partielle ou totale de la capacité à accomplir une activité d'une façon ou dans les limites considérées comme normales pour un être humain.»

Le handicap est défini comme «un préjudice résultant d'une déficience ou d'une incapacité qui limite ou qui interdit l'accomplissement d'un rôle considéré comme normal compte-tenu de l'âge, du sexe et du niveau socio-culturel».

Chez l'IMC nous pouvons retrouver des troubles médicaux, des déficiences anatomiques et des déficiences neuropsychologiques. Les incapacités résultant de ses déficiences peuvent être nombreuses au niveau fonctionnel: l'enfant IMC peut avoir des déformations orthopédiques occasionnant une incapacité concernant sa locomotion et mobilité, ou encore montrer d'importants troubles neuropsychologiques ne lui permettant pas un accès «normal» à certaines activités présentes dans la scolarité: lecture, écriture, dénombrement...

Selon l'importance de ses incapacités l'enfant IMC peut ou pourra présenter un handicap important au niveau environnemental ou sociétal: difficultés d'intégration scolaire, sociale, indépendance physique. La prise en charge globale et précoce de ces enfants permet de limiter les conséquences directes des déficiences.

2.2 Troubles médicaux associés

2.2.1 L'épilepsie

L'épilepsie est un trouble associé assez fréquent (50% des enfants I.M.C). En effet, l'enfant I.M.C avec ses lésions cérébrales est plus à même de connaître des épisodes de crises convulsives, notamment fébriles. Ces épisodes peuvent modifier son pronostic intellectuel. L'épilepsie primaire dans certaines formes graves, peut en outre être responsable d'infirmité motrice cérébrale.

2.2.3 Autres troubles

Des troubles alimentaires, un retard de croissance, des troubles respiratoires et des troubles vésico-sphinctériens peuvent être retrouvés.

2.3 Les déficiences anatomiques

2.3.1 Les déficiences sensibles

Le cortex sensitif primaire situé derrière le cortex moteur peut fréquemment être atteint chez l'enfant I.M.C. Il n'est donc pas rare de trouver en cas d'atteinte motrice

importante des troubles de la sensibilité (troubles de la discrimination tactile, de la localisation, du sens des positions, du mouvement et de la stéréognosie). Lorsque le cortex sensitif secondaire est lésé un trouble de l'intégration et une désorientation visuo-spatiale peuvent être retrouvés.

2.3.2 Les déficiences sensorielles

L'enfant I.M.C. peut présenter différentes atteintes sensorielles primaires : des troubles auditifs (hypoacousie, surdité de perception...), des troubles visuels (troubles de la réfraction et troubles neurovisuels). Les troubles visuels de l'enfant I.M.C sont le plus souvent des troubles neurovisuels même s'il n'est pas rare de retrouver des troubles de la réfraction (hypermétropie).

2.3.3. Les déficiences motrices

L'atteinte motrice est caractérisée par des troubles du tonus, des troubles de la coordination motrice et des troubles des attitudes posturales.

L'infirmité motrice cérébrale est caractérisée par la localisation de l'atteinte motrice (topographie) et par sa qualité tonique (typologie).

2.3.3.1.Topographie

Selon les cas les troubles moteurs correspondent à une paralysie qui peut être complète ou partielle (parésie)

Cinq topographies peuvent être répertoriées:

- monoplégie :atteinte d'un seul membre, le bras plus fréquemment que la jambe;
- hémiplégie: atteinte d'un hémicorps;
- diplégie: atteinte de l'ensemble du corps dominant aux membres inférieurs;
- triplégie: atteinte qui touche tout le corps prédominant à un membre supérieur, et aux deux membres inférieurs. Le plus souvent il s'agit d'une monoplégie brachiale et d'une diplégie;
- quadriplégie ou tétraplégie:atteinte de tout le corps.

Chez l'enfant I.M.C certains spécialistes préfèrent employer le terme de parésie.

2.3.3.2. Typologie

Cinq formes cliniques peuvent être observées.

-la spasticité: résulte d'une atteinte des voies pyramidales ou des zones motrices corticales. Pour D. Truscelli (Aufénil H *et al*, 2008), la spasticité se définit par «une exagération du réflexe d'étirement (myotatique)» par conservation de l'hypertonie de naissance. Elle désigne une hypertonie musculaire, une raideur musculaire plus ou

moins sévère. Elle se traduit par une résistance initiale qui cède secondairement lors de la manipulation rapide des membres. Pour Claudine Amiel-Tison (Amiel Tison, 1997) ce phénomène rappelle «la fermeture d'un couteau de poche». Dans la plupart des cas, elle est la conséquence d'une prématurité. 85% des cas de paralysie cérébrale sont des formes spastiques, et parmi elles 1/3 sont des hémiplésies.

-La rigidité ou dystonie: résulte d'une atteinte des voies extrapyramidales. Elle est fréquemment associée à la spasticité chez l'enfant I.M.C. Elle est caractérisée par des contractions musculaires, soutenues et durables des groupes musculaires agonistes et antagonistes, engendrant des mouvements répétitifs ou des postures anormales. La mobilisation rapide des membres peut paraître impossible. Elle donne l'impression d'une résistance rappelant celle ressentie lorsqu'on «courbe un tuyau de plomb». Cette résistance se trouve sur les muscles agonistes et antagonistes au niveau de l'articulation mobilisée. Ces mouvements peuvent être accompagnés d'une diffusion de l'activité musculaire à d'autres groupes musculaires qui normalement ne participent pas au mouvement. Nous pouvons alors rencontrer plusieurs phénomènes associés:

- *la chorée*: mouvements involontaires brusques, explosant, rapides, imprévisibles et d'amplitude variable dus à la contraction de plusieurs muscles.

- *le ballisme*: mouvement involontaire d'un membre, qui est brusque, imprévisible ample, déclenché par une action et augmenté par le stress.

- *l'athétose ou la dyskinésie*: mouvements lents, irréguliers, continus, augmentés par l'activation d'une autre partie du corps, le stress ou les stimuli sensoriels.

-L'ataxie: résulte le plus souvent d'une atteinte des voies cérébelleuses. Nous observons le plus souvent une dysmétrie, un trouble de l'équilibre et un trouble de la coordination motrice.

-L'hypotonie: tonus anormalement bas («poupée de chiffon»). L'enfant ne se meut quasiment pas. Ce phénomène en général évolue vers l'athétose en grandissant.

-L'hypertonie: L'enfant présente une augmentation permanente et exagérée de son tonus.

Ces typologies peuvent être intriquées. Ces tableaux cliniques seront alors qualifiés de formes mixtes, car de par leur variété, ils ne peuvent recevoir d'étiquettes précises.

Enfin selon le degré de sévérité de répartition tonique, nous pouvons aller jusqu'à parler de formes graves (axe corporel et membres supérieurs touchés).

Les différentes déficiences décrites ci-dessus peuvent avoir des répercussions sur les capacités d'apprentissage, car elles peuvent être à l'origine d'incapacités comme celle d'encodage du message à cause d'une motricité et d'une sensibilité déficientes. Par conséquent, elles peuvent aggraver les troubles neuropsychologiques.

2.4. Les déficiences neuropsychologiques ou cognitives

2.4.1. Les troubles langagiers

Les enfants I.M.C peuvent être atteints d'un trouble de la parole ou du langage en plus de leur atteinte motrice. Ils peuvent être de cinq types. L'enfant peut être mutique à cause d'un trouble phasique. Il peut être dysarthrique, et c'est la réalisation motrice de la parole qui est touchée. Il peut présenter un trouble sévère du langage ou dysphasie (de type lésionnelle), ou plus simplement un retard de parole et/ou de langage.

En ce qui concerne l'atteinte du module langagier l'enfant peut présenter divers degrés et types d'atteintes. Sa pathologie langagière peut être minime et être de l'ordre du retard de langage et/ou de parole mais, elle peut être aussi sévère et durable, et donc être définie comme dysphasique.

La classification traditionnelle des dysphasies de Gérard classe les dysphasie en trois catégories: les dysphasies réceptives, expressives et globales. Les dysphasies réceptives font référence au mode d'entrée verbal, elles peuvent toucher la compréhension du discours et l'identification des mots (surdité verbale) ou concerner la discrimination des oppositions phonologiques. Les dysphasies expressives touchent les voies de sortie. Elle peuvent être de deux types: phonologique-syntaxique et phonologique avec une atteinte de la programmation phonologique. Les voies de sortie peuvent être aussi atteintes par une apraxie bucco- faciale (impossibilité à réaliser des mouvements volontaires complexes) qui entre dans certains syndromes dysphasiques.

Les autres types de dysphasie: mnésiques et sémantico-pragmatiques sont peu retrouvées telles qu'elles sont décrites dans le cas des dysphasies développementales. Ainsi en général, les troubles retrouvés et apparentés à ces deux types de dysphasies découlent d'une atteinte non langagière soit un syndrome frontal ou un trouble mnésique. Chez l'enfant I.M.C, on retrouve plus fréquemment des **dysphasies globales** (réceptives et expressives) et **phonologiques-syntaxiques**, et on peut aussi retrouver un manque du mot (anomie).

L'enfant I.M.C peut aussi présenter une atteinte de la réalisation motrice de la parole touchant les voies de sortie qui peut être de trois types: dysarthrie paralytique

(commande motrice avec paralysies et troubles du tonus), cérébelleuse (contrôle et régulation touchés) ou athétosique (mouvements anormaux touchant la sphère orale).

Selon le degré d'atteinte de la dysphasie ou de la dysarthrie, l'enfant I.M.C peut être privé de communication orale.

2.4.2. Les troubles neurovisuels

Il existe quatre grandes fonctions neurovisuelle:

-les fonctions visuo-attentionnelles: à l'origine des tâches intentionnelles. Sans l'attention, le stimulus ne peut faire l'objet d'aucun traitement, elles jouent le rôle de filtre.

-les fonctions oculomotrices

-le repérage spatial

-le décodage gnosiologique.

M.-T. Jacquier (Jacquier M.-T, 2010) ajoute la mémoire associative qui permet de comparer le stimulus visuel identifié au catalogue mis en mémoire.

Dans cette partie seront présentées les fonctions oculomotrices avec les atteintes les plus fréquentes de ces fonctions chez l'enfant I.M.C..

- Les fonctions oculomotrices

Pour M. Mazeau, (Mazeau, 2005, 26) «les yeux peuvent être comparés à deux caméras dont les mouvements doivent être liés avec une coordination parfaite». L'enfant sans troubles de la motricité oculaire peut: saisir une cible visuelle précise, explorer une scène visuelle complexe, poursuivre une cible mobile, saisir le relief grâce à une vision bi-oculaire saine...

En outre les mouvements oculaires peuvent être perçus comme un outil visuel, permettant les liens entre vision spatiale et focale, ainsi qu'entre les compétences motrices et sensorielles. Ainsi un enfant sans difficultés oculomotrices peut coordonner efficacement sa vision focale et sa vision périphérique et accéder à des tâches requérant une coordination oculo- manuelle.

- la saisie visuelle d'une cible précise: saccades et fixation.

Ce sont les saccades et fixations qui permettent à l'enfant de saisir une cible visuelle précise.

«Les saccades sont des mouvements conjugués, rapides, à déclenchement spatial et à but focal, qui permettent de changer d'image et de mettre en place la stratégie d'exploration qui est la plus utilisée» (M.-T Jacquier, 2010, 53) Leur déclenchement

dépend du niveau d'attention spatiale. Selon leur mode de déclenchement, elles peuvent être de trois sortes: intentionnelles, réflexes, ou spontanées (à déclenchement interne sans but). Précisément calibrées, elles doivent permettre à l'issue du saut, l'inscription de la cible sur la fovéa. L'activité motrice de l'œil comprend beaucoup de saccades. Chez l'I.M.C., elles peuvent être lentes et imprécises, ce qui engendre une mauvaise qualité et efficacité du repérage.

La fixation permet le maintien du regard sur un point donné, et donc une vision analytique. Elle centre l'image à analyser sur le centre de la rétine: la fovéa. L'étude réalisée par Aubry M.J *et al* (Aubry *et al*, 2002) sur une population de 65 sujets a mis en exergue de fréquentes anomalies de la fixation: 1/3 des sujets présentait une fixation instable.

-la vision stéréoscopique:

D'après l'étude de Aubry M.-J. *et al* de nombreux enfants I.M.C présentent aussi un strabisme: 44/65. Ce strabisme neurologique ne permet pas la fixation. On parle pour ces enfants de fixation alternée, qui empêche la vision du relief nécessitant de fixer avec les deux yeux simultanément.

-la poursuite oculaire:

Il s'agit d'un maintien de la fixation sur un objet en mouvement. Pour être normale, elle doit être lente et lisse. La poursuite sert surtout à avoir une idée de la qualité des saccades. En effet, son évaluation permet de connaître l'état du couplage entre rétine centrale et périphérique, ce couplage permettant la calibration automatique des saccades. Les troubles de la poursuite peuvent être une absence de poursuite lisse, ou des saccades intercurrentes.

-l'exploration d'une scène visuelle complexe:

Cette fonction nous rend capable d'extraire des informations de notre environnement. Elle est transversale dans la mesure où cette capacité requiert d'autres compétences que les compétences visuelles (praxiques, spatiales...).

Un champ visuel limité ne permet pas une exploration complète de l'espace, et chez l'IMC il n'est pas rare de constater des atteintes latérales de ce champ visuel (hémianopsie ou quadransopsie). De plus, comme nous l'avons vu ci-dessus l'enfant IMC présente souvent des saccades anormales, qui ne lui permettent pas un balayage visuel ou une exploration visuelle efficace. Ainsi, lors du dénombrement par exemple, les saccades doivent être organisées pour ne regarder l'objet qu'une seule fois, et ne pas en oublier. Ces stratégies d'exploration sont par conséquent faussées, car l'enfant ne peut produire des saccades rapides et parfaitement calibrées en direction et en

amplitude. Pour ce type d'exploration l'enfant doit posséder une organisation fonctionnelle de ces saccades, qui sont apprises par essai/erreurs (praxies oculomotrices).

Enfin, l'exploration du regard joue un rôle dans le repérage spatial. Ainsi, grâce à deux fixations différentes, la première dirigée vers un premier objet et la deuxième vers un second, il peut situer le premier objet par rapport à l'autre, car ces fixations sont analysées comme différentes par son cerveau en terme d'amplitude et de direction.

L'enfant IMC peut présenter diverses anomalies de la motricité oculaire, qui exigent de lui un contrôle coûteux en attention, et le fatiguent pour toutes les tâches visuelles. Ces anomalies ne sont pas à négliger, car elles peuvent être la cause de troubles sévères des apprentissages: lecture, comptage et dénombrement.

Ainsi, l'enfant peut posséder une mauvaise coordination oculo-manuelle à cause d'une mauvaise vision centrale (troubles au niveau des saccades par exemple), et nous savons que lors de la préhension, l'objet est sous contrôle fovéal, tandis que le mouvement du bras est géré en vision périphérique. Un mauvais pointage, lors du dénombrement peut alors être dû à la mauvaise coordination oculo-manuelle ainsi qu'à une mauvaise coordination vision focale/vision périphérique, préalable à la coordination oculo-manuelle.

Enfin, il est important de noter que la vision centrale (fovéa) est importante pour les jugements de numérosité et que la vision périphérique est impliquée lorsqu'on observe une réduction de la précision de la localisation d'une cible dans les tâches de pointage (Boucart M. *et al*, 2005).

L'enfant IMC peut être porteur d'autres types anomalies oculomotrices: nystagmus, paralysies oculomotrices,...

Les troubles du regard (poursuite oculaire, calibrage des saccades) expliqués ci-dessus font partie de la symptomatologie de l'enfant porteur de dyspraxie visuo-spatiale.

2.4.3 Les troubles gnosiques

Une gnosie est un décodage d'un stimulus connu afin de lui donner une signification.

Le trouble gnosique est un trouble sélectif dans la reconnaissance (objet, image, bruits, son...) dont la cause n'est ni un déficit sensoriel, ni un déficit intellectuel, ni un manque de familiarité avec les objets. Nous pouvons le qualifier de trouble gnosique visuel, olfactif, auditif, et tactile selon la catégorie de stimulus touchée. Nous étudierons

ici plus particulièrement les troubles gnosiques visuels même si l'enfant I.M.C peut aussi présenter d'autres atteintes gnosiques.

Il existe différents types de troubles gnosiques visuels qui se rapportent à la catégorie de l'information entrante et à des lésions dans des zones anatomiques distinctes: trouble gnosique des images, des objets, des couleurs, des visages (prosopagnosie) et des signes conventionnels. L'enfant peut aussi être porteur de cécité corticale, et donc être dans l'impossibilité totale de décoder toutes les informations qui arrivent sur la rétine.

Selon M.-T. Jacquier (Jacquier M.-T, 2010) les troubles gnosiques visuels des images et des dessins sont fréquents chez l'enfant I.M.C. Outre ces types de troubles gnosiques fréquents, il est important de noter que l'enfant qui présente un trouble gnosique visuel a quasi tout le temps des troubles du regard, l'inverse n'est pas vérifié.

2.4.4 Les troubles praxiques

Une praxie est un geste, un ensemble coordonné de mouvements volontaires, intentionnels, réalisés en fonction d'un but. C'est une action finalisée. Une praxie est apprise, ne s'oublie pas et, elle est programmée au niveau cérébral.

Le terme de dyspraxie apparaît en 1964 avec Ajuriaguerra et Stamback. Selon Michèle Mazeau, (Mazeau M., 2008, 2) «les dyspraxies sont des troubles du geste qui affectent l'habileté et la réalisation de certaines activités en raison d'une anomalie de la gestion même du geste au niveau cérébral. C'est un trouble de la programmation gestuelle, qui a des répercussions sévères dans le développement de l'enfant.»

Ce trouble est indépendant, dans son acception stricte, de troubles psychologiques ou psychiques, de déficit intellectuel, de la méconnaissance du geste à effectuer, et des troubles de la commande motrice. Pour Michèle Mazeau (Mazeau M, 2008, 8)«l'enfant est empêché de construire ces programmes gestuels pour des raisons cérébrales structurelles.» Dans le cas de l'enfant I.M.C, On parle de **dyspraxie lésionnelle**, c'est-à-dire secondaire à une lésion cérébrale précoce.

Les enfants I.M.C, peuvent souffrir de dyspraxie visuo-spatiale, de dyspraxie constructive, de dyspraxie de l'habillage, et de dysgraphie dyspraxique.

Parfois, il est retrouvé chez un même enfant, l'association de plusieurs dyspraxies. Ainsi dyspraxie constructive et dyspraxie de l'habillage sont-elles souvent associées, l'enfant peut ne pas savoir réaliser à partir d'éléments non signifiants, un tout signifiant à partir de techniques d'assemblage (puzzle, calligraphie) et ne pas savoir s'habiller malgré les apprentissages (dyspraxie de l'habillage).

Enfin la dyspraxie visuo-spatiale, est le syndrome dyspraxique le plus courant. Elle associe un trouble praxique du geste, un trouble de l'organisation du **regard** (trouble oculomoteur) et un trouble de certaines notions spatiales. Ces enfants sont en grandes difficultés en lecture, en production d'écrits (graphisme, orthographe) et en mathématiques (arithmétique, logique et géométrie).

2.4.5 Les troubles mnésiques

La mémoire est définie par Michèle Mazeau comme «l'ensemble des systèmes biologiques et psychologiques dont les fonctions sont:

- l'intégration (la fixation, l'enregistrement) des données
- leur rétention (stockage, conservation)
- la restitution (le rappel, l'utilisation des informations).

Pour les enfants c'est la capacité à apprendre (Mazeau M., 1997, 115).»

Traditionnellement un distinguo est fait entre la mémoire immédiate, et à très court terme, et une mémoire à long terme. A ces différentes mémoires, peut être ajoutée la mémoire de travail, notion plus complexe.

La mémoire à court terme est une mémoire qui permet de conserver l'information de quelques minutes à plusieurs heures (24H ou plus). Le traitement de l'information est exclusivement séquentiel (chronologique). La mémoire à court terme n'est pas à assimiler à la mémoire immédiate qui elle, permet un stockage de l'information pour une durée brève, et une restitution dans les quelques secondes à minutes après au maximum.

La mémoire à long terme permet la conservation et la restitution des informations sans limite de temps. Elle est constituée de deux sous types de mémoire: la mémoire déclarative (connaissances verbalisables accessibles à la conscience) et la mémoire non déclarative (inconsciente). La mémoire déclarative comprend elle aussi deux types de mémoire: la mémoire épisodique autobiographique et contextuelle, qui exige pour se souvenir d'une information stockée de se rappeler le contexte spatio-temporel, et la mémoire sémantique culturelle et décontextualisée.

Enfin, la mémoire de travail qui d'après Michèle Mazeau: «consiste en un maintien en mémoire active d'un certain nombre d'éléments nécessaires au décryptage sémantique actuel » (Mazeau M., 2005, 174) comporte trois sous-systèmes: une boucle phonologique (maintien de l'information phonologique), le calepin visuo-spatial (maintien

de l'information visuo-spatiale) et l'administrateur central qui gère les ressources attentionnelles.

Chez l'enfant I.M.C, ce sont la mémoire à long terme déclarative épisodique avec en son sein les connaissances didactiques et/ou la mémoire de travail qui sont le plus souvent touchées.

L'enfant possédant des troubles de la mémoire déclarative épisodique ou didactique présente des signes de troubles mnésiques autour de six, huit ans lorsque les apprentissages deviennent arbitraires (orthographe d'usage, faits numériques par exemple). En effet, jusqu'alors les autres apprentissages de nature practo-gnosique, ou langagiers, ne lui posaient aucun problème, car les autres mémoires ne sont pas atteintes.

Ainsi, seule la mémoire déclarative de type épisodique intentionnelle, c'est-à-dire la mémoire autobiographique ou contextuelle, où se trouvent stockées des informations neutres ayant exigé un coût cognitif car le laissant indifférent (pas d'intérêt particulier pour le domaine d'apprentissage) est atteinte.

Pour cet enfant, l'orthographe d'usage, et les faits numériques sont difficiles à engranger. Outre ces difficultés, il peut présenter de nombreux oublis, ainsi qu'un déficit lexical (trouble du stock).

Enfin, les troubles de la mémoire de travail observés souvent chez des I.M.C. nés à terme, victimes d'anoxie secondaire peuvent engendrer un trouble de la compréhension du discours et textes en temps réel (empan inférieur à trois) et un trouble des compétences phonologiques.

Bien entendu, avant de parler de troubles mnésiques touchant tel ou tel secteur mnésique chez un enfant, il faut connaître ou savoir prendre en compte les résultats anormaux à un item qui peuvent être causés par d'autres troubles, par exemple en cas de troubles gnosiques visuels les scores seront chutés en mémoire visuelle.

2.4.6. Les troubles des fonctions exécutives

2.4.6.1 Les troubles dysexécutifs

Les troubles dysexécutifs sont un ensemble cohérent de symptômes liés aux fonctions normalement dévolues, aux lobes préfrontaux. Ces troubles sont caractérisés par des troubles du comportement, des troubles du traitement des données sensorielles et motrices et de la coordination des fonctions supérieures (langage, mémoire, et

activités visuo-spatiales) ainsi que troubles des fonctions exécutives (de planification et d'auto-contrôle des activités).

Les troubles de l'attention, de l'humeur, du comportement, de la concentration et des fonctions exécutives sont liés à ces troubles. Dans une première partie, nous rappellerons brièvement ce qu'est l'attention, et dans une seconde partie nous donnerons les deux types de troubles observés dans ces troubles dysexécutifs.

2.4.6.2 Les capacités attentionnelles

L'attention pour Michèle Mazeau est la capacité à se centrer sur quelque chose ou sur quelqu'un, à se situer dans un contexte donné et dans une relation précise à l'objet ou à l'interlocuteur. Cette fonction résulte de différentes composantes plus ou moins (in)dépendantes.

Comme la mémoire, il existe différents types d'attention:

-attention endogène (déclenchée volontairement par le sujet)/attention exogène (phénomène déclenché par une source extérieure)

-attention soutenue liée aux notions physiologiques d'éveil, de vigilance

-attention sélective: accroissement de l'efficacité pour une activité donnée et inhibition des activités concurrentes. Ce type d'attention fait appel à la notion de choix. Elle peut être focalisée (attention exogène automatique, brève, rapide) ou maintenue (endogène et durable).

-attention divisée: capacité du sujet à prêter attention simultanément à deux types de cibles.

2.4.6.3. Description des troubles dysexécutifs

L'enfant présentant des troubles dysexécutifs peut présenter plusieurs types de troubles, plus ou moins en lien avec ses capacités attentionnelles: troubles de l'inhibition en défaut ou en excès, et des troubles des stratégies.

Les troubles d'inhibition peuvent toucher le comportement, le langage ou les gestes. Lorsque l'enfant présente un défaut d'inhibition les manifestations sont un trouble de l'attention/ concentration, une distractibilité importante, un excès d'adhérence (poursuite d'une action élémentaire initialement induite), des persévérations (langage, gestes) ou un défaut d'adhérence (impossibilité de se fixer sur l'activité en cours) avec des disfluences (propension exagérée aux associations d'idées), des interruptions de séries automatiques, des écholalies, des échopraxies, de l'impulsivité.

Au contraire lorsque l'enfant est en excès d'inhibition, on observe une apathie, une pauvreté gestuelle et une pauvreté langagière, qui peut aller jusqu'au mutisme.

L'enfant présentera dans les deux types de troubles de l'inhibition, des troubles de l'attention associés.

Les troubles des stratégies sont des symptômes présents lorsque l'enfant doit gérer un ensemble de données et planifier des opérations. Ces troubles correspondant aux troubles des fonctions exécutives. Les difficultés observées concernent le raisonnement (épreuves à succession d'étapes à l'instar des problèmes), les algorithmes, les labyrinthes...

En outre, lors de difficultés exécutives, on observe aussi un rappel et un empan mnésiques compromis, des apprentissages arbitraires médiocres, une atteinte langagière avec la présence de récits désorganisés, de persévérations, de disfluences et une atteinte du regard avec de mauvaises stratégies d'exploration.

Peu d'enfants I.M.C présentent exclusivement une pathologie frontale. Ces troubles sont souvent joints à des troubles langagiers ou visuo-practo-spatiaux. Des troubles dysexécutifs au premier plan peuvent parfois être à l'origine des troubles langagiers, mnésiques et des troubles du regard.

2.4.7. Les troubles de l'organisation spatiale

Le regard, la vision, le mouvement, les perceptions tactilo-kinesthésiques, le langage, l'attention sélective et le niveau cognitif global sont autant de facteurs qui permettent la construction spatiale.

Pour analyser les troubles observés en pathologie Michèle Mazeau suggère certaines distinctions:

- espace corporel: celui du corps et des préhensions;
- espace extracorporel.

Elle propose aussi de faire la différenciation entre: espace à deux dimensions et espace à trois dimensions (expérimentation du réel, du déplacement et des effets directs des gestes).

Enfin, elle conseille de faire des dissociations entre: l'espace «parlé» (lexique spécifique), l'espace «perçu» (vu, regardé, senti) et l'espace représenté.

Le plus souvent trois types de troubles sont observés en lien avec cette organisation spatiale: une dyspraxie visuo-spatiale, une atteinte de la mémoire visuo-spatiale et une indistinction droite / gauche.

En cas de dyspraxie visuo-spatiale, l'enfant présente un déficit de l'espace extracorporel. Peuvent être notés des troubles dans les domaines de la topologie (capacité à situer les objets les uns par rapport aux autres), des orientations propres (capacité à évaluer la position absolue de l'objet, son orientation par rapport à la verticale ou l'axe du corps), de l'espace à deux dimensions et de l'efférence motrice (grapho-praxique).

Au contraire, chez l'enfant qui présente une indistinction droite/ gauche c'est l'espace corporel qui est concerné, souvent une dyscalculie spatiale et une agnosie digitale sont associées.

2.5 Les difficultés psychoaffectives

Nous l'avons vu l'enfant I.M.C est un enfant qui peut présenter de nombreuses déficiences en plus de sa déficience motrice «visible». Il peut présenter trois types de difficultés d'ordre psycho-affectif, qui découlent en partie de ces troubles décrits plus haut. Il peut présenter des troubles de la gestion émotionnelle, des troubles de la représentation corporelle (schéma corporel, et image du corps) et des troubles psychologiques. Ainsi, il n'est pas rare de retrouver chez l'enfant I.M.C un trouble de la gestion émotionnelle (facteur E). Il peut s'agir d'une émotivité exacerbée ou d'une expression inappropriée de l'émotion. Ce facteur appelé facteur E est sous contrôle neurologique et peut être déclenché lors de stimulations tactiles, visuelles, etc.

L'enfant I.M.C peut aussi présenter une mauvaise structuration de son schéma corporel, à cause d'un manque d'expériences sensori-motrices dû à leurs troubles moteurs mais aussi bien souvent par des troubles neuro-visuels. Il ne peut construire l'idée qu'il «a un corps». Il ne connaît pas son schéma corporel et peut encore moins l'utiliser. On peut aussi noter des troubles de l'image du corps chez ses enfants, qui ont une représentation déformée d'eux-mêmes. Ils peuvent être isolés ou associés à des troubles du schéma corporel.

Enfin, le handicap peut avoir des répercussions sur la vie affective et relationnelle. Il est important de connaître l'histoire familiale de l'enfant pour mieux comprendre l'histoire souvent lourde de l'enfant. La construction de la relation mère-enfant a ainsi pu être difficile à établir à cause d'hospitalisations prolongées dans la petite enfance. Comme dans la plupart des handicaps, les parents ont pu vivre un traumatisme, une blessure narcissique et doivent faire le deuil de l'enfant «imaginaire». Des sentiments de culpabilité peuvent susciter des comportements d'hyperprotection ou de rejet et venir

gêner le développement affectif et intellectuel de l'enfant. Si les attitudes parentales sont mal ajustées l'enfant peut alors présenter des failles narcissiques.

L'enfant IMC peut vivre des phases «de trop» (hyperstimulations par exemple) ou «de trop peu» (perturbations des liens d'attachement) de la part de son entourage, et lui même en retour, peut ne pas pouvoir échanger comme il le voudrait avec les autres, ceci peut évidemment avoir des répercussions sur l'édification de sa personnalité. De même si ses troubles neuropsychologiques restent incompris de sa famille ou de son environnement scolaire l'enfant I.M.C peut mettre en place des défenses contre les accusations ou reproches dont il est l'objet. S'il ne se sent pas reconnu dans sa personne, il peut alors être observé une stagnation des apprentissages moteurs ou scolaires, une dépression, une instabilité, et des manifestations d'agressivité.

2.6.Grands tableaux cliniques

La symptomatologie de l'enfant l'I.M.C. est due à l'étendue des lésions et à leur localisation. A côté de ces déficiences motrices et de leurs conséquences (incapacités), nous pouvons trouver dans le tableau clinique de l'enfant I.M.C d'autres troubles que ceux des zones motrices.

Trois grands tableaux cliniques peuvent être décrits selon la symptomatologie observée, nous avons fait le choix de les présenter sous forme de tableau en annexe numéro trois.

Il a été intéressant de noter la variété des troubles qui peuvent se retrouver présents ou absents chez un enfant. L'enfant I.M.C peut présenter en plus de son atteinte motrice, et des ses atteintes sensorielles plusieurs types de troubles psychologiques et neuropsychologiques, qui rendent complexes les apprentissages élémentaires. Nous allons étudier ici plus précisément les répercussions de ces troubles sur les apprentissages mathématiques en insistant sur l'acquisition du dénombrement.

3. L'enfant Infirmes moteur cérébral et la construction du nombre

3.1 Fonctions cognitives nécessaires au développement des compétences numériques

Gelman a montré l'existence de compétences numériques précoces et innées chez le bébé. Mais pour d'autres auteurs tel que Dehaene ces compétences existent mais ne suffisent pas à répondre aux multiples usages du nombre que fera l'enfant en grandissant. Il doit développer ses connaissances sur le nombre pour résoudre plus facilement les problèmes qui y sont liés. Cette acquisition de nouveaux savoirs se fera notamment par le biais de l'école.

Ces compétences numériques évoluent à partir de deux ou trois ans, pour se construire elles empruntent des «composites» à divers secteurs cognitifs: la logique, le langage, les fonctions visuo-spatiales, les fonctions mnésiques et les fonctions exécutives. Ces fonctions mûrissent à leur rythme et se coordonnent peu à peu. Selon Michèle Mazeau (2008, 258) «le nombre est un concept «composite», forgé à partir d'éléments disparates dont la synthèse tardive doit assurer la cohérence».

3.1.1 Le langage, la mémoire et les compétences numériques

Avant d'accéder aux opérations arithmétiques, l'enfant apprend la comptine numérique. Nous l'avons vu cette connaissance nécessite la mémorisation d'un lexique numérique mais aussi la maîtrise de règles syntaxiques. Ces connaissances «déclaratives» exigent une mémoire efficiente et aussi un langage efficient pour pouvoir appliquer les règles syntaxiques.

Chez l'enfant I.M.C ces deux fonctions peuvent être imbriquées, certains enfants peuvent présenter des troubles langagiers à la suite d'une atteinte mnésique et d'autres des troubles mnésiques associés à une dysphasie.

Les enfants dysphasiques peuvent présenter des difficultés en numération (comptine, lexique, syntaxe, transcodage oral↔écrit) et résolution de problèmes (compréhension des consignes). La maîtrise de la chaîne numérique verbale nécessite en outre une mémoire à long terme efficiente, or nous avons vu qu'elle pouvait être défaillante (cf p38). Les troubles mnésiques des enfants I.M.C comprennent aussi des troubles de la mémoire de travail, on peut alors retrouver des troubles dans la réalisation de calculs mentaux.

3.1.2 Le syndrome frontal et les compétences numériques

L'apprentissage du calcul demande à tous les stades l'intervention des fonctions attentionnelles et exécutives. Nous pouvons les retrouver impliquées dans le choix et la mise en application de stratégie et d'inhibition. L'enfant peut disposer de mauvaises stratégies en calcul mental et en dénombrement: stratégie du regard, organisation du comptage, contrôle des persévérations. Il peut avoir un défaut d'inhibition, et conserver une routine appliquée précédemment lors d'un exercice pour l'exercice suivant et s'en servir de manière non adaptée.

3.1.3. La logique et les compétences numériques

Comme l'a décrit Piaget (cf partie 1.1), l'enfant doit posséder diverses structures logiques (classification, sériation, conservation) avant d'accéder à la notion de nombre. L'enfant I.M.C est gêné dans ses expériences motrices par une mauvaise prise d'informations (atteintes sensorielles diverses: audition, vision...), et par son atteinte motrice. Sa représentation de la réalité peut être faussée et donc entraver le développement de ses structures logiques.

3.1.4 Les troubles du regard

L'enfant I.M.C peut échouer lors des activités de dénombrement, de pose et de résolution d'opérations à cause de troubles du regard, qui sont responsables de stratégies du regard défaillantes. Ces dernières induisent des anomalies de construction des représentations spatiales.

3.2. Les difficultés logico-mathématiques retrouvées lors des études

Une recherche publiée en 1980 et effectuée par De Barbot F., *et al* (1989) sur un groupe de quatorze enfants I.M.C. (six garçons et huit filles) âgés de cinq ans deux mois à neuf ans trois mois, atteints de diplégie, triplégie ou quadriplégie prédominant aux membres inférieurs, et avec pour la plupart une étiologie commune: la prématurité, a montré que ces enfants pour la plupart, éprouvaient des difficultés lorsque le raisonnement devait s'appuyer sur des données spatiales. Les troubles rapportés concernaient trois domaines: l'établissement d'une origine, les sériations, et le dénombrement. Ainsi, les enfants I.M.C échouent à deux épreuves d'établissement d'origine de l'UDN 80 («découpage de la ficelle» et «les tomates et les carottes»). En effet, si après avoir placé en terme à terme une rangée de tomates de carottes, on enlève quelques éléments de l'une des collections et que l'on demande à l'enfant, qui

avait les yeux fermés de détecter ce qu'on a fait, on constate qu'il ne parvient pas à savoir ce qui a été fait.

Même si ces enfants réussissent à beaucoup d'épreuves dans cette étude longitudinale, nous notons que seuls trois sujets, parmi onze enfants revus dix ans plus tard accéderont à une pensée formelle et ce sont ceux qui réussiront le baccalauréat. Ces sujets arriveront jusqu'au baccalauréat grâce aux compensations mises en place, notamment des compensations verbales. Malgré tout, ils conserveront des difficultés à raisonner sur des objets concrets, et ce malgré un accès à la pensée formelle.

Claire Meljac dans son livre «décrire, agir et compter: l'enfant et le dénombrement spontané»(1979) a aussi étudié un groupe d'enfants I.M.C., à qui elle a proposé des tâches requérant la mise en place du dénombrement. Elle a pu constater que les enfants possédaient un niveau de connaissance de la suite des nombres et de transcription normaux, même si le sens de la numération de position n'est pas toujours acquis.

En revanche leurs performances en dénombrement sont basses. Dans les épreuves portant sur l'utilisation du nombre, l'enfant dénombre précipitamment sans réfléchir à l'utilité de cette opération. Ils peuvent alors dénombrer deux collections en terme à terme et donner le total des deux. Lors d'épreuves mettant en œuvre son utilité opérationnelle, le dénombrement semble négligé et les enfants semblent adopter des stratégies rudimentaires. Ainsi l'épreuve des poupées (épreuve présente avec moins d'objets dans le test l'UDN2 de Meljac C. et Lemmel G.), dans laquelle l'examineur présente neuf poupées en désordre sur une table et demande à l'enfant d'aller chercher sur une autre table la quantité exacte de robes, puis de sacs et de chaussures pour habiller toutes les poupées en une seule fois, révèle une absence totale d'utilisation du comptage et donc d'utilité du nombre pour résoudre ce problème. Ainsi, l'auteur décrit que les enfants peuvent se saisir d'une ou plusieurs robes, ou compter une collection mais pas l'autre.

De plus, l'auteur ajoute que gêné par ses difficultés pratiques, l'enfant se trouve confronté à des résultats aberrants qui sont contradictoires avec les notions parfois acquises antérieurement, ce qui le conduit à donner une valeur magique au mot, et à délaissé l'action ou à remettre en doute sa démarche.

3.3. Le dénombrement

Il est intéressant de noter que les études (Bardi et Laquière, 1996, Meljac, 1979 ...) effectuées dans le domaine des troubles des apprentissages des enfants I.M.C

ont pour la plupart été faites chez des enfants dyspraxiques. Elles ont mises en exergue chez ces enfants des troubles lors de la réalisation du dénombrement. Selon Bardi et Laquière (1996), Lecointre, Lépine et Camos (2004 «cités par» Noël, 2005), ces enfants ont des troubles d'ordre procédural, c'est-à-dire des aptitudes à planifier le déroulement de l'action, compte-tenu des restrictions posées par les principes du comptage et conditions propres à la tâche.

3.3.1 Les composantes du dénombrement touchées

Dans l'étude réalisée par Bardi et Laquière (1996) sont notées quelques difficultés d'énonciation, tous les enfants ne possèdent pas la même maîtrise et connaissance de la chaîne numérique. Dans les autres recherches, nous constatons en général, une bonne connaissance de la chaîne numérique. Mais pour certaines auteures, ils ne peuvent appliquer **la correspondance interne**. Ainsi l'énoncé de la suite des mots nombres ne concorde pas avec leur pointage.

Outre ces difficultés de correspondance interne, ils affichent aussi des difficultés de pointage. Ils peuvent oublier ou répéter leur pointage et donc leur dénombrement est faussé. **La correspondance externe (pointage œil/doigt)** est elle aussi non maîtrisée. L'enfant peut à cause de son handicap visuo-manuel et de ses difficultés d'exploration visuo-manuelle sauter des objets, car son regard va plus vite que son comptage ou inversement. D'après Bardi et Laquière (1996) , les enfants I.M.C. dyspraxiques sont désavantagés dans les tâches de pointage, quelle que soit la disposition des collections. Une étude de Arp et Fagard (2001) a montré que malgré un handicap visuo-manuel important les enfants I.M.C préféraient utiliser le pointage manuel dans le comptage plutôt que le visuel. La correspondance externe n'est pas établie mais la condition sur ordinateur, censé favoriser un pointage visuel ne les aide pas.

Correspondances externe et interne ne sont pas établies chez l'enfant I.M.C. Nous pouvons donc dire que l'enfant ne maîtrise pas la double correspondance.

Outre ces habiletés non accessibles à l'enfant, à cause de difficultés visuo-spatiales et d'un handicap moteur parfois lourd au niveau des membres supérieurs qui rendent imprécis le pointage manuel, les auteurs ont noté chez ces enfants la présence de stratégies primitives.

Dans une étude, Montaru et Camos (2004 «cités par» Noël, 2005) évaluent l'exploration spatiale des adolescents I.M.C lors de tâches de dénombrement, et constatent que leurs stratégies d'exploration spatiale sont celles d'enfants beaucoup plus jeunes. Presque tous, emploient *une stratégie proximale*, c'est-à-dire qu'ils

comptent les objets en allant d'un objet à son voisin le plus proche. Peu sont ceux à utiliser une stratégie périphérique, qui débute par un comptage des objets situés autour du centre, puis dénombrent ceux du milieu. Or, Shannon montre bien que la stratégie proximale est la plus élémentaire, viennent ensuite la stratégie périphérique puis, la stratégie linéaire (organisation du dénombrement selon des lignes verticales ou horizontales).

Ce retard dans le développement des stratégies peut puiser son origine dans la mauvaise maîtrise du geste de pointage. Sans maîtrise du geste de pointage, l'enfant ne peut maîtriser amplement la stratégie proximale. Et sans la maîtrise de la stratégie proximale, il ne peut développer les autres stratégies.

Malgré des performances médiocres non possiblement compensées par un pointage visuel, l'enfant I.M.C connaît les principes du dénombrement, et la mise en place des compétences en dénombrement pour certains auteurs est réalisable.

Cependant dans l'étude de Bardi et Laquière (1996) une différence sensible entre **performance** (ce qu'il fait réellement) et **compétence** (ce qu'il est censé être capable de faire) n'a pas pu être relevée, ainsi les enfants dyspraxiques sont gênés par leurs troubles visuels dans les tâches de jugement de dénombrement de collections. Il est constaté que leurs résultats sont meilleurs qu'en production, mais pas de manière significative.

3.3.2 Les principes de Gelman et Gallistel les plus touchés

Pour beaucoup d'auteurs, c'est la mise en œuvre de ces principes qui est la plus difficile. Ainsi comme nous l'avons vu, ils sont en échec lorsqu'on leur propose des exercices nécessitant l'application du principe de correspondance terme à terme. Certains anciens prématurés éprouvent des difficultés à résoudre les tâches faisant appel au principe d'abstraction lorsque les objets se ressemblent peu physiquement. Enfin, certains auteurs pensent qu'à cause d'une mauvaise structuration spatiale, le principe de non pertinence de l'ordre peut ne pas exister chez l'enfant I.M.C. ou être appliqué difficilement.

De plus, les difficultés de cardinalisation peuvent exister à cause d'une approche perceptive erronée (exploration spatiale et visuelle). L'enfant commet des erreurs, ses résultats sont parfois contradictoires, et ne permettent pas de construire des références quantitatives solides.

3.4. L'enfant I.M.C peut-il être dyscalculique?

Selon Michèle Mazeau: «la dyscalculie est définie comme (p269, 2005) un retard significatif dans les activités arithmétiques, retard authentifié par un score inférieur d'au moins deux écarts types par rapport à la norme ou un retard d'au moins deux ans par rapport à l'âge et au niveau scolaire, interférant nettement avec la réussite scolaire, chez un enfant sans déficit intellectuel ni sensoriel.» Trois étiologies peuvent l'expliquer: la dyscalculie peut avoir une origine génétique ou congénitale (Kosc, 1974, Molko *et al* 2003, «cités par» Pesenti *et al*, 2000), elle peut avoir une origine sociétale et enfin elle peut être occasionnée par des défaillances du développement opératoire tel que l'a explicité Piaget. Dans le cas de l'enfant I.M.C, la dyscalculie serait due à un dysfonctionnement du module cérébral numérique les aires pariétales.

Cependant, Michèle Mazeau précise bien que les compétences numériques se mettent en place grâce au développement de plusieurs secteurs de la cognition. La dyscalculie peut donc être due au dysfonctionnement de secteurs variés. Il n'existe pas une dyscalculie mais plusieurs, selon le type de dysfonctionnements sous-jacents.

Il existe alors plusieurs classifications de la dyscalculie, qui sont pour la plupart basées sur la neuropsychologie de l'adulte.

Pour Kosc (1974, «cité par» Pesenti *et al*, 2000) il existe six types de dyscalculie:

-dyscalculie verbale: l'enfant ne peut nommer les choses (quantités, numéraux, symboles...)

-dyscalculie lexicale: difficulté à lire les symboles mathématiques.

-dyscalculie graphique L'enfant I.M.C peut faire partie de ce groupe de dyscalculiques car il peut avoir des difficultés à écrire les nombres.

-dyscalculie practognosique: difficulté à manipuler les objets mathématiques que ce soit avec des objets réels ou sous formes d'images (difficultés de dénombrement, comparaison d'estimation de quantités, d'ordination de bâtons selon leur grandeur, etc...). L'enfant I.M.C avec ses difficultés visuo-spatiales pourrait appartenir à ce groupe.

-dyscalculie idéognosique: incompréhension des concepts ou relations mathématiques.

-dyscalculie opérationnelle: réalisation des opérations mathématiques. L'enfant I.M.C peut appartenir à ce groupe.

Ta'in *et al* (1997, «cités par» Van Hout *et al*, 2005) ont pu proposer une distinction entre dyscalculies profondes (sens du nombre ou de la quantité touché) et dyscalculies secondaires résultant de déficits plus globaux comme ceux du traitement visuo-spatial. Il est fréquent de retrouver une comorbidité entre la dyscalculie et les autres troubles

spécifiques des apprentissages. Les dyscalculies peuvent alors être isolées ou conjointes à un autre trouble spécifique des apprentissages, et donc, refléter l'atteinte d'un même secteur cognitif en amont. Nous pouvons alors retrouver des enfants dyscalculiques en cas de troubles des fonctions visuo-spatiales, fonctions mnésiques, et fonctions linguistiques.

Selon Michèle Mazeau, il existerait trois types de dyscalculies correspondant aux trois aspects différents du nombre: une dyscalculie spatiale, une dyscalculie raisonnementale (déficit d'accès aux structures logiques dont la conservation), et une dyscalculie linguistique (difficultés en lecture et écriture de mots nombres, et dans l'acquisition de la comptine numérique).

L'enfant I.M.C, nous l'avons vu ci-dessus peut présenter divers troubles, mais en général les dyscalculies les plus retrouvées sont les dyscalculies spatiales, qui sont dues en grande partie à des troubles visuo-spatiaux et engendrent des difficultés en numération, pose et résolution des opérations, géométrie, dénombrement. Malgré ces difficultés patentées, l'enfant ne présente pas d'atteinte du raisonnement logique. Cette dyscalculie spatiale peut s'intégrer dans un syndrome plus large, appelé syndrome de Gerstmann. Il comprend une dyscalculie spatiale, une dysgraphie, une désorientation gauche-droite, et une agnosie digitale. Il est tout à fait probable de ne retrouver que quelques uns de ces symptômes chez un même patient. D'abord observé chez l'adulte à la suite d'une lésion postérieure de l'hémisphère droit, le syndrome de Gerstmann a aussi été observé chez des enfants en difficultés d'apprentissage par Rourke et Strang (1983 «cités par» Gillet P., 2000). Il était alors associé à des difficultés visuo-spatiales, constructives et grapho-motrices.

Il n'est pas rare de retrouver chez les enfants I.M.C des cas de dyscalculie, notamment de dyscalculie spatiale. Dans ces cas précis, les rééducations exclusivement basées sur les remédiations des notions logiques comme pour la majeure partie des dyscalculies ne sont pas les mieux indiquées pour ces enfants qui n'ont pas de problèmes raisonnementaux. Nous allons maintenant voir quels types d'aides leurs sont généralement proposées, notamment en ce qui concerne le dénombrement.

Il faut davantage trouver des voies pour rééduquer et/ou contourner les troubles notamment visuo-spatiaux.

3.5 Les solutions proposées pour remédier à ces troubles

3.5.1. Le subitizing peut-il remplacer un dénombrement peu efficace ?

Le subitizing est l'autre procédure de quantification qui permet d'avoir un accès précis à la numérosité d'une collection. Comme il ne requiert pas de geste de pointage des études ont été menées afin de voir si celui-ci était suffisamment efficace pour se substituer au dénombrement. Dans leurs études, Arp et Fagard (2004 et 2001) ont constaté que les enfants I.M.C. avaient des performances inférieures à celles des enfants tout venant. Ils pouvaient l'utiliser mais avec des collections moins grandes que celles des enfants tout venant. Leurs performances étaient néanmoins améliorées par la disposition spatiale (disposition canonique facilitante).

Les auteurs se sont aperçus que la limite du subitizing était améliorée si l'enfant avait une capacité de coordination visuo-manuelle et de poursuite oculaire. Elle ne peut donc pas se substituer au dénombrement même si elle se départ de l'exécution du geste contrairement au dénombrement.

Or, comme il l'a été précisé précédemment le subitizing peut permettre un passage au dénombrement, mais chez l'enfant I.M.C. celui-ci peut dès lors être un peu entravé.

3.5.2. L'apport de la verbalisation

Plusieurs études révèlent qu'en plus de leur handicap moteur les enfants I.M.C sont porteurs de dyspraxies associées à des troubles oculomoteurs. Ainsi, 95 % des enfants I.M.C seraient dyspraxiques.

Michèle Mazeau et d'autres auteurs s'accordent sur l'apport bénéfique de la verbalisation chez les enfants dyspraxiques, qui disposent de bonnes capacités verbales et mnésiques (dyspraxie isolée).

Pour pouvoir compenser les troubles du dénombrement par la verbalisation, il faut s'appuyer notamment sur une connaissance solide de la suite numérique orale. La pédagogie doit aussi s'appuyer sur le sens, insister sur les aspects langagiers et mettre de côté les aspects manipulatoires et visuo-spatiaux. La pédagogie proposée par Stella Baruk dans son livre «comptes pour petits et grands» est alors intéressante car elle insiste sur les rapports entre le nombre et la langue.

Mais la verbalisation ne peut complètement compenser ces troubles et permettre cet apprentissage.

Ainsi, selon Rémi Brissiaud l'enfant pour accéder au dénombrement doit passer par la représentation des quantités sur des collections témoins de doigts. Pour l'auteur

(1997, 39)«un enfant qui saurait dénombrer une collection de huit objets mais qui ne saurait pas montrer huit doigts directement sans compter n'a pas une bonne conception des quantités (...). Il est obligé de construire la collection de doigts correspondant pour «sentir»la quantité.»

Or, les enfants dyspraxiques ne peuvent s'aider de leur main pour organiser leur comptage, car pour certains la dissociation des doigts est ardue. Ils peuvent cependant disposer de petits cartons sur lesquels seraient dessiner les configurations de doigts.

3.5.3. Adaptations du matériel ou passage direct au nombre

Avec les enfants dyspraxiques, il faut autant que possible avoir recours à des stratégies verbales. Si ce n'est pas possible, on peut procéder à des aménagements visuo-praxiques: adaptation de la présentation de l'exercice (éviter les tableaux par exemple), proposer des objets moins linéaires si on procède à des exercices de sériation (poupées gigognes par exemple), apports de facilitation visuelle (suivi du doigt, couleurs),...

En ce qui concerne le dénombrement les auteurs (Mazeau, Le Lostec 2010, Daffauré et Guedin, 2011...) proposent souvent un déplacement des objets déjà comptés ou un marquage des objets déjà comptés (barrage,...).

Michèle Mazeau conseille aussi que cet exercice soit fait en individuel sous le contrôle avisé et le soutien de l'adulte.

Si ces adaptations ne peuvent être réalisées Michèle Mazeau préconise que cette activité soit délaissée plutôt qu'elle n'entraîne erreurs répétées qui ne permettent pas l'accès à l'invariance du nombre. A l'instar de Madame Duquesne (2004), elle pense alors que l'apprentissage doit être centré directement sur le nombre.

4. Buts et hypothèses

Nous avons montré précédemment l'importance de la maîtrise du dénombrement pour la construction du nombre, l'acquisition des apprentissages numériques et la réussite scolaire ultérieure (études de Barbot F. *et al.*, 1989). Or nous avons vu lors des études menées que l'enfant infirme moteur cérébral à cause de ses nombreux troubles peut être gêné dans les tâches de dénombrement traditionnelles, et donc ne pas pouvoir acquérir cette connaissance de base des mathématiques. Dans la pratique nous constaterons cependant un manque de matériel destiné à ces enfants, qui peuvent présenter plusieurs déficiences associées à leur troubles moteurs.

Notre étude a pour objectif de créer un matériel permettant de développer et renforcer le dénombrement chez des enfants I.M.C porteurs de troubles neurovisuels. Il nous a paru intéressant de proposer un jeu sur support informatique afin de pouvoir contourner certains troubles présentés par ces enfants.

L'objectif général de ce travail a été d'élaborer un matériel visant le développement des principes de Gelman et Gallistel, et le renforcement de certains principes déjà efficaces. Le but ultime étant qu'ils fournissent à l'enfant des exercices multiples où ses résultats seront concordants, afin qu'il puisse accéder à une invariance de la quantité.

Les hypothèses de travail sont en lien avec cette création:

Hypothèse 1: L'enfant I.M.C présente des troubles dans l'exercice du dénombrement. L'analyse des réponses recueillies à notre questionnaire effectuée ci-après, ainsi que l'étude réalisée auprès de huit enfants Infirmes Moteurs Cérébraux devraient confirmer cette hypothèse.

Hypothèse 2: L'utilisation de l'outil informatique devrait faciliter la procédure de dénombrement davantage mise en échec lors des situations sur table.

Hypothèse 3: Le pointage avec la souris devrait être une étape intermédiaire vers l'abstraction et la conceptualisation du nombre.

Sujets, matériel et méthode

1.Méthodologie.

1.1 Revue du matériel existant et dégagement des manques

Avant de commencer la réalisation de notre matériel, il nous a paru important d'analyser le matériel existant (papier ou informatique) afin de faire ressortir des manques, qui justifieraient notre création sur support informatique.(cf annexe N°4)

Nous avons pu constater que les logiciels existants ne prennent pas toujours en compte les troubles fréquemment associés à la pathologie des enfants I.M.C, notamment les troubles moteurs, praxiques, mnésiques et attentionnels. Certains logiciels proposent beaucoup d'animations sur leurs écrans, pouvant accentuer les troubles attentionnels et neurovisuels de ces enfants, et d'autres demandent à l'enfant d'inscrire son résultat dans un nouvel écran, ce qui implique que l'enfant dispose d'une mémoire efficiente.

Les matériels sur support papier existants peuvent aussi être plus ou moins adaptés aux troubles comorbides des enfants, ceux-ci nécessitent parfois une réadaptation de la part du professionnel.

Parmi les matériels répondant à notre problématique, nous remarquons que peu d'outils informatiques correspondent aux enfants I.M.C dans leur forme. Cette dernière est d'ailleurs peu variée. De plus, nous notons que ces logiciels ne proposent pas toujours d'exercices précis pour travailler certains principes de Gelman et Gallistel: principe de correspondance terme à terme, principe d'abstraction, principe d'ordre indifférent. Or, comme nous l'avons spécifié, ce sont souvent ces principes qui sont atteints chez l'enfant I.M.C.

Partant de ces constats, il nous paraît donc pertinent de réfléchir à un matériel plus adapté dans sa présentation à certains troubles associés des enfants I.M.C et qui permettrait de développer et renforcer ces différents principes. Afin de confirmer ou infirmer un besoin réel de création, nous avons souhaité questionner les professionnels concernés sur le terrain. Nous avons donc élaboré un questionnaire à leur destination.

1.2.Questionnaire

1.2.1 Construction du questionnaire

Notre questionnaire (cf annexe n°5) comporte seize questions (de Q1 à Q 12), simples ou doubles, réparties en huit questions stables (de Q1 à Q7 bis), posées à toute la population et huit questions réservées à toutes les orthophonistes proposant une prise en charge de ces structures logico-mathématiques.

L'enquête compte majoritairement des questions semi-ouvertes et fermées. L'utilisation d'une majorité de questions de ce type facilitait l'analyse des données, tout en permettant à l'orthophoniste de s'exprimer sur **des aspects plus qualitatifs** concernant les contraintes majeures à ce type d'apprentissages chez les enfants, les causes de leurs difficultés et les outils utilisés.

En effet, bien plus que le matériel utilisé, il était indispensable pour nous de savoir si la création d'un matériel informatique pouvait les intéresser et répondre éventuellement à un besoin existant en pratique. Il était aussi riche de connaître quels éléments du contenu leur paraissaient indispensables.

Enfin une question large à la fin pouvait permettre aux professionnels de compléter leur apport par des commentaires ou des suggestions sur cette future création.

1.2.2 Public visé

Nous avons souhaité envoyer le questionnaire à des professionnels exerçant dans des structures (S.E.S.S.A.D, I.M.E et I.E.M) accueillant des enfants I.M.C dans plusieurs régions afin d'avoir un effet de représentativité au niveau du recrutement.

Il nous a paru judicieux d'envoyer ces questionnaires aux structures accueillant des enfants handicapés moteurs, afin de cibler au plus près les professionnels amenés à prendre en charge des enfants I.M.C. Les réponses obtenues proviennent donc de professionnels n'exerçant qu'en salariat.

Nous avons pu nous apercevoir lors du questionnement initial, que parfois ce type de troubles chez ces enfants pouvait être traité par d'autres professionnels. Nous avons donc spécifié dans notre lettre accompagnant ce questionnaire que d'autres thérapeutes proposant une remédiation à ces troubles pouvaient le compléter. La majorité des réponses proviennent toutefois des orthophonistes.

1.2.3 Conditions de présentation du questionnaire

Le questionnaire a été envoyé une première fois par courrier de juillet à septembre deux mille onze dans plusieurs régions de France (régions les plus interrogées: île de France, Rhône Alpes, Provence Alpes Côte d'Azur, Aquitaine, Nord Pas de Calais, et Haute Normandie), accompagné d'une lettre de présentation et d'une enveloppe pré-timbrée facilitant ainsi son renvoi. Il a ensuite été reproposé, aux professionnels des structures n'ayant pas répondu, mi-janvier deux mille douze par e-mail et aussi par courrier avec à nouveau en pièces jointes une enveloppe pré-timbrée pour faciliter son retour.

1.2.4 Réponses

1.2.4.1 Identité des professionnels interrogés

Sur les trente deux questionnaires postés, nous avons reçu seize réponses. Parmi eux trois étaient non complétés, nous avons donc pu analyser les réponses de treize professionnels. Nous n'avons pas la prétention de croire que nos résultats seront représentatifs, ils nous permettront surtout de faire émerger des idées.

Parmi eux, deux ont été remplis par un médecin de rééducation fonctionnelle et une enseignante spécialisée option C (enseignement des enfants et adolescents malades somatiques, déficients physiques ou handicapés moteurs).

75 % des professionnels interrogés exercent depuis plus de dix ans, et 88% d'entre eux travaillent depuis plus de dix ans au sein de la structure dans laquelle nous leur avons transmis le questionnaire. La moitié de ces rééducateurs ont suivi une formation complémentaire dans le domaine du raisonnement logico-mathématique et du calcul. Ces formations sont diversifiées.

Ils exercent dans des établissements qui accueillent pour la moitié d'entre eux entre un et dix enfants I.M.C (au sens de M. Tardieu) et pour l'autre moitié entre vingt et cinquante enfants I.M.C. La médiane à cette question est de vingt. Nous pouvons cependant émettre des réserves quant aux réponses obtenues à cette question, puisque la prévalence de cette pathologie est peu élevée (environ 1 pour 1000 naissances) et que les établissements dans lesquels travaillent ces professionnels n'ont pas tous de grands effectifs d'accueils.

1.2.4.2. Place du dénombrement dans les structures logico-mathématiques atteintes et contraintes à cet apprentissage

Pour toutes les personnes interrogées, les enfants I.M.C rencontrés présentent des troubles du raisonnement et du calcul. Parmi eux, 25% considèrent que le dénombrement est la compétence logico-mathématique la plus atteinte chez ces enfants. Pour les autres, le dénombrement est touché mais n'est pas la compétence la plus atteinte. Il peut se situer en deuxième position après l'inclusion et la conservation. Seule une personne interrogée estime que le dénombrement n'est pas une compétence atteinte chez ces enfants. Lorsqu'on questionne ces professionnels sur les contraintes majeures à ce type d'apprentissage, nous constatons que les troubles neurovisuels sont en première place. Les troubles frontaux et les troubles moteurs sont majoritairement cités en deuxième et troisième position.

Il est intéressant de noter que les rééducateurs proposant une prise en charge de ces troubles sont les mêmes que ceux qui ont suivi une formation complémentaire. Parmi eux, un seul orthophoniste propose ce type de rééducation sans avoir reçu de formation supplémentaire. Lorsque celle-ci n'est pas proposée, les principaux arguments avancés sont un manque d'aisance dans le domaine, un manque de temps de prise en charge, ou encore en dernier argument, une priorité moindre de ce type de prise en charge sur les autres. Néanmoins un thérapeute nous confie suivre une formation pour pouvoir répondre à une demande croissante de prise en charge.

1.2.4.3. Matériel utilisé en rééducation

La plupart de ces thérapeutes utilise du matériel spécifique à ce type de prise en charge (matériel créé par les organismes formateurs ou préconisé) et ne se servent pas de logiciels. Un seul orthophoniste utilise des logiciels informatiques pour les enfants I.M.C. mais spécifie ne pas en être pleinement satisfait, car il ne contient pas assez de manipulation. Les cinq orthophonistes, préférant des jeux et du matériel spécifique, précisent pour trois d'entre eux, que ce choix était dû à un manque d'outillage informatique, les deux autres préfèrent un cadre plus libre, favorisé par des supports «papier».

Cependant tous avouent préférer des manipulations sur table parce que le matériel informatique à leur disposition ne convient pas toujours aux patients qu'ils prennent en charge.

1.2.4.4. Intérêt pour cette création

Les six orthophonistes proposant des rééducations logico-mathématiques considèrent en grande majorité que cette création pourrait revêtir un intérêt pour la pratique orthophonique. Ainsi quatre professionnels ont répondu positivement, un seul négativement et le dernier ne s'est pas prononcé. Pour ces rééducateurs les éléments devant apparaître en priorité sont:

- l'exploration de taille entre les collections;
- un contenu **adapté** et agréable dans le fond et la forme;
- une thématique correspondant à des situations de vie quotidienne;
- un matériel concret et simple;
- l'assignation de valeurs numériques à des collections;
- la modification de certains paramètres (volume, taille...);
- l'éviction de choix multiples.

1.2.5 Critiques du questionnaire

Toutes les questions n'ont pas pu être traitées par tous les professionnels car une bonne moitié étaient destinées aux professionnels proposant ce type de prise en charge. Néanmoins, il eût pu être intéressant d'intégrer la question onze sur l'intérêt de cette création plus haut dans le questionnaire afin d'avoir un avis de tous les rééducateurs. En outre, il aurait pu être judicieux de proposer une question supplémentaire dans la partie présentation.

Les questions cinq et six demandant de classer par ordre les éléments proposés dans le tableau (structures logico-mathématiques atteintes et contraintes majeures à ces apprentissages) ont été difficilement complétées. La relation d'ordre à donner s'est révélée complexe. L'analyse quantitative de ces réponses n'a pas été évidente à réaliser sur un plan statistique, car les classements ont pu être très différents, absents, ou identiques pour certaines structures. Néanmoins l'analyse de ces réponses a été enrichissante sur le plan qualitatif et nous avons pu extraire des éléments intéressants concernant le dénombrement en priorité.

Les réponses n'ont pas été nombreuses sur la création du matériel cependant elles ont tout de même permis de l'améliorer, notamment la question douze qui concernait les éléments que devait contenir ce nouveau logiciel.

Une proportion de questions semi-ouvertes et ouvertes a donné lieu à des apports et/ou des digressions qui se sont finalement révélées riches d'un point de vue qualitatif et très intéressantes pour notre création.

1.3. Réalisation du matériel

Le matériel sera réalisé à partir de lectures théoriques, de consultations de matériels existants et des réponses obtenues aux questionnaires.

1.3.1 L'élaboration de l'histoire

Nous avons eu la volonté de faire de l'enfant l'acteur principal de l'histoire. L'enfant doit accomplir une quête: aider les élèves à retrouver M. Dénombre (poisson mascotte de la classe de CP), mais cette aventure comprend plusieurs étapes.

Nous avons souhaité qu'il puisse trouver du sens dans le déroulement des activités. Pour cela, nous avons voulu que notre aventure soit assez concrète en se situant dans un monde connu de l'enfant, celui de l'école mais aussi celui de la nature. L'histoire est donc ancrée dans une réalité et les activités proposées peuvent être retrouvées dans la vie: préparation d'un sac de voyage, organisation du pique-nique...

1.3.2. La création des exercices

Une fois la forme globale de l'histoire imaginée, nous avons voulu proposer des exercices ludiques, permettant ainsi d'exercer tous les principes définis par Gelman et Gallistel. Ces exercices devaient intéresser l'enfant mais aussi être d'une durée limitée pour que le jeu puisse être réalisé dans sa totalité lors d'une séance d'orthophonie.

Nous avons proposé à l'enfant six exercices. L'ordre de ces exercices n'est pas interchangeable, car il correspond à celui de l'histoire, et suit une progression de difficulté croissante. Nous avons donc proposé au départ deux exercices visant à entraîner le principe d'ordre stable en priorité. En effet ce principe dans les études faites chez les enfants I.M.C était relativement bien préservé. De plus, il nous semblait important d'entraîner cette compétence de base au dénombrement soit l'énonciation de la comptine numérique avant de demander à l'enfant de coordonner les deux activités présentes dans le dénombrement: pointage et énonciation. Par la suite, nous avons proposé un exercice visant à entraîner le principe d'abstraction, puis le principe d'ordre indifférent, et enfin le principe de correspondance terme à terme et le principe cardinal.

1.3.3.Les moyens mis en place pour contrer les troubles neurovisuels

Ces activités ont été volontairement proposées sur un fond noir, épuré, qui permettait ainsi un meilleur décodage visuel. Associé à ce fond noir, nous avons mis en place un curseur bleu, qui en se déplaçant seul sur tous les objets de la collection devait aider l'enfant dans son balayage visuel et son exploration de la scène. De plus, ce curseur devait permettre de bannir l'effort moteur et visuel que demande un pointage avec la souris pour sélectionner l'objet. Par ce biais l'enfant en difficulté lors des tâches de manipulation pouvait tout de même être «acteur» sur l'ordinateur tout en étant guidé par le curseur: un seul clic de souris étant suffisant pour sélectionner l'objet.

Ces moyens (curseur et fond noir) mis en place devaient soulager les traitements de bas niveau afin que l'enfant dispose de ressources cognitives suffisantes pour accéder à des processus de plus hauts niveaux, et puisse mieux gérer les activités de multi-tâches. Le curseur permettant par exemple chez les enfants dyspraxiques visuo-spatiaux la suppression du recours au geste non automatisé coûteux en énergie et sous la dépendance de processus attentionnels trop lourds pour que l'enfant puisse accéder à des résultats concordants.

Le but ultime du matériel étant que l'enfant accède à une conceptualisation du nombre et à des représentations de la quantité jusqu'à dix.

1.4. Présentation de l'étude

1.4.1 Phase de «validation»

Nous avons proposé notre matériel à des enfants scolarisés en classe de cours préparatoire (CP), ne présentant pas de troubles en dénombrement, afin que celui-ci puisse être validé.

Pour cela, nous avons évalué au préalable les enfants de mi-septembre à fin octobre afin de ne choisir par la suite que les enfants sans difficulté dans les domaines nécessaires à l'utilisation du matériel (compréhension du lexique et de la syntaxe, mémoire à court terme auditivo-verbale, comptage et dénombrement).

Parmi ces enfants seuls deux ont véritablement pu intégrer notre échantillon de test. Mais nous avons tout de même finalement souhaité présenter le matériel à tous les enfants en janvier pour les raisons expliquées dans la partie quatre.

1.4.2 Phase d'expérimentation chez la population pathologique

Nous avons pré-évalué huit enfants d'octobre à février. Nous leur avons présenté dans l'ordre: l'E.C.O.S.S.E, le TVAP F, le TEDI-MATH, l'épreuve de répétition de chiffres pour tester la mémoire auditivo-verbale et des épreuves de l'ANITEST. Le temps de passation pour chacun des tests a été très variable d'un enfant à l'autre et a demandé parfois plusieurs séances d'orthophonie pour le même test (E.C.O.S.S.E, TVAP F et TEDI-Math) notamment chez les plus jeunes (Mathieu, Damien, Jérôme et aussi chez Romain plus âgé). Les épreuves du TEDI-Math ont été effectuées jusqu'à mi-décembre afin qu'il y ait suffisamment de temps entre la première présentation et la deuxième pour éviter l'effet re-test.

Ensuite nous avons proposé le matériel de fin janvier à début mars aux enfants de notre population pathologique (3 à 5 séances selon les enfants).

Enfin, nous avons post-évalué les enfants de mi-mars à fin mars avec le TEDI-Math.

2. Présentation des populations

2.1. Population contrôle

Nous avons décidé de sélectionner des enfants de cours préparatoire d'une école rurale car c'est dans cette classe que l'élève doit savoir dénombrer jusqu'à dix.

2.2. Population pathologique

2.2.1 Critères d'exclusion et d'inclusion

Nous avons choisi des enfants âgés de six à dix ans, car c'est à partir de sept/huit ans que la procédure de comptage est la seule utilisée, et c'est aussi à partir de cet âge que l'enfant a acquis toutes les significations (ordinale et cardinale) des mots nombres (Van Nieuwenhoven C.,1996). Deux limites d'âge assez larges ont été préférables afin de pouvoir répondre à notre hypothèse de départ concernant le trouble du dénombrement chez l'enfant I.M.C..

Nous avons décidé d'inclure en majorité des enfants I.M.C au sens de M. Tardieu. Mais nous avons eu quelques difficultés à ne trouver que des enfants I.M.C. C'est pourquoi, Mathieu a intégré notre étude bien qu'il soit un enfant I.M.O.C. Enfin, nous avons désiré conduire cette étude chez des enfants I.M.C présentant des troubles neurovisuels. Notre population comporte donc sept enfants I.M.C, âgés

entre six et dix ans, présentant des troubles neurovisuels, et un enfant IMOC âgé de huit ans, avec un âge développemental de quatre ans.

2.2.2 Lieux et contexte de passation

Les lieux et contexte de passation ont été différents. Deux des enfants (Marie et Jérôme) ont été rencontrés à leur domicile dans leur chambre. Pierre et Damien ont été vus dans leur école dans des pièces réservées aux prises en charge. Enfin, les autres enfants Victor (orthophonie en libéral), Romain, Mathieu et Louis ont été vus dans le bureau de leur orthophoniste au sein de l'institut médico-éducatif.

2.3. Les enfants de la population pathologique

Nous avons rencontré les enfants sur les conseils des orthophonistes qui les suivent (SESSAD, IME et orthophoniste libérale) mais aussi sur les conseils d'autres thérapeutes (psychomotricienne, neuropsychologue et psychologue) quand la structure n'employait pas d'orthophoniste.

2.3.1 Marie

Marie est une petite fille I.M.C, âgée de huit ans trois mois lors des bilans (née le 11/07/03). Elle a deux sœurs aînées et vit chez sa mère et son beau-père avec ses deux demi-frères et sa demi-sœur. C'est une fillette volontaire, joviale, et qui communique une opposition passive, quand elle rencontre une difficulté lors des épreuves. Marie présente une hémiplégie spastique engendrée par une souffrance cérébrale vécue dans un contexte de prématurité (leucomalacie péri ventriculaire et réanimation néonatale). Sa spasticité se manifeste davantage au niveau des membres inférieurs. De plus, la fillette est sujette aux crises épileptoïdes même si le service constate une absence de récurrence des crises depuis quatre ans.

Ses thérapeutes recensent plusieurs troubles neuropsychologiques chez Marie: troubles neurovisuels, troubles praxiques, troubles mnésiques, troubles attentionnels et troubles de l'organisation spatiale. Ces derniers sont décrits dans le tableau inclus en annexe numéro six.

Elle est prise en charge pour ses différents troubles: en orthophonie (1 fois par semaine pour ses troubles logico-mathématiques et ses difficultés en lecture), en kinésithérapie et en orthoptie en libéral. Elle bénéficie aussi d'un suivi en psychomotricité et en ergothérapie une fois par semaine. Le S.E.S.S.A.D. (Service d'Éducation Spéciale et de Soins à Domicile) lui propose aussi un suivi

psychologique, même si Marie affiche de bonnes capacités relationnelles et de gestion émotionnelle. Un suivi éducatif lui est également proposé.

2.3.2 Damien

Damien est un petit garçon I.M.C âgé de six ans cinq mois lors des bilans (né le 11/03/05). Enfant unique, il vit en France avec sa mère depuis deux mille dix. L'espagnol étant sa langue maternelle, il ne sait pas encore parlé correctement français. C'est un garçonnet volontaire, souriant et soucieux de bien faire. Il présente une diplégie spastique prédominant à droite avec un élément ataxique aux membres supérieurs prédominant discrètement à gauche. Son handicap est dû à une hydrocéphalie diagnostiquée à 22 mois et traitée à ce moment-là par une dérivation externe ventriculo-péritonéale (DVP). Il porte des lunettes pour corriger son hypermétropie sévère et un strabisme divergent laissant présager un trouble de l'oculomotricité, pouvant être à l'origine des difficultés visuo-motrices. C'est aussi un jeune garçon épileptique. Ses troubles inquiètent assez sa maman, qui dort avec lui.

Plusieurs troubles neuropsychologiques (langagiers, neurovisuels, praxiques, mnésiques, dyséxécutifs, attentionnels, troubles de l'organisation spatiale) sont décrits chez Damien. Ils sont présentés dans le tableau en annexe numéro six.

Il bénéficie de deux séances d'orthophonie par semaine, dont une consacrée à la rééducation de ses troubles logico-mathématiques. Des séances de kinésithérapie (3 séances par semaine), d'ergothérapie (une par semaine) et d'orthoptie (commencée en septembre) lui ont aussi été prescrites pour pallier ses déficiences. Il rencontre aussi régulièrement son éducatrice.

2.3.3.Pierre

Pierre est un jeune garçon âgé de neuf ans deux mois lors des bilans (né le 30/08/02). Il vit avec ses parents et sa demi-sœur âgée de vingt ans. C'est un garçon dynamique, gentil et obéissant. Il présente une hémiplégie spastique marquée sur l'hémicorps gauche (membre supérieur notamment). Un accident ischémique dans le territoire sylvien gauche est à l'origine de ce tableau d'hémiplégie cérébrale infantile, d'un syndrome de Pointes Ondes Continues au cours du Sommeil (syndrome de POCS) et de difficultés d'apprentissage. Pierre porte des lunettes pour corriger son hypermétropie bilatérale moyenne et son strabisme convergent. Outre ses lunettes, deux traitements lui ont été prescrits pour traiter son épilepsie et ses troubles de l'attention.

Pierre présente plusieurs déficiences neuropsychologiques (neurovisuelles, praxiques, dysexécutives et attentionnelles). Elles sont décrites en annexe numéro six. Afin de limiter l'impact de certaines de ces déficiences, il bénéficie de plusieurs types de prise en charge. Il est suivi depuis deux mille neuf en orthophonie deux fois par semaine pour ses troubles logico-mathématiques, ainsi que pour ses difficultés en langage écrit. Il bénéficie aussi de séances de kinésithérapie (2 fois par semaine), d'orthoptie (1 fois par semaine) et d'ergothérapie (1 fois par semaine). Un suivi éducatif lui est également proposé.

2.3.4 Louis

Louis est âgé de sept ans huit mois au début des évaluations (né le 19/01/04). Il vit la plupart du temps avec ses parents, son frère et sa sœur (aîné de la fratrie). Il dort parfois à l'internat de l'I.M.E durant la semaine. C'est un garçon joyeux, taquin et appliqué. Il présente une triplégie spastique sur les quatre membres avec une hypotonie axiale et une hypertonie des membres inférieurs, qui le contraignent à utiliser un fauteuil électrique. Il porte des lunettes pour corriger son hypermétropie. Sa discrimination thermo-algique est légèrement déficitaire à gauche. Louis affiche aussi une proprioception déficitaire. Il a également des troubles du sommeil et vit sa dépendance de façon insécure. Il peut alors laisser transparaître un bien être qui n'est qu'une façade.

Plusieurs déficiences neuropsychologiques (neurovisuelles, gnosiques, troubles de l'organisation spatiale) sont décelées chez Louis. Elles sont décrites en annexe numéro six. Il est suivi en kinésithérapie (3 fois par semaine), et en orthophonie, psychomotricité, ergothérapie et psychologie une fois par semaine. Il bénéficie d'un suivi éducatif également.

2.3.5 Romain

Romain est âgé de huit ans dix mois au début des évaluations (né le 10/12/02). C'est un garçon joueur, souriant et jovial. Il présente une quadriplégie dystonique, l'obligeant à utiliser un fauteuil électrique pour ses déplacements. Il est scolarisé en CLIS 4 et réside avec ses deux frères et sa sœur (il est le deuxième enfant de la fratrie) avec ses parents.

Ses thérapeutes évoquent plusieurs déficiences neuropsychologiques (langagières et neurovisuelles) chez Romain. Elles sont détaillées dans le tableau présent en annexe numéro six. Il bénéficie d'une prise en charge orthophonique (1

fois par semaine), kinésithérapique (3 fois par semaine), et ergothérapique (1 fois par semaine). Un suivi éducatif lui est également proposé.

2.3.6 Jérôme

Jérôme est âgé de six ans onze mois lors des bilans (31/12/04). Il est scolarisé en CLIS 4 et présente un niveau scolaire global correspondant à celui d'un enfant de CP. Il vit avec ses parents et ses deux sœurs (2 et 4 ans). Il présente une ataxie congénitale qui engendre un léger syndrome cérébelleux (tremblements au niveau des membres supérieurs). C'est un petit garçon souriant, agréable, chétif, mais qui peut aussi adopter un comportement fluctuant, plus ou moins adapté, avec parfois des comportements réflexes d'opposition. Il présente aussi des troubles alimentaires, qui ne sont pas pris en charge à ce jour.

Sur le plan physique Jérôme porte des lunettes pour corriger son hypermétropie importante et son strabisme convergent de l'oeil gauche (port d'un ryser sur l'oeil gauche). De plus, Jérôme semble peu sensible au froid et au chaud (déficit sensitif).

Son psychologue rapporte des comportements particuliers chez Jérôme (jeu près du sol, peu de manifestations d'empathie) et des fluctuations de comportements, qui nécessitent une prise en charge psychologique. Enfin ses thérapeutes retrouvent aussi chez lui des troubles neuropsychologiques (langagiers, neurovisuels, praxiques, mnésiques, dysexécutifs, attentionnels, et difficultés d'organisation spatiale). Ces déficits sont développés en annexe numéro six.

Il est suivi en orthophonie en libéral pour la rééducation de sa dysarthrie et a été suivi auparavant pour «un retard de langage » dans un contexte familial et socioculturel peu favorisé. Il bénéficie également d'une prise en charge en orthoptie en libéral et d'un suivi éducatif (1 fois par semaine), psychologique, kinésithérapique (1 fois par semaine), ergothérapique (1 fois par semaine) et psychomoteur (1 fois par semaine).

2.3.7 Victor

Victor est âgé de huit ans neuf mois (23/01/03) lors des bilans. C'est l'aîné d'une fratrie de deux enfants (sœur de quatre ans). Il présente une hémiplégie cérébrale infantile droite engendrée par un accident sylvien profond, qui a suscité une atrophie hémisphérique gauche. C'est un garçon poli, gentil mais peu joyeux. Sa déficience motrice touche davantage le membre inférieur droit bien que la qualité tonique (spasticité) de ses membres soient aujourd'hui bien rééduquée. C'est un

enfant qui présente une fragilité psychologique (difficultés de séparation, individuation) mais qui ne bénéficie pas d'une prise en charge sur ce plan.

Plusieurs troubles neuropsychologiques (neurovisuels, attentionnels, difficultés de structuration spatiale) sont décrits chez Victor. Ils sont présentés dans le tableau situé en annexe numéro six. Il est suivi en orthophonie et en kinésithérapie deux fois par semaine. Il bénéficie aussi d'une prise en charge en ergothérapie (1 fois par semaine depuis janvier 2012). Sa prise en charge orthophonique consiste en la rééducation des troubles logico-mathématiques et du langage écrit.

2.3.8 Mathieu

Mathieu est âgé de sept ans cinq mois (né le 03/04/04) lors des pré-évaluations. C'est un jeune garçon agréable, ancré dans la relation mais qui peut aussi présenter une hypersensibilité et qui est souvent parasité par ses propres émotions difficiles à contenir. Il vit chez son grand oncle et sa grande tante avec une de ses sœurs, les deux autres ayant été adoptées. Il n'a aucun contact avec sa mère mais voit son père quelquefois. C'est un enfant IMOC qui présente une tétraplagie spastique secondaire à une souffrance cérébrale sur un contexte de prématurité, une efficacité intellectuelle correspondant à celle d'un enfant de trois ou quatre ans et une atteinte sévère des fonctions neuropsychologiques. Il porte des lunettes pour corriger ses troubles optiques et son strabisme, et se déplace en fauteuil roulant électrique. Au niveau neuropsychologique, ses thérapeutes décrivent des troubles langagiers, dysexécutifs, neurovisuels et des difficultés d'organisation spatiale. Ils sont décrits en annexe numéro six.

Mathieu bénéficie de suivis en kinésithérapie (3 fois par semaine), et de suivis une fois par semaine en ergothérapie, en psychomotricité, et en orthophonie. De plus, il bénéficie d'une prise en charge psychologique bimensuelle et d'un suivi éducatif.

2.4. Tests utilisés

Nous avons souhaité inclure les enfants dans une étude précise de leurs compétences et de leurs difficultés. Nous avons élaboré un protocole de bilan, afin de mieux cerner les troubles pouvant avoir une influence sur leurs résultats lors de l'évaluation du dénombrement et lors de la présentation du jeu. L'évaluation du dénombrement a permis de juger de la pertinence ou non de présenter le matériel à un enfant.

2.4.1 Présentation rapide des tests utilisés

Nous avons proposé les épreuves ou tests suivants:

- L'E.C.O.S.S.E (épreuve de compréhension syntaxico-sémantique édité par les Presses universitaires du septentrion);
- Le TVAP-F (Test de Vocabulaire Actif ou Passif des éditions de l'application des techniques modernes);
- L'épreuve intitulée mémoire auditivo-verbale contenue dans la N.E.E.L (Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage oral);
- Les épreuves d'attention soutenue et focalisée en modalité auditive, l'épreuve d'attention visuelle et l'épreuve d'attention divisée entre deux modalités auditive et visuelle contenues dans l'anitest (batterie d'évaluation de l'attention chez l'enfant de 7 ans 6 mois à 11 ans 5 mois) éditée par orthoédition.
- et Les épreuves de comptage et de dénombrement du Tedi-Math édité chez les ECPA.

2.4.2 Choix du Tedi- Math

Nous avons choisi d'utiliser le TEDI-MATH (test diagnostique des compétences de base en mathématiques) élaboré par madame Van Nieuwenhoven C., monsieur Grégoire J. et madame Noël Marie-Pascale. Nous nous sommes servis de ce test, car il propose des épreuves spécifiques d'évaluation du comptage et donc, du degré de maîtrise de la séquence verbale, ainsi que des épreuves de dénombrement évaluant les cinq principes décrits par Gelman et Gallistel. Cette composante se révélait intéressante pour mesurer d'éventuels écarts entre les performances en dénombrement et sa composante verbale, les difficultés en dénombrement pouvant être le reflet d'une mauvaise maîtrise de la séquence numérique.

De plus ce test correspondait à la fourchette d'âge de notre population et était déjà en possession d'une de nos maîtres de mémoire.

Enfin nous trouvions intéressant d'utiliser un test qui se basait sur une approche théorique double: approche piagétienne et neurocognitive.

2.4.3 La présentation des tests

2.4.3.1 La population contrôle

Nous avons placé ces résultats en annexe numéro sept. Peu d'enfants ont obtenu des scores normaux en comptage et dénombrement. Seuls Patrick et Sandra

ont correspondu à nos critères d'inclusion. Nous remarquons que le dénombrement n'est pas une compétence simple à maîtriser même chez l'enfant sans déficiences.

2.4.3.2 La population des enfants I.M.C.

Nous présenterons ici rapidement les résultats obtenus lors de la passation des épreuves contenues dans les évaluations suivantes: E.C.O.S.S.E, TVAP F, Anitest, et la Neel. En effet, notre sujet étant le dénombrement nous avons juste souhaité présenter ici les variables pouvant interférer avec les résultats obtenus au test du dénombrement. Nous avons donné les résultats à tous ces tests en annexe numéro huit.

2.4.4. La présentation du Tedi- Math aux enfants I.M.C

Nous invitons ici le lecteur pour plus de clarté à se reporter à l'annexe numéro neuf, qui comprend la description des épreuves présentées.

2.4.4.1. Le principe d'ordre stable

Ce principe est évalué à travers les tâches de comptage et l'épreuve de dénombrement puisqu'elle nécessite une énonciation de la chaîne numérique (cf annexe n°9 p A23).

Nous remarquons que le niveau d'acquisition de la chaîne numérique verbale conventionnelle est très variable d'un enfant à l'autre.

Ainsi Pierre, Victor et Louis se situent au niveau de la chaîne sécable mais leur connaissance de la suite numérique verbale ne comporte pas les mêmes parties. Pierre compte jusqu'à trente-neuf sans aucune erreur (portion conventionnelle stable) puis commet des erreurs de position à partir de ce chiffre (portion non conventionnelle). La chaîne numérique de Victor comporte elle aussi deux parties. Victor peut alors compter parfaitement jusqu'à quarante-huit suivie d'une partie non conventionnelle jusqu'à cent où il effectue des erreurs de position.

Par contre, Louis dispose de parties stables et conventionnelles, en comptant jusqu'à soixante-neuf sans se tromper.

Marie, Damien, Jérôme et Romain se trouvent à un niveau de chaîne insécable, avec des divergences dans l'extension de cette connaissance. Jérôme compte jusqu'à vingt. Sa connaissance de la chaîne numérique verbale est limitée, mais elle semble comporter une portion stable et conventionnelle.

Marie compte jusqu'à trente-et-un. A l'instar de Jérôme, elle dit une portion stable et conventionnelle. A l'inverse Damien et Romain énoncent des portions

stables mais non conventionnelles, et n'ont pas une connaissance aussi grande de la chaîne numérique.

Romain dispose d'une petite chaîne conventionnelle. Nous observons que celle-ci n'atteint pas la dizaine (comptage sans erreurs jusqu'à huit). Par la suite, il présente une partie non conventionnelle marquée par des erreurs de position ou de classe. Damien possède lui aussi une connaissance limitée de la chaîne numérique. Il compte jusqu'à quinze sans erreurs (partie stable et conventionnelle) ensuite il commet des erreurs de position (partie non conventionnelle).

Nous pouvons penser que Damien peut présenter une connaissance insuffisante due en partie à son arrivée récente en France (2010), et que Romain ayant des difficultés arthriques assez importantes n'a pas pu s'exercer suffisamment à énoncer cette comptine numérique.

Enfin Mathieu, seul garçon IMOC de la population dispose d'un niveau d'acquisition se situant au niveau chapelet. Il présente une portion instable et non conventionnelle (vérifiable par la suite lors des exercices de dénombrement) inférieure à quinze.

Le score obtenu aux épreuves de comptage situe cinq enfants (Pierre, Romain, Damien, Jérôme et Mathieu) sur neuf dans la pathologie. Nous ne pouvons donc pas dire que la majorité des enfants I.M.C étudiés présente une bonne maîtrise de la suite numérique.

2.4.4.2. Le principe d'abstraction

Ce principe est respecté par tous les enfants. Seul Romain présentera une hésitation. En effet, lors de la tâche de dénombrement intitulée «abstraction de la qualité des objets comptés», qui consiste en un dénombrement d'animaux différents (lions et tortues), il a dénombré les tortues puis les lions avant de répondre précisément à la question en donnant la quantité totale d'animaux (cf annexe n°9 p A23).

2.4.4.3. Le principe d'ordre indifférent ou de non pertinence de l'ordre

Ce principe permet de distinguer le dénombrement du simple étiquetage (cf annexe n°9 p A22 et A23). Nous constatons qu'il est absent chez cinq enfants de la population. Ainsi Romain, Victor, Marie et Louis ne pourront répondre sans recompter les objets. De même, Mathieu recomptera les objets lui aussi en commettant des erreurs de double comptage et pourra persévérer en repartant dans son compte au début après un premier comptage.

Nous observons une similitude avec les études menées précédemment où les enfants I.M.C. ne disposaient pas non plus de ce principe. Nous pouvons penser comme dans les études menées que Marie, Louis et Victor ne réussissent pas cette épreuve à cause d'une mauvaise structuration spatiale. Rappelons que Marie présente des difficultés d'organisation spatiale et une dyspraxie visuo-spatiale, et que Louis présente lui aussi des troubles dans l'organisation spatiale. Enfin, les éléments que nous avons sur Victor ne nous permettent pas de confirmer cette hypothèse, cependant l'expérience menée avec son orthophoniste en séance ne nous permet pas de la réfuter (difficulté de représentation spatiale de Victor).

Enfin quatre des enfants, Marie, Romain, Mathieu et Louis, affichent des difficultés neurovisuelles. Or, nous savons que des saccades désorganisées peuvent entraver la représentation spatiale, et donc expliquer en partie ces résultats. La présence de troubles mnésiques chez certains de ces enfants (Marie, Mathieu, Victor et Romain) peut aussi expliquer certains de leurs résultats. En effet, une mémoire de travail efficiente est nécessaire pour mener à bien l'activité de dénombrement, qui nécessite de se rappeler la chaîne numérique (boucle audio-phonatoire) et il est nécessaire aussi de disposer d'un calepin visuo-spatial efficace pour pouvoir pointer. Ainsi, nous observons par exemple que Mathieu repartira au début de la collection après avoir déjà une première fois pointé les objets.

2.4.4.4 Le principe de correspondance terme à terme

Tous les enfants de l'étude, excepté Jérôme, ne réussissent pas à appliquer ce principe (cf annexe n°9 pA23).

Nous constatons des difficultés de correspondance externe (erreurs de marquage) chez sept sujets de notre population. Ainsi nous observons, que la plupart, à l'exception de Victor, est capable de coordonner les mots nombres énoncés avec les objets (respect de la coordination interne) mais ils réalisent des erreurs dans l'itinéraire suivi: oublis, double comptage. Pierre utilise un pointage

tantôt gestuel, tantôt visuel. Son regard suit son pointage et sa distribution spatiale est le plus souvent correcte. Il fera une seule erreur de marquage: double comptage. Romain commettra des erreurs de marquage à deux items sur cinq où il aura besoin de recompter (patterns linéaires: lions, patterns aléatoires : tortues). Marie, Damien et Louis échouent lors du dénombrement de patterns aléatoires. Ainsi, Marie omet un objet de la collection des tortues et des lions. Damien omet une tortue lors du dénombrement des tortues. Louis compte deux fois une tortue lors de l'exercice du même item. La disposition spatiale de la collection a donc bien des répercussions sur la réussite des exercices chez des enfants avec des difficultés neurovisuelles. Mathieu fera des erreurs de marquage avec comme caractéristiques beaucoup d'omissions. A l'item des lapins (dénombrement de patterns linéaires) il omettra un lapin sur deux et pourra recompter plusieurs fois.

Enfin, Victor commettra des erreurs de marquage et de correspondance. Nous supposons qu'il utilise un pointage visuel mais qui va plus vite que son comptage ce qui entraîne de nombreuses erreurs de correspondance. Nous notons aussi chez lui des erreurs de marquage (omission d'objets).

Trois items sur cinq seront échoués dont deux correspondants aux patterns aléatoires. Nous observons que la double correspondance n'est pas appliquée chez Victor; mais nous notons aussi que Victor semble vouloir accomplir l'exercice rapidement. Il dénombre précipitamment et nous avons la sensation parfois que la réponse fuse de manière magique. Nous nous interrogeons sur l'utilité que revêt le dénombrement chez Victor.

Les résultats retrouvés ici sont expliqués pour la plupart par des difficultés de coordination des saccades et par la présence de troubles visuo-spatiaux. Pour Victor dont nous n'avons pas d'éléments précis sur le sujet, nous pouvons poser l'hypothèse d'un déficit mnésique en mémoire de travail. En effet, nous notons que Victor a des troubles mnésiques en mémoire à court terme et nous constatons aussi une incapacité à établir la double correspondance (externe et interne). Or, le déroulement de chacune de ces composantes est pris en charge par un sous-système spécifique de la mémoire de travail:

- la récupération, énonciation de la chaîne numérique par la boucle phonologique.
- l'organisation et le contrôle du pointage par le calepin visuo-spatial.

Les difficultés de double correspondance de Victor peuvent être attribuées à une mémoire de travail déficitaire (mémoire à court terme très déficitaire).

2.4.4.5. Le principe cardinal

Etant donné les difficultés d'application du principe de correspondance terme à terme, nous pourrions penser que ces enfants avec leurs expériences antérieures et celle vécue lors du test ont « appris » que des cardinaux différents peuvent être trouvés pour une même collection. Ceci peut compromettre l'établissement du principe de cardinalité. Or, nous notons que ces enfants à l'exception de Louis sont en échec lors des épreuves évaluant ce principe (cf pA23, A24 et A25).

Nous observons que Pierre (2 items sur 5 où il recompte), Damien (2/5), Jérôme (2/5), Romain (1/5) et Mathieu (3/5) ont besoin de recompter les collections d'items. Recompter ainsi la collection implique que l'enfant ne possède pas ce principe de cardinalité, puisqu'il vient déjà de compter et a donc déjà énoncé le dernier mot-nombre lui permettant de répondre à la question.

En ce qui concerne les épreuves dites de cardinalité nous constatons des résultats assez hétérogènes, et nous pouvons à partir de ces résultats classer les enfants en quatre sous-groupes.

Le premier groupe est constitué par Damien, Pierre, Romain et Jérôme. Ces enfants recomptent lors des épreuves de dénombrement de patterns aléatoires et linéaires. Ils échouent à l'épreuve de construction de deux collections numériquement équivalentes, alors qu'ils réussissent l'épreuve des bonhommes de neige. Ainsi Jérôme et Pierre procèdent par correspondance terme à terme. Pierre restera attaché à représenter la forme visuelle reproduite par les pions collés et n'interprète pas la consigne clairement. Jérôme va pouvoir recourir au nombre, mais il ne le fera qu'au moment de poser les jetons. Il compte les jetons en même temps qu'il les pose en se repérant visuellement aux jetons déjà posés.

De plus Damien, semble avoir conscience que sa stratégie n'est pas correcte. Il semble vouloir reproduire visuellement la figure créée par les jetons mais ses troubles neurovisuels et visuo-spatiaux le gênent et la tâche telle qu'il l'a comprise est difficile. Il produit des erreurs de placement des pions dont il est conscient, car il dit se tromper mais persévère tout de même. Enfin, Romain ne réussit pas l'épreuve de deux collections numériquement équivalentes, en procédant par correspondance terme à terme. Il réussira cependant l'épreuve des bonshommes de neige.

Le deuxième groupe correspond à Victor qui ne recomptera pas lors de la passation des items de dénombrement de collections d'animaux, mais échouera lui aussi à l'épreuve de cardinalité intitulée «épreuve de construction de deux collections

numériquement équivalentes» (cf pA23 et A25). Victor restera attaché lui aussi à reproduire la figure formée par les pions collés et procédera par correspondance terme à terme visuelle, en finissant par compter la collection de pions qu'il a lui-même placée.

Le troisième groupe est constitué de Marie. Elle ne recomptera jamais lors des épreuves de dénombrement traditionnelles. Elle réussira l'épreuve de construction de deux collections numériquement équivalentes mais elle échouera à l'épreuve des bonhommes de neige en fournissant une réponse sans avoir compté au préalable. Ce résultat semble dû aux difficultés attentionnelles importantes de Marie.

Enfin, le dernier groupe correspond à Mathieu qui ne réussira aucun des items évaluant ce principe. Il devra recompter certaines collections pour répondre à la question sur la quantité (tortues et requins) et semble répondre aux épreuves de cardinalité en utilisant une méthode de perception globale qui le conduit à l'erreur.

3.Présentation du matériel

3.1.Règle du jeu

3.1.1. Principe

Ce matériel s'adresse à un joueur. L'enfant écoute l'histoire et réalise les activités proposées dans l'ordre de présentation figurant sur la page d'accueil du jeu. L'adulte est un animateur. Il guide et fournit un étayage à l'enfant, pour lui permettre de réaliser l'exercice. Le rôle de l'enfant est de venir en aide aux animaux de la classe pour retrouver le poisson qui a disparu. Sa poursuite dans l'histoire dépend de ses réussites aux activités proposées précédemment, cependant l'adulte peut aussi raconter les péripéties précédentes à l'enfant pour ne lui proposer qu'un ou plusieurs exercices précis, correspondant à ses difficultés.

L'enfant doit réaliser six activités pour arriver au dénouement de l'histoire. Ces étapes correspondent à des scènes différentes dans le jeu. Elles sont intitulées différemment au début du jeu.

3.1.2.Déroulement

L'orthophoniste doit cliquer dans la case correspondant au premier exercice puis sur valider pour débiter le jeu. Lorsque l'activité est terminée, elle doit procéder de la même manière pour lancer le deuxième exercice, tout en ayant pris le soin au préalable de re cliquer sur la case de l'activité venant d'être faite avec l'enfant pour

que la case ne soit plus cochée. Elle doit procéder de la même façon pour tous les exercices du jeu.

3.2.Objectifs généraux

Notre premier objectif a été de créer un matériel à destination des enfants I.M.C permettant de fournir des exercices répétés sur le dénombrement. Notre deuxième objectif a été que ce matériel soit innovant, ludique et attractif. Nous avons aussi désiré, en troisième objectif, que ce matériel soit simple d'utilisation et adapté à une séance d'orthophonie.

Notre quatrième objectif a été que ce jeu puisse permettre à l'enfant I.M.C de développer le concept de nombre grâce à des activités qui exigent la mise en place de processus de quantification dont le dénombrement. Grâce à ces exercices l'enfant pourra accéder à une représentation de la base dix et de la sous base cinq mais pourra aussi accéder à des représentations analogiques des quantités. Ces représentations sont importantes pour soulager la mémoire de travail, faciliter le calcul mental et faciliter la signification des opérations. Les activités conçues dans un ordre de difficulté croissante conduiront à développer les principes de Gelman et Gallistel, qui sont nécessaires à la construction du nombre.

La mise en place de moyens dont celui de l'informatique devrait faciliter la procédure de dénombrement et donc permettre un accès à l'invariance de la quantité, puisque l'enfant pourra constater que le cardinal d'une collection donnée est stable et invariant d'un exercice à l'autre.

Nous voulions aussi permettre à l'enfant dans certaines activités (la traversée) d'anticiper sur son action pour pouvoir réaliser l'exercice. Nous désirions lui permettre de réaliser qu'il pouvait connaître la réponse grâce à la mémorisation des quantités. En effet, à ce stade du jeu le joueur commence à savoir combien d'animaux composent la classe. Il peut alors s'il a mémorisé cette quantité au fil des exercices, répondre sans la présence des animaux devant lui. Sa représentation mentale de la quantité peut lui permettre si elle est suffisamment solide de calculer le nombre d'animaux ayant besoin d'un kayak. Sinon, il peut pour répondre dénombrer le nombre d'animaux qui ont besoin de kayaks sur le décor de l'exercice. Ces deux stratégies sont différentes mais nécessitent un recours au nombre cardinal qui permet de communiquer une quantité.

Le but ultime était de créer chez l'enfant le besoin d'utilisation du nombre.

3.3. Exercices

Deux types d'utilisation des nombres sont généralement offerts aux enfants:

- la situation de constat où l'enfant est invité à formuler un avis, un jugement, une estimation;
- la situation de type opérationnel, qui demande de résoudre une tâche en employant le nombre.

Souhaitant que l'enfant soit acteur de ses découvertes nous avons choisi de lui fournir des situations du second type. Nous avons décidé de ne pas introduire des difficultés trop importantes au sein de ces exercices. Nous rappelons que notre objectif est de conduire l'enfant I.M.C au constat de l'invariance de la quantité l'introduction de configurations spatiales trop variées nous a semblé ne pas correspondre à notre objectif. Nous avons impliqué peu de facteurs physiques (taille et disposition spatiale des objets de la collection) et contextuels (limites temporelles). Il nous a semblé que ceux-ci pourraient faire l'objet d'une évolution plus élaborée du jeu avec une progression de difficulté croissante au sein même des activités dans le futur, et que le jeu pouvait déjà dans sa forme actuelle servir de point de départ. De plus il nous a paru risqué de proposer trop de facteurs physiques dans les activités car ils ont un effet déterminant sur la qualité du dénombrement. Nous voulions au début conduire l'enfant à raisonner et à produire des dénombrements justes pour qu'il se construise des représentations solides et fiables des quantités.

Nous allons présenter ci-dessous les exercices proposés.

3.3.1. Le travail du principe d'ordre stable

Nous avons proposé ici deux exercices visant à développer ce principe : l'animalerie et la préparation des affaires en classe. L'objectif étant que l'enfant puisse s'entraîner à consolider sa connaissance de la suite numérique jusqu'à neuf, l'enfant devant utiliser lors de comptages successifs la même suite de mots.

3.3.1.1. Chez M. Croco

Après la découverte de la disparition de M. Dénombré (le poisson) dans la classe des animaux, trois élèves (Tortuga, Tiky et Ourse) se rendent chez M. Croco, le patron de l'animalerie, afin de lui demander si quelqu'un lui a acheté un aquarium récemment. Monsieur Croco répondra seulement si Tortuga, Tiky et Ourse l'aident à

ranger les bocaux sur l'étagère. Une fois l'exercice réalisé M.Croco donne le nom du kidnappeur. C'est M. Volvent (chauve-souris).

La consigne est la suivante: « *Tu dois remettre les bocaux dans l'ordre. Pour les ranger il faut que tu cliques avec la souris lorsque le point bleu est sous le bon bocal. Lequel vas-tu mettre en premier?* »

Cet exercice fournit à l'orthophoniste une idée sur la connaissance de la suite numérique de l'enfant, puisque celui-ci doit ordonner les bocaux (numérotés de un à cinq) selon leur chiffre pour les ranger dans l'ordre.

L'orthophoniste peut aussi utiliser le décor de la fin du jeu pour que l'enfant remarque qu'un élément manque dans la rangée des bocaux et peut lui poser des questions d'arithmétique élémentaire. Combien il y a de bocaux sur l'étagère? Combien il y en avait avant que M. Volvent vienne à l'animalerie?.

3.3.1.2 La préparation des affaires

Au retour de l'animalerie, les trois élèves savent que c'est M. Volvent qui a pris M. Dénombré. Monsieur Volvent habite au fond de la forêt, les huit élèves et la maîtresse vont se préparer pour l'expédition en emportant des objets. A chaque nouvelle collection l'enfant prend un objet supplémentaire, comparativement à la collection précédente (établissement d'une ligne numérique mentale de la suite des nombres). Il emporte au début une boussole, puis deux lampes, puis trois trousse, et enfin quatre appareils photos. A chaque sous exercice l'enfant laisse un élément ou plusieurs. Un travail sur le reste peut là aussi être effectué grâce à la comparaison avant/après.

La consigne est la suivante: « *Prends une boussole, puis deux lampes,... Pour prendre l'objet clique avec la souris quand le point bleu est dessous.* »

Lorsque l'enfant a terminé, l'orthophoniste l'invite à inscrire le nombre d'objets dans l'encadré situé en haut. Puis elle clique sur les boutons valider, suivant et démarrer pour continuer le jeu. Cet exercice permet de s'assurer que l'enfant associe le bon nombre oral au bon nombre écrit.

Si cet exercice vise en priorité le principe d'ordre stable, il ne peut avec la consigne proposée ne concerner que ce principe. En effet, l'enfant doit aussi posséder une idée de la cardinalité (la quantité demandée change avec un écart d'un élément) pour pouvoir répondre à l'exercice demandé.

3.3.2.Le travail du principe d'abstraction

Ce principe regroupe des éléments de nature différente en une collection donnée dans le but de les compter. C'est ce que nous avons fait ici en suggérant deux exercices (l'enfant doit prendre des bouteilles puis des aliments). Les objets sont donc hétérogènes et ce comptage nécessite une capacité métanumérique, celle de passer du «nombre de» au «nombre» tout court. Ce principe est acquis entre quatre et cinq ans.

L'objectif de l'exercice est que l'enfant compte des éléments disparates et comprenne que le nombre peut servir à désigner une collection d'objets hétérogènes.

Pour modifier le critère de différence, nous avons choisi de présenter diverses bouteilles de couleurs différentes. Ensuite, nous avons inclus un exercice où des aliments de catégories différentes sont présentés.

Le premier exercice a pour consigne: « *Prends cinq bouteilles pour les emporter il faut que tu cliques avec la souris quand le point bleu est sous la bouteille.*» L'enfant doit comprendre que tous les objets sont des bouteilles et qu'il peut donc choisir celles qu'il souhaite.

Dans le second exercice la consigne est: «*Pour le voyage nous devons aussi emporter de la nourriture. La maîtresse a tout préparé nous devons lui dire combien il y a d'aliments.*» L'enfant doit ici produire comme précédemment un effort de mémorisation, car l'objet disparaît une fois que l'enfant l'a sélectionné et donc compté. L'orthophoniste peut aider l'enfant en insistant d'autant plus sur l'énonciation orale concomitante.

3.3.3.Le travail du principe d'ordre indifférent

L'application de ce principe correspond à l'exercice du pique-nique. Nous avons créé cet exercice en pensant à la visée écologique de ce travail. Nous voulions que l'enfant puisse choisir un nombre de verres suffisants pour que tous les animaux puissent boire, mais aussi et surtout qu'il comprenne que le résultat du comptage ne dépend pas de l'ordre utilisé. L'enfant peut donc pour le comprendre refaire cet exercice plusieurs fois et s'apercevoir que le résultat est le même, même lorsqu'il prend d'autres verres au début. Le but ultime est que l'enfant sache compter les éléments d'une collection dans n'importe quel ordre, ce qui n'interfère pas sur le nombre final. La disposition aléatoire des éléments doit conforter ce résultat.

Différents constats peuvent être faits avec l'orthophoniste pour arriver à ce résultat car il suffit de cliquer sur un verre pour que celui-ci reprenne sa forme initiale.

La consigne pour cet exercice est: «*Tout le monde a soif. Clique sur le bon nombre de verres pour que les élèves et la maîtresse puissent boire.*»

Nous avons ici aussi la possibilité d'inclure à la fin une comparaison entre l'exercice et le décor comprenant les animaux. L'enfant peut alors se rendre compte que la quantité de verres obtenue à la fin de l'exercice est identique à celle contenue dans le décor du pique-nique. Cette comparaison permet aussi de noter que la disposition spatiale (linéaire sur le décor ou aléatoire dans l'exercice) n'influe pas sur le nombre.

3.3.4.Le travail du principe de correspondance terme à terme

L'application de ce principe est proposée en priorité dans l'activité de la traversée. L'exercice trois (les aliments) peut lui aussi compléter et entraîner cet outil logico-mathématique puisqu'il y a un aliment par personnage, ce qui correspond bien à la définition du principe de correspondance terme à terme. Ainsi, d'après le dictionnaire de logopédie, la construction du nombre (Campolini *et al*, 2002, 31) «la correspondance terme à terme est un outil logico-mathématique intervenant dans la logique des transformations qui permet le comptage grâce à l'association deux par deux des éléments de deux ensembles équipotents, de sorte que tout élément de l'ensemble de départ ait une et une seule image dans l'ensemble d'arrivée et vice versa.»

Pour Gelman et Meck (Campolini *et al*, 2002, 31) «les enfants doivent faire correspondre un seul mot nombre à chaque élément de l'ensemble à dénombrer». Ici les élèves doivent traverser une rivière pour se rendre à la grotte de M. Volvent. Pour ce faire, ils doivent emprunter des kayaks. L'objectif est que l'enfant fasse correspondre le nombre de kayak au nombre d'animaux. La consigne est «*Pour traverser la rivière les animaux montent sur un kayak. Combien dois-tu prendre de kayaks ? Pour prendre un kayak, clique lorsque le curseur est à côté. Lorsque tu as fini mets le nombre de kayaks dans le petit carré.*» Pour que ce soit concluant, l'enfant doit déplacer le bon nombre de kayaks de l'autre côté de la rivière afin que certains animaux puissent traverser. Nous observons en plus de l'objectif principal de l'exercice, ses capacités de raisonnement logique. En effet, nous lui demandons

aussi de faire appel à sa logique pour trouver que certains animaux (perroquet et requin) n'ont pas besoin de kayaks pour traverser.

3.3.5. Le travail du principe cardinal

Ce principe est acquis lorsque l'enfant parvient à conclure que le dernier mot-nombre de la suite désigne le cardinal de l'ensemble. Nous avons souhaité proposer ici un exercice (la grotte) pour vérifier que l'enfant dispose de ce principe.

Nous tenons à préciser, que l'exercice de ce principe est nécessaire dans les activités précédentes pour répondre aux consignes. Mais nous ne pouvons être sûrs que l'enfant comprend cette notion d'ensemble. Dans l'exercice de la grotte nous demandons à l'enfant de comparer deux quantités. Il faut donc qu'il maîtrise cet aspect cardinal du nombre pour répondre à la consigne et réussir à récupérer M. Dénombrer.

En effet, les animaux sont arrivés devant la grotte mais la chauve-souris la survole. Ils doivent donc rapidement entrer dans la grotte pour emporter le poisson. Pour cela il faut aller plus vite que la chauve-souris et choisir la quantité de points, qui permet d'avancer le plus vite. Pour réussir, il doit cliquer lorsque le curseur est sous le carré contenant le plus de points. Il voit alors le perroquet avancer du même nombre de pas sur le plateau. L'enfant doit ici faire un jugement de numérosité. Nous avons souhaité représenter les quantités de façon analogique (représentation comme sur des constellations de dés) pour soulager la mémoire de travail et faciliter la comparaison. Mais nous avons parfois inséré des constellations inhabituelles délibérément afin que l'enfant ait besoin de recourir au dénombrement. Enfin nous avons aussi tenu à proposer parfois un écart de un ou deux nombres entre les collections pour obliger l'enfant à recourir à des stratégies de comparaison.

Nous avons tenu à ce que l'enfant arrive à sauver le poisson. Nous avons donc proposer plusieurs schémas de résolution pour que même s'il commet des erreurs de jugements il parvienne à délivrer le poisson.

4.L'utilisation du matériel

4.1.Description des séances auprès de la population contrôle

4.1.1.Prise de contact

Nous avons choisi de présenter ce matériel aux cinq enfants pré-évalués, même à ceux qui se situaient en zone faible ou pathologique lors de notre évaluation

du comptage et du dénombrement. Il nous a semblé intéressant de recueillir leurs réactions, pour compléter notre travail ultérieur auprès de notre population cible. Nous avons néanmoins accordé une importance particulière aux réactions de Sandra et Patrick, car ce sont ces deux enfants qui étaient les plus performants lors des épreuves présentées au préalable. En effet, ils ont obtenu des scores normaux ou subnormaux aux épreuves de compréhension lexicale et syntaxique, aux épreuves de mémoire, de comptage et de dénombrement où ils se situent dans la zone normale (pourcentage cumulé supérieur à 25% aux deux épreuves présentés du TEDI-MATH).

Cette utilisation n'a pas excédé vingt minutes.

4.1.2 Observations

Ces séances d'utilisation nous ont permis de nous rendre compte de la difficulté d'interprétation de certaines consignes, de problèmes informatiques, mais aussi et surtout de la réussite des exercices proposés à Patrick et Sandra.

Nous avons ainsi pu noter tous les problèmes d'ordre informatique qui apparaissaient lors de leurs utilisations. Après avoir remanié le jeu, nous l'avons retesté en employant le même modèle d'utilisation pour s'assurer du fonctionnement du logiciel. Nous avons constaté que l'intrigue n'était pas bien comprise, son émission étant trop rapide, et que certaines consignes n'étaient pas bien interprétées parce qu'elles manquaient de clarté ou de précision.

Nous avons aussi noté des remarques pertinentes formulées par certains enfants. Au niveau du jeu quatre, Matteo demandait s'il devait compter le requin puisqu'il avait déjà un verre dans la main sur le décor. Il a souhaité que les verres soient remplis après avoir réussi l'exercice. Nous avons donc ajouté un décor après l'exercice contenant les verres remplis. De plus, certains enfants ont été gênés par la vitesse de balayage du curseur. Il nous a paru urgent d'accomplir cette amélioration sur le plan informatique.

Patrick et Sandra ont réussi le jeu sans difficulté. Matteo et Mélissa ont eu plus de mal à réaliser l'exercice de comparaison de quantité, et ne pouvaient résoudre les problèmes posés en faisant appel à des opérations arithmétiques élémentaires. Pour le jeu cinq (la traversée), ils ont dû recourir au dénombrement afin de répondre à la consigne. Ils n'ont alors pas su retirer les deux animaux qui n'avaient pas besoin de kayaks parmi l'ensemble des animaux.

Nous avons aussi noté que certains enfants recouraient à l'utilisation du geste pour pointer et n'utiliser pas le curseur. Ils ont apprécié le jeu avec une préférence pour l'activité de la grotte.

4.1.3.Premières modifications effectuées

Suite à ces séances, nous avons amélioré les consignes et apporté des changements sur le plan informatique. Certains décors ont été transformés et nous en avons ajouté d'autres. Un exercice supplémentaire (bouteilles dans l'activité trois) a été créé pour accroître la difficulté du jeu .

4.2.Description des séances auprès des enfants

4.2.1. Prise de contact

Parmi les enfants que nous avons recrutés, Louis, Mathieu et Romain nous connaissaient déjà car nous les avons vus en stage. Les autres enfants, nous ont été présentés par les orthophonistes et chefs de service. Nous avons rapidement fait connaissance, pour faciliter cette prise de contact nous avons choisi de présenter l'E.C.O.S.S.E au début de notre protocole pour que les enfants réservés puissent progressivement nous connaître avant de devoir s'exprimer.

4.2.2. Séances de recrutement

Nous avons proposé de fin septembre deux mille onze à janvier (début mars pour certains tests et enfants) notre protocole d'évaluation. Le temps de passation des épreuves a été très variable selon les sujets. L'E.C.O.S.S.E a demandé une heure trente de passation pour Romain et Maxime, et une heure pour Damien. Plusieurs séances d'orthophonie ont été nécessaires pour présenter ce protocole présenté ci-dessus (cf p 68). En moyenne trois heures auront été requises pour cette pré-évaluation.

4.2.3.Utilisation du matériel

Nous nous sommes de nouveau rencontrés à partir de janvier pour tester le matériel. Nous l'avons présenté aux enfants trois fois minimum et au maximum quatre fois. Durant ces présentations, nous avons noté les difficultés et facilités, qu'ils pouvaient rencontrer grâce au tableau d'observation (annexe n°10 cf page n°A26). Nous avons proposé le matériel à Marie, Damien, Pierre, Romain, Jérôme, Victor et Mathieu. Louis présentant un score normal en dénombrement n'a pas eu d'entraînement avec le matériel (cf annexe n°12).

Nous avons tenu compte de l'avis des orthophonistes, qui parfois nous accompagnaient. Nous avons aussi demandé l'avis des enfants grâce à un deuxième tableau (annexe n°11 cf page n°A27), et que nous avons complété en fin d'expérimentation. Cela nous a permis d'obtenir plusieurs éléments intéressants. A partir de ces différentes observations, nous avons réajusté notre matériel en cours de présentation mais aussi à la fin. Nous avons noté l'évolution de chaque enfant au cours de ces séances d'expérimentation.

Les deux grilles vierges sont affichées en annexe. Nos commentaires sont développés dans la partie suivante.

Résultats

1. Analyse des séances d'utilisation du matériel

1.1. Marie

Marie s'est servie du matériel trois fois. Nous n'avons pas pu lui proposer davantage étant donné ses disponibilités, et ce, malgré ses besoins mis en exergue à la correction du test. En effet, sa maman acceptait que nous voyions Marie essentiellement durant les vacances. Nous n'avons pas pu la voir davantage durant les vacances de février (date à laquelle notre matériel était exploitable) puisque Marie allait aussi chez son papa. Nous pensons qu'une séance supplémentaire aurait été bénéfique, car à l'inverse de Pierre nous n'avons pas ressenti une aussi grande facilité dans l'exploitation du matériel.

Nous avons observé chez Marie des difficultés en dénombrement (pourcentage cumulé de 20 la situant donc dans une zone normale faible) et en comptage (niveau de chaîne insécable et de grande section de maternelle première période). Nous notons qu'elle possède les principes de Gelman et Galistel suivants: principe d'abstraction, principe d'ordre stable (correct pour le nombre d'éléments dénombrés ici), principe de correspondance terme à terme et principe de cardinalité (elle n'aura jamais besoin de recompter la collection d'objets). Elle ne maîtrise pas cependant **le principe d'ordre indifférent**.

Activité 1: Chez M. Croco (principe d'ordre stable)

Marie effectue cet exercice sans erreurs.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Marie prendra parfois davantage d'objets de la collection. Nous pensons que cette erreur est imputable à ses troubles attentionnels car lorsque nous la questionnons sur son résultat, elle s'en aperçoit.

Activité 3: Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

Nous soulignons que Marie se trouve en difficulté lors de l'application de l'exercice des aliments. En effet, la vitesse du curseur (à ce moment-là non encore paramétrable) trop rapide la perturbe, et elle pourra ne compter que certains aliments. Nous pensons que ce score est dû à ses problèmes attentionnels ou mnésiques et non à une difficulté d'ordre conceptuelle.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Marie ne semble pas perturbée et réussit cet exercice. Le comptage dans un autre ordre ne la gêne pas. Mais nous n'avons pas la certitude que celle-ci ait compris avec cette seule activité sur ce point que l'ordre n'interférerait pas sur le résultat du comptage. En effet d'une séance à l'autre, notre questionnement ouvert change peu et vise toujours à l'amener au constat que le résultat est identique quel que soit l'ordre employé pour dénombrer. Nous ne sommes pas sûrs que Marie ait compris ce constat, puisqu'elle aura souvent besoin du même nombre de questions avant d'arriver à cette observation. Nous pouvons penser que ces difficultés attentionnelles massives, mnésiques et de repérage spatial peuvent avoir eu des répercussions sur cette compréhension. D'autres expériences pourraient alors permettre à Marie de conforter ce principe qui fait appel aussi au principe de correspondance terme à terme. Ainsi selon M. BACQUET *et al* (2009 p35) «La reconnaissance des quantités égales quelle que soit l'organisation spatiale» fait aussi partie du travail de correspondance terme à terme.

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Marie présente des difficultés pour décompter les animaux peut-être attribuables à ses faibles capacités en mémoire de travail.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Suite à ces résultats, Marie pourra avoir plus besoin que les autres enfants de s'auto-corriger. Elle réussira néanmoins l'exercice mais elle devra contrôler son résultat plus que les autres enfants. Il semble que ses difficultés mnésiques et attentionnelles l'obligent à fournir plus d'effort cognitif pour répondre à la consigne.

En résumé, nous pensons que Marie a pu exploiter le matériel de façon bénéfique et ludique. Celui-ci a permis de vérifier que les principes acquis lors du test étaient présents aussi dans la situation de jeu. Nous pouvons dire que l'exercice des verres avec notre questionnement a permis de faire un constat sur l'équivalence des résultats quel que soit l'ordre utilisé. Mais nous ne pensons pas que cette seule expérience permettra de parler d'une émergence de ce principe. D'autres expériences de ce type seront nécessaires à Marie.

1.2.Damien

Nous avons vu Damien quatre fois, car il se trouvait proche de la zone d'alerte (inférieure à un pourcentage cumulé de 10%) lors du test. Ses résultats au TEDI-MATH étaient de 2/8 (pourcentage cumulé de 14) en comptage et de 10/13 en

dénombrement. Son score en dénombrement le plaçait dans la norme des enfants de grande section de maternelle (GSM) période deux (deuxième semestre de l'année scolaire). Il se situait donc très proche de la pathologie. Sa note brute était de 10/13 et son pourcentage cumulé de treize comparé aux enfants de son niveau scolaire. Son résultat était dû en grande partie à **une mauvaise maîtrise du principe cardinal et du principe de correspondance terme à terme** (erreurs de marquage: oubli d'objet ou objet recompté). Les autres principes de Gelman et Gallistel semblaient cependant préservés: principe de non pertinence de l'ordre, principe d'ordre stable, principe d'abstraction.

Nous avons donc porté un intérêt tout particulier aux principes de Gelman et Gallistel non maîtrisés lors de la phase de test de notre matériel, l'objectif étant que Damien améliore sa compétence en dénombrement.

Activité 1: Chez M.Croco (principe d'ordre stable)

Damien réussit cette activité mais nous observons qu'il peut être parfois gêné par ses troubles dysexécutifs (défaut d'inhibition), qui viennent parasiter ses résultats. Il clique alors qu'il nous avoue ne pas le souhaiter.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Damien persévère et se trouve donc en difficulté à cause de son trouble dysexécutif. Nous constatons qu'il attend que le curseur revienne au début de la ligne pour compter un objet. Il prendra donc très souvent le premier objet de la ligne.

Activité 3: Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

Il attendra que le curseur revienne au début de la ligne. Par conséquent, il pourra commettre des erreurs lorsqu'il compte les aliments car l'attente entraînera un oubli des éléments déjà comptés. Néanmoins, nous notons une amélioration dans la réussite de cette activité au fil des séances grâce au développement de l'option : modification de la vitesse de balayage du curseur, qui facilitera sa réussite.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Damien réussit cet exercice et se pose même des questions sur la consigne. Ceci nous amènera à l'améliorer.

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Damien attend que le curseur revienne au début de la colonne formée par les kayaks pour pouvoir les compter. Etant donné le nombre important d'exercices, où il attend que le curseur revienne au début de la collection, nous nous interrogeons sur

sa maîtrise du principe d'ordre indifférent, dont l'épreuve était pourtant réussie au TEDI-MATH. De surcroît, l'exercice aura aussi permis de voir que Damien devra faire appel au dénombrement pour répondre à la question sur le nombre d'animaux qui traversent sur un kayak. Il devra les dénombrer. Il semble que les relations mathématiques établies entre les nombres soient encore trop fragiles pour qu'il puisse accéder au niveau arithmétique. Il ne peut effectuer l'opération mentale suivante: $9-2=7$. L'exercice aura aussi permis de voir si l'enfant se situe au niveau arithmétique. Le passage du dénombrement au calcul nécessite plusieurs compétences en amont:

- la capacité de donner du sens aux termes «autant que, plus que, moins que»;
 - la capacité d'évaluation relative de la quantité d'une collection en fonction d'une autre c'est-à-dire pouvoir répondre à la question «combien en faut-il en plus?»;
 - l'itération de l'unité (selon M. BACQUET et al p 36 et p75 l'itération est «une activité de plus un» qui permet d'organiser la numération, car elle permet le passage de la sériation cardinale à la sériation ordinale);
 - et la décomposition d'une collection en plusieurs parties sans perdre de vue le tout.
- Nous pouvons supposer que Damien ne les possède pas toutes, puisqu'il ne parvient pas à effectuer une soustraction pour résoudre le problème du nombre d'animaux qui empruntent un kayak (9-2). Il devra recourir au dénombrement.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Il procède par perception globale, ce qui provoque des erreurs. Nous pouvons penser qu'il ne maîtrise pas suffisamment la suite numérique pour accomplir cet exercice. Aucune amélioration de cette faculté n'est observée au fil des séances. Nous nous interrogeons sur l'importance de l'influence de ses troubles dysexécutifs. Nous pensons aussi que les termes employés «plus de» ne sont toujours pas maîtrisés par Damien sur le plan linguistique (échec à l' E.C.O.S.S.E sur les items employant ces termes) malgré nos explications.

En résumé, nous constatons que Damien présente des difficultés de maîtrise du principe d'ordre indifférent pourtant efficient en situation de test. Il n'utilise quasiment jamais de pointage gestuel durant les séances de test. Aucune gêne dans la maîtrise de la correspondance terme à terme n'est observée mais plutôt des oublis dus à l'effort mnésique que certains exercices requièrent. Damien ne possède pas suffisamment le concept de nombre pour lui permettre des comparaisons de

quantités. Nous notons aussi l'influence des facteurs dysexécutifs, linguistiques et mnésiques dans la réussite de certains exercices.

1.3.Pierre

Nous avons proposé le matériel trois fois à Pierre, car il présentait un score pathologique au TEDI-MATH en comptage (obtient un niveau de CP première période) comme en dénombrement (se situe dans la norme des enfants de grande section de maternelle première période). Sa note brute en comptage est de 8/13. Nous pouvons penser que sa connaissance de la suite numérique n'est pas assez solide pour pouvoir effectuer des opérations sur celle-ci. Cependant, il faut noter que certains items sont aussi échoués car, il a peut-être mal interprété les consignes. Les autres items (cf annexe 9 p A23: 1E: compter par pas et 1F: compter à rebours) ne sont pas réussis, ils nécessitent une maîtrise parfaite de la chaîne numérique pour pouvoir réaliser des opérations mentales justes. Sa note brute en dénombrement est de 9/13. Son score est dû en grande partie à la procédure qu'il a mise en œuvre, dépourvue le plus souvent de pointage et à **une mauvaise maîtrise du principe cardinal et du principe de correspondance terme à terme** (erreurs de marquage: oubli d'objet ou objet recompté). Les autres principes de Gellman et Galistel semblent cependant préservés: principe de non pertinence de l'ordre, principe d'ordre stable, principe d'abstraction.

Comme pour Damien, nous avons porté une attention particulière aux exercices visant les principes échoués lors de la passation du TEDI-MATH.

Concernant Pierre, nous remarquons à l'instar de Damien qu'il utilise majoritairement le curseur pour pointer, et très peu le pointage gestuel qui ne lui servira que pour le dénombrement des animaux dans les décors.

Activité 1: Chez M.Croco (principe d'ordre stable)

Pierre réussit sans aucune difficulté cet exercice.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Nous ne notons aucune erreur lors de la réalisation de cet exercice.

Activité 3:Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

Pierre parvient à effectuer l'exercice facilement. Faisant abstraction de la qualité des objets présentés il parvient à changer son choix de bouteilles d'une séance à l'autre, ce qui montre bien que la qualité des objets ne le perturbe pas. Il prendra

tantôt des bouteilles d'eau et une bouteille de coca, tantôt des bouteilles d'eau, de jus d'orange et de coca.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Cet exercice ne lui pose aucune difficulté. Nous constatons que Pierre modifie sans difficulté sa réponse, lorsque nous l'aménonons à en changer par questionnements ouverts. L'ordre du comptage ne le gêne pas.

Il comptera sans erreurs les animaux sur le décor avant de faire l'exercice.

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Pierre comme Damien n'utilise pas stratégiquement l'opération de la soustraction pour résoudre le problème. Pour savoir le nombre de personnages qui empruntent un kayak, il aura besoin de dénombrer. Il le fera sans se tromper en utilisant un pointage gestuel.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Pierre ne présente aucune difficulté. Il utilisera le subitizing. Il se trompera une fois mais rectifiera aussitôt lorsque nous nous étonnons du nombre de cases parcourues par le perroquet après qu'il ait cliqué. Il recomptera par la suite et parviendra à réaliser l'exercice avec succès.

Etant donné la facilité de Pierre à réaliser les exercices proposés au fil des séances, nous n'avons pas souhaité poursuivre, puisqu'il avait déjà atteint un bon niveau au bout de trois séances de présentation.

Nous avons remarqué que Pierre utilisait spontanément l'outil du curseur proposé dans le jeu. Nous avons vu qu'il réussissait sans difficultés les exercices même celui de la grotte qui visait spécialement sa difficulté. Enfin, nous constatons que Pierre a rapidement intégré le scénario du jeu. Curieux, il nous a posé des questions complémentaires sur l'histoire.

1.4.Romain

Romain a essayé le matériel quatre fois. Nous avons souhaité lui proposer le matériel car il avait un résultat inférieur à la norme en dénombrement et comptage. Il obtient un score de 2/8 en comptage. Il se situe dans la pathologie: pourcentage cumulé de 2. Sa connaissance de la chaîne numérique se situe à un niveau de chaîne insécable. Il présente une portion stable et conventionnelle jusqu'à 8.

De plus, le score de Romain à l'épreuve de dénombrement le place dans la norme des enfants de Moyenne Section de Maternelle période 2. Sa note brute est de 7/13.

Son score est dû en grande partie à une mauvaise maîtrise du principe cardinal. Il possède les principes suivant: ordre stable et abstraction .

En revanche, il ne réussit pas les épreuves qui concernent **le principe de cardinalité, de correspondance terme à terme** (erreurs de marquage) **et d'ordre indifférent**. Nous avons donc étudié ces résultats plus en détails dans les exercices, qui visaient ces difficultés.

Malgré ses difficultés mnésiques nous constatons que Romain parvient à se souvenir du scénario d'une séance à l'autre.

Activité 1: Chez M.Croco (principe d'ordre stable)

Il ne pose aucune difficulté à Romain.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Nous observons que Romain accomplit l'exercice sans gêne. Nous constatons cependant que nos questions portant sur les quantités présentes à l'écran au début de l'exercice ne sont pas simples à résoudre pour Romain. Ainsi, à l'exercice des lampes par exemple, où il réussit à répondre à la consigne en ne prenant que deux lampes sur les trois, nous lui demandons en plus combien de lampes étaient présentes sur l'écran avant qu'il ne réponde. Sachant qu'il reste un objet sur l'écran, nous voulions voir s'il était capable de déduction et donc de trouver qu'il y avait trois lampes auparavant, en utilisant une stratégie soit de comptage soit de calcul (quatre pour les trousse, et deux pour les boussoles). Mais Romain ne semble pas présenter une flexibilité de pensée suffisante pour lui permettre de répondre à nos questions.

Activité 3:Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

L'exercice de la nourriture peut se révéler difficile à réaliser lorsque Romain ne compte pas à haute voix en même temps qu'il sélectionne les objets. Nous observons que cette énonciation l'aide à conserver la quantité d'éléments déjà comptés. Lorsque cette aide lui est fournie nous constatons peu d'erreurs. L'exercice des boissons est bien réalisé, il parvient à inclure plusieurs types de bouteilles en ne commettant pas de fautes.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Cet exercice demeure difficile, malgré la coloration des verres Romain commet des oublis et sa correspondance terme à terme est parfois hasardeuse. Nous arrivons cependant à l'amener à changer l'ordre de comptage, même si au départ il a

tendance à persévérer, c'est-à-dire qu'il compte tous les objets présents sur l'écran alors que précédemment en débutant à gauche il en laissait bien un.

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Il parvient à réaliser l'exercice mais réalisera des erreurs de marquage lors du dénombrement des animaux.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Romain fait peu d'erreurs. Nous pensons qu'il recourt parfois au subitizing car ses réponses sont rapides. La correspondance externe n'est pas complètement maîtrisée puisqu'il dénombre huit points au lieu de sept (double comptage). Néanmoins il parvient à effectuer des jugements de numérosité des quantités.

Nous pensons que Romain a pu accéder à une représentation des quantités et a pu augmenter sa connaissance de la suite numérique grâce aux exercices proposés. Il nous semble en outre que sa maîtrise du principe cardinal a évolué au cours des présentations. En effet, nous notons que Romain améliore ses réponses à nos questions sur les quantités déjà comptées et sur celles restant. Nos constatations sont plus tempérées en ce qui concerne l'amélioration de la maîtrise du principe d'ordre indifférent.

1.5. Jérôme

Nous avons proposé le matériel quatre fois à Jérôme. A l'instar des deux enfants précédents il se trouvait au-dessous de la norme attendue pour son âge au TEDI-MATH, en obtenant 2/8 en comptage. Ce qui le situait dans la pathologie puisqu'il obtenait un pourcentage cumulé inférieur à 4 (niveau de chaîne insécable). Son score en dénombrement le plaçait dans la norme des enfants de GSM période 2. Il se trouvait donc dans la pathologie. Sa note brute était de 9/13. Son résultat était dû en grande partie à **une mauvaise maîtrise du principe cardinal et du principe d'ordre indifférent**. Les autres principes de Gelman et Galistel semblaient cependant préservés: principe de cardinalité en partie, principe d'ordre stable, principe d'abstraction, principe de correspondance terme à terme.

Lors de la présentation du jeu, nous nous sommes intéressées davantage aux exercices travaillant les principes échoués en situation de test.

Activité 1: Chez M.Croco (principe d'ordre stable)

Jérôme présente une portion stable et conventionnelle jusqu'à cinq, ce qui rend cet exercice facile à effectuer.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Cet exercice est réussi sans difficultés. Nous notons simplement que Jérôme, à l'instar des autres enfants ne peut faire des calculs simples. Cependant a contrario des enfants précédents sa difficulté porte parfois sur des additions. Il nécessite de l'aide et ne peut utiliser des stratégies comme celle du surcomptage pour ajouter cinq et un.

Nous rappelons ici que le surcomptage est la capacité à garder en mémoire une première quantité comme si elle avait déjà été dénombrée, et de pouvoir énoncer la suite numérique en pointant les objets de la deuxième collection.

Activité 3: Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

Jérôme n'est nullement gêné par une quelconque notion d'ordre dans son comptage. Ceci se vérifie lors de cet exercice où il compte dans le désordre les aliments. En outre, nous remarquons une évolution dans la capacité d'abstraction et de logique de Jérôme qui au départ ne prenait que des bouteilles d'eau et qui au fil des séances a reconnu la possibilité de pouvoir inclure d'autres types de bouteilles.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Nous ne notons pas de difficulté lors de la réalisation de l'exercice. Jérôme peut commencer son comptage dans un ordre différent lorsque nous le conduisons à le faire.

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Jérôme ne s'attache pas à une notion d'ordre dans son comptage au contraire de Damien. Ainsi, il peut choisir des kayaks dans le désordre. Il parviendra à réaliser une soustraction pour comptabiliser le nombre d'animaux qui utilisera un kayak. Cependant, il aura besoin d'une représentation digitale pour réaliser cette opération.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Nous notons que Jérôme parvient à terminer le jeu sans grandes difficultés en comparant les collections correctement et comprenant les termes employés.

En résumé, nous observons que Jérôme parvient à compter dans le désordre dans les exercices proposés. L'exercice quatre qui vise le principe d'ordre indifférent peut au cours des séances être réalisé dans un ordre différent par Jérôme. Ces résultats aux exercices, nous permettent de penser qu'une évolution positive sera

attendue en post-évaluation, puisque le principe cardinal comme le principe d'ordre indifférent semblent acquis au fil des séances.

1.6.Victor

Victor a utilisé trois fois le matériel. Il présentait un score pathologique à l'épreuve de dénombrement du TEDI-MATH. Il obtient un score le situant dans la norme des enfants de Moyenne Section de Maternelle période 1. Il se situe donc dans la pathologie. Sa note brute est de 7/13. Son score est dû en grande partie à la procédure qu'il a mise en œuvre, dépourvue le plus souvent de pointage et à une **mauvaise maîtrise du principe cardinal, du principe d'ordre indifférent et du principe de correspondance terme à terme** (erreurs de marquage: oubli d'objet ou objet recompté). Les autres principes de Gelman et Gallistel semblent cependant préservés: principe de cardinalité en partie, principe d'ordre stable et principe d'abstraction. Victor maîtrise cependant la suite numérique (score maximum pour son âge : pourcentage cumulé de 100).

Nous avons proposé le jeu dans son intégralité à Victor mais en prêtant attention particulièrement à sa réussite dans les exercices quatre, cinq et six, qui visent les principes non préservés.

Activité 1: Chez M.Croco (principe d'ordre stable)

Victor réussit sans aucune difficulté cette première activité.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Victor est tenté de cliquer plusieurs fois, alors qu'il comprend la consigne mais se rend compte de son erreur (persévérations motrices).

Activité 3:Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

Lors de la première séance nous avons remarqué que Victor ne pouvait intégrer le jus d'orange dans son choix de bouteilles. Puis avec nos questionnements, il est parvenu à changer de point de vue en prenant du coca et du jus d'orange.

En ce qui concerne l'exercice des bouteilles, nous observons que le fait d'énoncer les nombres à haute voix lors du dénombrement est encore plus important avec lui qu'avec tous les autres enfants car ce feed-back auditif semble faciliter l'intégration du nombre d'éléments déjà comptés et éviter les erreurs. Sans ce retour verbal, Victor commet des erreurs dans son compte de la nourriture. Il comptera sept au lieu de neuf à cause de son trouble de la concentration.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Victor peut changer l'ordre de son dénombrement sans difficultés.

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Il ne peut effectuer une soustraction simple mentalement (9-2). A l'instar de Pierre, il aura besoin de dénombrer.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Nous observons que Victor peut terminer le jeu, mais il aura tendance à se précipiter. Ainsi, il fera à deux reprises un mauvais choix pour le dernier dé. Néanmoins lors de la dernière séance nous notons une évolution, car Victor ne fera plus cette erreur, ce qui permet de penser qu'il peut comparer des quantités, et possède le principe cardinal.

Pour terminer, nous dirons que Victor a pu grâce au jeu, et à l'utilisation du curseur faire moins d'erreurs de correspondance terme à terme, ce qui a permis de conforter certains principes. Victor n'aura pas besoin de recompter les objets de la collection choisis. Nous pensons qu'il a acquis le principe cardinal et le principe d'ordre indifférent puisque les exercices proposés sur ces thèmes ont été bien réussis. Enfin nous constatons, que Victor pointe très peu gestuellement. Il pourra le faire pour le décor de la traversée.

1.7.Mathieu

Nous avons tenu à proposer ces cinq séances à Mathieu car il présentait une capacité attentionnelle très limitée. La durée de présentation du jeu n'a pas pu dépasser vingt minutes. Nous avons donc proposé une cinquième séance pour qu'il ait au final un temps d'utilisation à peu près comparable à celui des plus jeunes enfants de notre population. Son score en comptage est égal à zéro. En effet, il se situe à un niveau chapelet de la connaissance de la suite numérique, et ce niveau ne dépasse pas le nombre quinze. Le score de Mathieu à l'épreuve de dénombrement le place au niveau des enfants de MSM période 2 (mais dans la pathologie, le test ne va pas au-dessous de cet âge). Il se situe donc dans la pathologie. Sa note brute est de 5/13. Son score est dû en grande partie à une mauvaise maîtrise du principe de d'ordre stable, du principe d'ordre indifférent, du principe de cardinalité. Les autres principes de Gelman et Gallistel semblent cependant préservés en partie: principe d'abstraction (réserve) et principe de correspondance terme à terme.

Activité 1: Chez M.Croco (principe d'ordre stable)

Mathieu n'a pas identifié les chiffres trois et quatre, car il les confond avec d'autres chiffres. Nous constatons que cette connaissance symbolique est fragile. Au fil des séances il accomplira l'exercice sans erreurs. Sa reconnaissance des symboles sera améliorée grâce à la répétition d'exercices autour de cette activité. Nous associerons à cette activité la reconnaissance de collections digitales et l'entraînement de la comptine numérique basée sur une des files numériques présente dans le manuel construction et utilisation du nombre (2011) de mesdames Daffauré et Guedin. Nous essaierons de travailler avec lui sur la place du nombre par rapport aux autres, en s'aidant de la file numérique et sur la représentation quantitative de ce nombre grâce aux configurations digitales. Enfin, nous accompagnerons ces exercices de l'énonciation de la comptine numérique. Ce parallèle proposé plusieurs fois permettra d'identifier les chiffres et de construire une portion stable et conventionnelle de la suite numérique jusqu'à cinq. Nous notons aussi que Mathieu arrive à dire à la fin des séances le nombre de bocaux qu'il y a sur l'étagère et combien il en manque.

Activité 2: Préparation (principe d'ordre stable)

Nous observons que Mathieu réussit l'exercice des lampes et des boussoles. L'item des appareils photos sera en revanche moins bien réussi. Il prendra tous les appareils photos, en prenant plaisir à cliquer et à sélectionner les appareils. De plus, nous observons aussi lors de l'exécution de cet exercice la présence de persévérations. Il semble avoir davantage de difficultés lorsque la collection est supérieure à trois éléments. Cette difficulté de réalisation peut être due à ses difficultés mnésiques. Ses troubles mnésiques peuvent en effet être invalidants dans ces exercices, car les objets une fois comptés disparaissent, il faut donc retenir le nombre d'éléments déjà comptés, ce qui se révèle ardu chez Mathieu même si nous l'aidons en lui présentant les quantités visuellement.

Activité 3: Préparation de la nourriture (principe d'abstraction)

Mathieu a de grandes difficultés à accomplir cet exercice pour les mêmes raisons que celles citées précédemment.

Activité 4: Le pique nique (principe d'ordre indifférent)

Cet exercice se révèle trop complexe sur le plan conceptuel et de la réalisation. Mathieu a des difficultés pour manipuler la souris, et donc pour cliquer sur les verres. Il a du mal à trouver qu'il faut neuf verres. Il n'accède pas au principe de correspondance terme à terme. Cependant nous notons une évolution de sa

connaissance de la suite numérique car il parvient à individualiser les termes et à répondre à la question "qu'est-ce qui vient après?" (passage du niveau chapelet au niveau de chaîne insécable.)

Activité 5: La traversée (principe de correspondance terme à terme)

Cette activité est réussie avec beaucoup d'étayage. Nous l'aidons à repérer le nombre d'animaux qui traversent sur un kayak en l'interrogeant et en instaurant une mémoire visuelle (configuration des doigts ou jetons). Par la suite, Mathieu parvient toujours avec de l'aide (maintien du nombre de personnages trouvé) à sélectionner le bon nombre de kayaks.

Activité 6: La grotte (principe cardinal)

Cet exercice a été trop difficile à effectuer.

Les principes d'ordre stable, de cardinalité et de correspondance terme à terme ont évolué chez Mathieu. Sa connaissance de la suite numérique est devenue plus stable, son niveau d'acquisition correspond aujourd'hui à celui de chaîne insécable. Grâce au curseur, Mathieu a amélioré sa double correspondance. Nous observons aussi qu'il a pris de l'assurance au cours des exercices lui permettant de pouvoir répondre aux questions portant sur la quantité et donc sur le principe de cardinalité. Nous n'avons cependant pas observé d'évolution positive du principe d'ordre indifférent.

2.Observations faites sur le matériel

2.1 Avis des enfants

Le jeu a plu à tous les enfants qui l'ont essayé. Sur sept enfants qui l'ont utilisé plusieurs fois, cinq enfants disent vouloir y rejouer à la fin des séances. Nous pouvons donc penser que le jeu est attractif.

Concernant la durée du jeu, les avis sont partagés. Ainsi, quatre enfants ont trouvé le jeu trop court, l'autre partie a trouvé le jeu un peu long. Cinq enfants ont apprécié le thème de l'histoire. Victor a avoué l'avoir moyennement apprécié. Marie a confié qu'elle aurait préféré partir à la recherche d'une girafe ou d'autre chose. Ces deux enfants ont peu aimé aider les animaux à retrouver le poisson. En revanche, les cinq autres ont apprécié partir à la recherche du poisson. Nous notons que quatre enfants ont estimé le jeu facile, un enfant l'a trouvé moyennement facile et les deux

derniers l'ont trouvé difficile (Damien et Mathieu). Ils ont préféré les deux derniers exercices, correspondant à la traversée et à la grotte. Seule Marie ajoutera avoir bien aimé le jeu du pique-nique.

2.2 Remarques des orthophonistes

2.2.1. La forme

Les orthophonistes, nous accueillant, ont trouvé les consignes compréhensibles et le thème du jeu adapté à des enfants de cette classe d'âge. Elles ont cependant regretté que l'utilisation ne soit pas plus aisée. Elles ont demandé que les exercices se suivent sans que l'orthophoniste ait besoin de retourner sur la page d'accueil. L'une des deux orthophonistes a aussi déploré que l'enfant ne puisse refaire un exercice échoué sans repasser par la page d'accueil. Ces deux professionnelles ont cependant reconnu que ce matériel pouvait être innovant puisqu'il répondait à un manque. Elles ont aussi pensé que ce jeu répondait à l'objectif visé, c'est-à-dire exercer la procédure en dénombrement.

2.2.2 Le contenu

Les thérapeutes ont estimé que le matériel était dans son contenu davantage adapté à des enfants plus jeunes, et elles ont regretté que les collections ne soient pas plus grandes en taille. L'une d'elles a ainsi déploré qu'il n'y ait pas davantage d'aliments présentés sur l'écran dans l'exercice trois. Ce souhait était pour nous difficile à contenter sur le plan informatique (place de l'écran trop petite pour présenter beaucoup d'objets prégnants sur le plan perceptif). Il l'était aussi sur le plan conceptuel car nous avons à l'esprit le modèle de Dehaene, qui précise bien une variabilité intrinsèque du modèle augmentant avec la numérosité des collections. Nous rappelons que notre objectif était en partie de faciliter le dénombrement de l'enfant I.M.C pour qu'il puisse construire des représentations des quantités solides fondées sur des expériences de dénombrement concordantes au niveau des résultats. Ainsi selon Briars et Siegler (1984 *cité par V. Camos*: notion théorique: le dénombrement) «la connaissance conceptuelle du dénombrement proviendrait des régularités que les enfants pourraient extraire de leurs activités de dénombrement.»

De plus, nous avons aussi notre objectif premier en tête c'est-à-dire celui de proposer des collections non supérieures à dix, qui est la base universelle en numération et qui permettra par la suite de soulager le comptage des éléments.

Enfin, les orthophonistes ont aussi formulé d'autres remarques au cours des essais qui nous ont conduites à remanier le matériel et notamment certains exercices.

2.3. Améliorations du logiciel

2.3.1.Les modifications faites

Partant de ces remarques nous avons souhaité suggérer à l'utilisateur des exercices plus complexes. Nous avons donc changé certains décors comme celui de l'exercice numéro un où les animaux sont en classe pour que l'orthophoniste puisse demander à l'enfant de résoudre des opérations arithmétiques simples en dénombrant comme:

- Puisque trois animaux partent chez M. Croco , combien resteront en classe?
- Combien y-a-t-il de bureaux occupés?

De plus, nous avons ajouté l'exercice des boissons dans l'exercice trois, qui nous semble plus complexe que celui des aliments dans la mesure où l'enfant peut inclure d'autres bouteilles que celles contenant de l'eau (début d'inclusion observé et flexibilité mentale de certains enfants). Nous avons parfois fait des erreurs dans la conception de certains exercices ainsi que dans l'élaboration des consignes. Nous avons donc changé certaines consignes comme celle de l'activité quatre. Nous avons aussi modifié certains décors insuffisamment contrastés. Pour terminer, nous avons aussi remanié l'exercice trois, qui pouvait dans sa présentation induire l'enfant en erreur, ainsi que l'exercice cinq qui pouvait au contraire se révéler trop facile à résoudre. Nous avons ainsi changé dans l'exercice trois les myrtilles qui, présentées en grappe, pouvaient entraîner une dissociation entre la partie et le tout. Nous avons alors présenté une seule myrtille et non plus plusieurs baies sur la même branche. A contrario, au sein de l'exercice de la traversée nous proposons deux colonnes de plots parallèles ce qui rendait l'exercice trop simple. En effet la deuxième colonne de plots correspondant à celle du départ des animaux annihilait tout effort de déduction à produire par l'enfant puisque la réponse était déjà présente sur le plan perceptif. Nous avons donc supprimé cet indice perceptif et nous avons proposé à l'enfant de ne prendre que les kayaks pour les animaux, qui en avaient besoin pour traverser, alors que précédemment nous attendions qu'il en prenne pour tous les animaux.

2.3.2.Les améliorations futures

Nous souhaiterions pouvoir développer davantage le jeu sur le plan informatique. En effet, notre jeu en l'état actuel n'offre pas suffisamment d'aides à l'enfant en difficulté, nous avons donc dû les proposer sur papier à l'enfant lors des séances. Nous voudrions que plus tard ce développement d'options puisse être effectué. Nous avons donc pensé aux options qui pourraient être proposées pour les différents jeux.

Ainsi pour tous les jeux nous voudrions proposer un feed-back auditif à l'enfant, qui en a besoin, celui-ci est aujourd'hui proposé de façon «naturelle».

En ce qui concerne l'activité une, nous aimerions proposer plusieurs aides à l'enfant comme:

- une file numérique permettant à l'enfant de situer la place des chiffres par rapport aux autres (aspect ordinal);
- des constellations de dé pour l'enfant qui n'a pas accès à la représentation symbolique pour le moment, et qui pourraient alors remplacer les chiffres inscrits sur les bords ou être proposées sur le curseur qui se déplace, l'enfant pouvant ainsi associer le chiffre à sa représentation analogique.
- enfin en cas de très grande difficulté, nous voulions proposer à l'enfant d'être aidé par le personnage du chat qui vient ranger les bords à sa place en énonçant les chiffres en même temps.

Nous aimerions aussi développer une mémoire visuelle au sein des exercices deux et trois, qui permettrait à l'enfant de visualiser les objets déjà comptés, et qui aujourd'hui disparaissent. Cette option pourrait aussi être proposée à l'enfant dans d'autres exercices s'il en a besoin. Nous proposerions aussi l'option de la file numérique pour l'enfant qui en présente la nécessité.

Pour l'exercice des aliments nous voudrions aussi que l'enfant puisse faire correspondre chaque aliment à son personnage afin qu'il construise le lien qui lui permette de dire qu'il en a assez.

L'exercice quatre aujourd'hui nous semble peu adapté sur le plan moteur à l'enfant I.M.C qui présente une motricité diminuée au niveau des membres supérieurs. En effet, l'enfant doit dans cet exercice déplacer la souris. Nous n'avons pas pu proposer sur le plan informatique étant donné la disposition des verres, de curseur qui se déplace comme précédemment. Or, il apparaît difficile à réaliser à cause de ce manque, qui ne peut être pallié aujourd'hui par l'utilisation d'un joystick

par exemple. En effet le programme codé en java se limite à la souris comme interface home machine. Nous regrettons ce manque d'adaptations possibles pour le moment. Il nous semble en outre que le jeu de la traversée pourrait aussi être complété par une visualisation de la traversée des animaux. De même nous pensons ici aussi qu'il serait intéressant que l'enfant puisse placer les animaux sur leur kayak, après les avoir sélectionnés, afin qu'il puisse s'apercevoir du manque de kayaks sélectionnés ou du contraire.

Enfin nous pensons que le jeu six serait grandement amélioré par une possibilité de faire avancer le perroquet du même nombre de point que ceux contenus sur le dé, après avoir sélectionné le dé contenant le plus de points.

3. Résultats des enfants lors de la post-évaluation

3.1. Comparaison des résultats au tedi-math

3.1.1. Marie

Nous observons une évolution de ses capacités de comptage. En effet Marie se situe aujourd'hui à un niveau de chaîne sécable. Elle améliore son score avec un résultat de huit points, qui la place à un niveau de cours préparatoire période un. En dénombrement, Marie ne présente toujours pas de maîtrise du principe d'ordre indifférent. De plus, nous remarquons qu'aujourd'hui elle recompte une fois sur cinq les éléments de la question lorsque nous lui posons la question sur la quantité. Elle ne maîtrise donc plus totalement ce principe cardinal, même si nous nous apercevons qu'elle réussit les deux épreuves d'utilisation fonctionnelle du dénombrement (épreuve de construction de deux collections numériquement équivalentes et des bonhommes de neige).

Malgré cette amélioration de l'utilisation fonctionnelle du dénombrement, Marie ne maîtrise toujours pas le principe d'ordre indifférent. Elle commet une erreur de marquage et ne dispose pas entièrement du principe cardinal. Elle obtient alors un score équivalent au précédent, qui la situe dans la pathologie comparée aux enfants de sa classe d'âge (pourcentage cumulé de 3%). Elle est dans la norme des enfants de grande section de maternelle période deux.

3.1.2. Damien

Nous notons une évolution de son score en comptage. Ainsi Damien a augmenté sa connaissance de la suite numérique. Il sait aujourd'hui compter jusqu'à

31 (auparavant jusqu'à 15). En revanche il se situe toujours à un niveau de chaîne numérique insécable. Il obtient un pourcentage cumulé de 20% par rapport aux enfants de CP période 2, ce qui le situe toujours dans une zone à risque. En dénombrement Damien obtient un score de 6/13, qui équivaut à un niveau de moyenne section de maternelle deuxième semestre.

Nous tenons à préciser ici que cette évaluation a été effectuée un vendredi, or Damien est très fatigable en fin de semaine et ses capacités attentionnelles sont limitées. De plus, il avait été malade en début de semaine. Nous pensons que cet état général a dégradé en partie ses résultats.

Nous constatons que Damien utilise la plupart du temps un pointage visuel. Il nous semble que le jeu dans lequel il n'utilisait quasiment pas non plus un pointage gestuel a pu l'amener à prendre confiance en ses capacités visuelles, qui sont défaillantes (le curseur ne pointe plus pour lui). Ainsi, il présentera une mauvaise correspondance externe avec des erreurs de marquage lorsqu'il utilisera un pointage visuel, là où auparavant avec le pointage gestuel il ne commettait pas autant d'erreurs de marquage.

Nous pouvons imaginer que ces résultats auraient été meilleurs avec un pointage gestuel car ses troubles neurovisuels sont trop invalidants pour réussir un pointage visuel. De plus le pointage gestuel a une fonction double, il permet de garder une trace des éléments déjà dénombrés et aide à coordonner la mise en correspondance entre éléments dénombrés et étiquettes verbales. Damien présente un score pathologique en attention visuelle et des difficultés mnésiques. Nous pouvons donc croire que ce pointage gestuel aurait comme lors de la pré-évaluation permis de contourner ces difficultés. Ces difficultés de correspondance sont donc dues à des problèmes plus généraux chez Damien: mauvaise coordination visuo-motrice, trouble mnésique, attention visuelle.

Nous observons ici une absence de maîtrise du principe cardinal. Alors que ce principe était en partie maîtrisé lors de la pré-évaluation. Damien trois fois sur quatre ne peut pas répondre à nos questions portant sur la quantité totale d'éléments contenus dans la collection. Il avoue ne pas savoir, mais ne recompte pas pour autant. Nous pensons ici que son état général a grandement influencé ses résultats, car lors de situation de jeu, il maîtrisait ce principe. En outre, il ne maîtrise plus ici le principe d'ordre indifférent. Il réussira uniquement le dénombrement de la collection des requins et des animaux, où il utilisera un pointage gestuel et ne recomptera pas.

Le dénombrement des animaux réussi, nous pouvons dire qu'il maîtrise toujours le principe d'abstraction. Il parviendra à réaliser l'item des bonhommes de neige. Néanmoins il échouera à nouveau à l'item des collections numériquement équivalentes. Cependant à la différence de la première évaluation, il comptera les pions collés sans fautes et en utilisant un pointage gestuel, mais n'arrivera pas à utiliser ce résultat pour répondre à la consigne. Après avoir compté il procédera par correspondance terme à terme, alors qu'en décembre il répondait seulement en utilisant la correspondance terme à terme. Des difficultés exécutives (maintien de la consigne) et de compréhension de la consigne peuvent être à l'origine de ce résultat nul.

Damien a donc un score inférieur à celui de la pré-évaluation en dénombrement (7/13), ce qui le situe dans la norme des enfants de grande section de maternelle première période. Ce résultat est dû à une maîtrise imparfaite du principe cardinal, du principe d'ordre indifférent et de correspondance externe. Il peut être expliqué par le recours au pointage visuel par ses difficultés mnésiques et neurovisuelles, ainsi que par son état général ce jour-là.

3.1.3. Pierre

Son niveau de maîtrise de la chaîne numérique est supérieur. Il est passé d'un niveau de chaîne sécable à un niveau de chaîne bidirectionnelle, ce qui ne le situe plus à un niveau de deuxième période de cours préparatoire mais à un niveau de CE1 première période (11 points pour un pourcentage cumulé de 35%).

Pierre n'a malgré cela pas amélioré son score en dénombrement car il continue à recompter les objets des collections deux fois sur cinq et échouera à nouveau à l'épreuve de construction de deux collections numériquement équivalentes. Pierre utilise un pointage tantôt visuel, tantôt gestuel. Ainsi pour l'item des tortues, il utilisera un pointage visuel, or nous savons qu'il présente d'importants troubles neurovisuels et une dyspraxie visuo-spatiale, qui ne lui permettront pas d'accéder à un résultat juste (erreurs de marquage).

Il a échoué à l'épreuve de construction de deux collections numériquement équivalentes où il a employé une stratégie de résolution par correspondance terme à terme de nouveau. Nous estimons que la consigne a pu être mal interprétée par Pierre, car ce dernier a été testé avec l'UDN II élaboré par Meljac C et Lemmel J. par son orthophoniste, qui affirme que Pierre est conservant. Par conséquent, il devrait être à même de produire des équivalences numériques. Ces difficultés

attentionnelles et mnésiques qui ont un retentissement sur ses capacités de compréhension langagières peuvent être à la base de ce résultat nul.

Nous pensons que Pierre a conscience de ses difficultés. Il est possible que ses troubles mnésiques aient empêché la rétention du compte des tortues, ce qui a entraîné une nécessité de recompte. Nous ne pouvons pas néanmoins dire face à ces résultats que la maîtrise du principe cardinal ait évolué. Malgré tout nous savons que le niveau d'acquisition de la chaîne bidirectionnelle aux épreuves de comptage, marque un passage vers la signification cardinale des nombres.

3.1.4. Romain

Nous notons une évolution dans la connaissance de la suite numérique. Auparavant, Romain comptait sans erreurs jusqu'à huit. Aujourd'hui il compte sans erreurs jusqu'à quinze. Romain ne peut toujours pas commencer son comptage à l'endroit par une borne supérieure à un. Nous notons, cependant, qu'il parvient à compter à l'envers sans erreurs à partir de quinze et de sept. Il maîtrise donc la séquence numérique dans les deux sens (niveau de chaîne bidirectionnelle). Nous pouvons alors nous demander si ses échecs aux questions précédentes n'ont pas pour origine une incompréhension des consignes. Romain obtient à cause de ses résultats nuls à quatre items un score de quatre points. Il est dans la norme des enfants de grande section de maternelle de deuxième période (16%).

Son résultat en dénombrement est lui aussi meilleur. Il se place dans la norme des enfants de grande section de maternelle de deuxième période (20%) avec un résultat de huit points. Précédemment il se situait dans la norme des enfants de cette classe mais dans «une zone à risque». Cette amélioration est due à une meilleure maîtrise du principe cardinal. Il parvient à conserver la quantité des lions, car il répond justement à la question portant sur la quantité des lions disparus. Il recomptera cependant la collection des tortues et fera une erreur de marquage. Enfin nous constatons une modification dans la stratégie de résolution de l'item des deux collections numériquement équivalentes. Romain compte dorénavant les pions mais ne répondra tout de même pas correctement à la question car il utilise par la suite la correspondance terme à terme. Ce résultat peut être imputé à ses importants troubles attentionnels, mnésiques et de compréhension, qui auraient empêché la compréhension de la consigne puis son maintien.

En résumé, Romain ne maîtrise toujours pas le principe d'ordre indifférent et ne maîtrise pas complètement le principe cardinal. Ces difficultés peuvent être secondaires à ses troubles langagiers, mésiques, attentionnels et neurovisuels.

3.1.5. Jérôme

Il améliore sa connaissance et sa maîtrise de la suite numérique. Il compte dorénavant jusqu'à trente sept et son niveau d'acquisition correspond à celui de chaîne sécable. Son résultat équivaut à sept points. Il est aujourd'hui dans la norme des enfants de sa classe d'âge (26%), et plus dans la pathologie.

Ses résultats à l'épreuve de dénombrement sont aussi supérieurs. Il maîtrise à présent le principe d'ordre indifférent puisqu'il n'a plus besoin de recompter les lapins pour répondre à la question trois de l'item 2.A.1 qui est: «*combien y aurait-il eu de lapins si tu avais commencé par celui-là?*» Il dispose en partie du principe cardinal car aujourd'hui il n'a plus besoin de recompter les éléments pour répondre aux questions portant sur les quantités. Avant il recomptait les collections de deux items sur cinq, aujourd'hui il ne recompte qu'à un item. Cependant, nous remarquons qu'il procède toujours par correspondance terme à terme à l'épreuve de construction de deux collections numériquement équivalentes. Nous pensons que Jérôme peut ne pas avoir bien interprété la consigne, puisqu'il était capable de construire deux collections équivalentes lors de l'utilisation du jeu. Cette question nécessite des capacités d'abstraction supérieures à l'exercice des bonhommes de neige. De plus, elle demande une capacité de flexibilité mentale supérieure, ce qui peut expliquer aussi un résultat inférieur à celui des bonhommes de neige.

3.1.6. Victor

Victor maintient ses performances en comptage. Il a acquis le niveau de chaîne terminale. En dénombrement, nous remarquons qu'il a acquis le principe d'ordre indifférent et de cardinalité en partie car il n'a pas besoin de recompter les objets, mais il ne peut toujours pas réussir l'épreuve d'établissement de deux collections numériquement équivalentes. Il résout toujours la question en utilisant la correspondance terme à terme. Il utilisera cette fois un pointage gestuel qui lui permettra de réussir presque toutes les épreuves de dénombrement de patterns d'animaux. Il ne fera plus d'erreurs de marquage, mis à part à l'épreuve des tortues dont la disposition spatiale ne facilite pas le dénombrement. Nous pouvons penser que le jeu a ici bien permis à Victor d'acquérir les principes cardinal et d'ordre

indifférent. Nous pensons en outre, que le pointage gestuel a aidé Victor dans sa rétention des éléments déjà comptés et a pallié ses difficultés visuo-spatiales et mnésiques.

Victor obtient un score de onze points. Il est dans une zone à risque comparé aux enfants de sa classe d'âge (10%).

3.1.7. Mathieu

Mathieu présente une connaissance de la suite numérique et un niveau d'acquisition supérieur. En effet, il sait maintenant compter sans erreurs jusqu'à neuf et se situe à un niveau de chaîne insécable. Il se place dans la norme des enfants de premier trimestre de grande section de maternelle et non plus dans la pathologie des enfants de moyenne section de maternelle. Il maîtrise davantage le principe d'ordre stable. Il ne dispose toujours pas du principe d'ordre indifférent. Néanmoins, nous pouvons signaler qu'il a amélioré sa connaissance du principe cardinal car il ne recompte plus les objets présents dans les collections pour répondre. Nous notons malgré cela une absence de maîtrise du principe d'abstraction qui semblait acquis lors de la pré-évaluation. Enfin, nous remarquons que Mathieu est en difficulté dans les épreuves d'utilisation fonctionnelle du dénombrement. Même si, nous notons qu'il adopte une stratégie de résolution différente à l'item de construction de deux collections numériquement équivalentes. Il compte d'abord les pions collés sans faire d'erreurs. Puis il vide la boîte de pions. Il ne répond donc pas à la consigne, mais il utilise le nombre au départ. Enfin il emploie une stratégie de perception globale à l'épreuve des bonhommes de neige, qui ne lui fournit pas la bonne réponse.

Son score a donc augmenté de deux points car il maîtrise mieux le principe cardinal dans les tâches de dénombrement de patterns aléatoires et linéaires. De plus il produit moins d'erreurs de correspondance externe. Cependant, il obtient des résultats nuls aux trois dernières épreuves. Ces résultats peuvent être expliqués par ses difficultés attentionnelles, mnésiques et dysexécutives. Nous devons cependant préciser que nous émettons des réserves quant à l'hypothèse d'un déficit attentionnel dû à une surcharge cognitive, car nous avons proposé cette passation en deux fois à Mathieu. Il se peut que Mathieu ne sache pas utiliser de façon fonctionnelle le dénombrement car il s'attache trop aux aspects formels de l'item. Il obtient donc un score de sept points, ce qui le place toujours dans la norme des enfants de moyenne section de maternelle mais avec cette fois un pourcentage cumulé au-dessus de la zone à risque (29% au lieu de 22%).

3.2. Conclusion et réponses aux hypothèses de départ

Nous avons reçu treize questionnaires. Parmi les personnes interrogées, seule une personne interrogée estime que le dénombrement n'est pas atteint chez l'enfant I.M.C. Notre étude révèle elle aussi des troubles dans l'exercice du dénombrement chez l'enfant I.M.C. Ainsi les cinq principes de Gelman et Gallistel ne sont respectés totalement chez aucun des enfants (cf tableau ci-dessous comprenant les résultats lors de la pré-évaluation). **Nous validons donc notre première hypothèse.**

Prénom de l'enfant	Déficiences neuropsychologiques	Principe d'ordre stable		Principe d'ordre indifférent		Principe d'abstraction		Principe de correspondance terme à terme		Principe cardinal	
Victor	Mnésique, spatiale, neurovisuelle (coordination oculo-manuelle)			X	O			X	O	X	O
Pierre	Mnésique, spatiale, neurovisuelle, attentionnelle							X	X	X	X
Damien	-langagière, attention visuelle, spatiale, neurovisuelle			O	X			X	X	X	X
Mathieu	Mnésique, spatiale, neurovisuelle	X	O	X	X		X	X	X	X	X
Romain	Mnésique, langagière, neurovisuelle			X	X			X	X	X	X
Marie	Mnésique, spatiale, neurovisuelle, langagière			X	X			O	X	O	X
Louis	Spatiale, neurovisuelle			X				X			
Jérôme	Mnésique, langagière, spatiale, neurovisuelle			X	O					X	X
Nombre d'enfants ne respectant pas ce principe		01/08/12	0/7	3/4	4/7	0/8	1/7	3/4	5/7	6/8	6/7

Tableau I: comparaison entre les principes de Gelman et Gallistel atteints (atteints=X, non atteints =O) lors de la pré-évaluation et ceux atteints lors de la post-évaluation

Le principe d'ordre stable est absent chez un seul sujet lors de la pré-évaluation. Cependant nous notons, contrairement à ce que nous aurions pu penser, que Marie et Pierre qualifiés de dyspraxiques (présentant donc un quotient intellectuel verbal supérieur de vingt points au quotient intellectuel performance) malgré des performances intellectuelles supérieures au niveau verbal (comparable aux résultats obtenus par Bardi et Laquière), qui entraînent en général une certaine facilité à ce niveau, n'affichent pas une meilleure maîtrise de la suite numérique. Nous remarquons que les enfants présentant des troubles visuo-spatiaux importants

ne montrent pas eux non plus de meilleure maîtrise de la suite numérique. Ainsi Pierre, Damien, Jérôme et Marie se trouvent dans une zone inférieure à la norme en comptage. (cf annexe N°12). Outre cette constatation importante, nous notons que les enfants de la population étudiée présentent des niveaux très hétérogènes dans ce domaine. En conséquence, six enfants sur les huit obtiennent des scores inférieurs à la norme. Or, la connaissance de la suite numérique et son énonciation correcte constituent deux besoins fondamentaux à l'exercice du dénombrement. Cette habileté nécessaire à l'application de la procédure de dénombrement n'est donc pas intacte chez l'enfant IMC. Cependant celle-ci se développe grâce à des compétences diverses comme les compétences langagières, mnésiques et attentionnelles. Or chez ces six enfants nous retrouvons parfois les trois difficultés.

Ce constat nous autorise à penser que l'enfant IMC peut présenter une surcharge cognitive. Cette surcharge, engendrée par une mauvaise maîtrise de la suite numérique, ne lui facilite pas l'exercice du dénombrement déjà difficile à cause de difficultés motrices et/ou praxiques. L'énonciation de la suite numérique peut demander plus de contrôle car la chaîne numérique n'est pas bien maîtrisée. Ce manque de maîtrise peut avoir une influence sur la réussite du dénombrement, puisque cette activité requiert cette habileté verbale.

Pour autant, nous remarquons que lors de l'épreuve de dénombrement cette capacité est respectée. Les enfants suivent l'ordre de la suite numérique mais nous ne pouvons savoir quel effort cognitif cela leur demande. Ces difficultés de performance peuvent alors être la résultante de troubles plus globaux. Néanmoins, nous ne pouvons dire que l'enfant I.M.C ne soit pas compétent pour détecter des erreurs dans l'énonciation de la suite numérique. Mais sans entraînement certains auteurs estiment que l'enfant en général ne peut développer les principes de comptage, dont fait partie le principe d'ordre stable et donc acquérir les principes directeurs du dénombrement.

Michel Fayol pense de même pour les autres principes. Pour lui, «les procédures précèdent les principes de comptage» (Michel Fayol, 2012, 91). Or, nous observons que les procédures mises en place par un grand nombre de nos sujets ne peuvent mener en situation de test à un résultat correct. Ainsi, quatre enfants sur sept commettent des erreurs de correspondance externe et recompte les objets en faisant des erreurs malgré l'utilisation d'un pointage gestuel. Trois d'entre eux font des erreurs. Nous pensons qu'elles sont imputables chez Louis,

Pierre et Damien à leurs troubles neurovisuels. Ces troubles sont plus importants chez Pierre et Damien et sont d'ailleurs associés à des difficultés attentionnelles et mnésiques. Ces dernières peuvent de surcroît gêner le pointage.

En ce qui concerne Victor, nous supposons que cette difficulté est engendrée par ses importants troubles mnésiques et par un pointage visuel qui, à l'inverse du pointage gestuel, ne permet pas de faire la différence entre objets déjà comptés et à compter.

Nous admettons que les enfants IMC maîtrisent tous le principe d'abstraction. Néanmoins, le principe d'ordre indifférent est moins bien respecté. Six enfants sur huit ne suivent pas ce principe. Nous avançons ici une explication spatiale car tous les enfants (excepté Romain) présentent des difficultés d'organisation spatiale (Mathieu, Damien, Victor, Jérôme) ou visuo-spatiale (Pierre et Marie). Enfin nous observons, que six enfants sur huit ne disposent pas du principe cardinal lors de la pré-évaluation. Il nous semble que ce non-respect est principalement dû à des défaillances procédurales notamment neurovisuelles. Ces difficultés d'exécution ressortent d'autant plus que le format du test n'est pas adapté à ce type de trouble.

Selon nous, les sujets I.M.C étudiés ne réussissent pas toutes les épreuves de dénombrement car ils ne peuvent maîtriser les habiletés nécessaires à leur réalisation. Leur maîtrise limitée de la suite numérique peut demander un effort cognitif dans l'énonciation. Le pointage, même gestuel, ne permet pas, à cause des difficultés neurovisuelles et spatiales, de bons résultats. Il en est de même lorsqu'il est visuel, car les difficultés neurovisuelles sont d'autant plus handicapantes et les troubles mnésiques peuvent avoir une grande incidence sur ce pointage. La dernière habileté qui concerne la coordination de l'énonciation avec le pointage est donc mise à mal car le pointage est défectueux (correspondance externe). Ce sont donc les troubles neuropsychologiques de l'enfant I.M.C qui empêchent l'exercice de cette procédure et qui ne permettent donc pas l'acquisition des principes. L'application de procédures précédant les principes de comptage ne sont pas ici possibles, ils ne peuvent donc pas développer le principe cardinal. Leurs performances restreintes en situation de test ne veulent pas dire qu'ils n'aient pas la connaissance conceptuelle de ce principe. Ainsi nous remarquons une grande facilité de certains de ces enfants (Pierre, Victor) à réaliser le jeu sur informatique, qui supprime certains de ces facteurs et notamment les troubles neurovisuels. **L'hypothèse numéro deux a donc été en partie vérifiée.**

Pour les autres (Damien et Marie), nous pensons que la difficulté de réalisation est due à un manque de contournement de certains troubles dans le jeu, notamment les troubles mnésiques. En ce qui concerne Mathieu, il nous semble que la difficulté rencontrée dans le jeu est causée par son manque de maîtrise du principe d'ordre stable, qui constitue une base fondamentale à cet entraînement.

Nous observons d'ailleurs que le jeu a permis à certains enfants un exercice facilité de cette procédure car il a supprimé ou diminué certains facteurs incidents (troubles neurovisuels, praxiques, moteurs et attentionnels). Le jeu a alors permis par la suite l'évolution de certains principes du dénombrement (cf tableau IX ci-dessus et partie 3.1). **Cette observation permet de valider en partie notre troisième hypothèse.**

Mathieu, Jérôme, Romain et Victor ont amélioré leur score en dénombrement (cf annexe n°12) suite aux séances de test du matériel. **Ces résultats confirment notre troisième et dernière hypothèse.**

Pour les autres, nous croyons que ce manque d'évolution est due aux procédures qu'ils ont mises en place pour répondre.

- Marie n'a pas changé son résultat, car aujourd'hui elle fait des erreurs de marquage. Ces erreurs ne sont pas annihilées en post-test car l'évaluation reste non adaptée. De plus, comme nous le pensions en fin d'expérimentation, Marie n'a pas évolué dans la maîtrise du principe d'ordre indifférent. Ses difficultés d'exploration spatiale demeurent intactes et ses expériences sur informatique n'ont pas été concluantes.

- Damien a utilisé un pointage visuel lors de la post-évaluation. Nous pensons qu'il a pris confiance en ses capacités visuelles sur informatique où il utilisait peu de pointage gestuel. Mais cette utilisation sur table ne lui permet plus de garder la trace mnésique et ne lui permet pas de répondre. Nous avons noté aussi lors de cette phase un état général particulier de Damien (fatigue, anxiété...).

- Enfin, Pierre ne peut à l'instar de Damien et Marie contourner ses troubles neurovisuels lors des épreuves de dénombrement en post-test, car le support ne s'y prête pas. Il effectue donc des oublis dans son comptage, qui entraînent une stagnation de son score. Et il ne comprend pas ce qu'on attend de lui à l'épreuve de deux collections numériquement équivalentes à cause d'une interprétation erronée de la consigne. Il emploie donc une mauvaise stratégie de résolution.

A partir des observations faites nous pouvons donc confirmer en partie nos hypothèses de départ. L'enfant I.M.C présente réellement des troubles en dénombrement. Le pointage avec la souris suggéré dans le jeu a bien permis à certains enfants d'améliorer leur connaissance des principes du dénombrement (cf tableau IX ci-dessus) . **Notre troisième hypothèse est donc en partie confirmée.** Enfin le jeu créé a facilité l'application de la procédure de dénombrement de certains enfants, ce qui permet de dire que l'enfant I.M.C peut être compétent en dénombrement mais non performant à cause d'habiletés difficiles à maîtriser sur le plan neuropsychologique.

Discussion

1. Rappel du cadre théorique

Le dénombrement est une procédure mathématique complexe. Elle est considérée dans les nouveaux courants théoriques comme déterminante pour l'acquisition du concept de nombre. Les études conduites chez des enfants I.M.C par Bardi, Laquière, Lépine, Camos et al. ont démontré que les sujets I.M.C étaient en difficulté dans l'exercice de cette procédure. Ils avaient en effet des troubles procéduraux correspondant à des difficultés d'énonciation et de double correspondance (interne et externe). Pour les auteurs, ces troubles résultaient de leur difficulté visuo-motrice. Arp et Fagard ont alors pensé à proposer un support informatique pour remplacer le pointage gestuel défaillant par un pointage visuel. Mais elles se sont aperçues que ce pointage ne les aidait pas. Pour autant, selon certains auteurs, les enfants I.M.C connaissent les principes du dénombrement et leur mise en place est possible. Une différence significative entre tâche de jugement évaluant la compétence et tâche de production exploitant la performance n'a cependant pas pu être mise en évidence par Bardi et Laquière chez les enfants I.M.C dyspraxiques de leur population.

Michel Fayol pense que ces principes se développent avec un entraînement. Mais cet entraînement ne permet pas des résultats concordants à l'enfant I.M.C en situation sur table car ses troubles associés perturbent l'accès au résultat juste.

Nous avons pensé comme les auteurs que l'enfant I.M.C pouvait présenter des troubles de cette compétence (**première hypothèse**).

Il nous a paru intéressant de proposer un support informatique. L'utilisation de l'outil informatique devait alors faciliter la procédure de dénombrement davantage mise en échec lors des situations sur table (**deuxième hypothèse**). Le pointage avec la souris pouvant pallier leurs difficultés visuo-motrices et leur pointage gestuel défaillant (**troisième hypothèse**). Ce pointage devait alors être une étape vers l'abstraction et la conceptualisation du nombre.

2. Rappel des principaux résultats

Les réponses obtenues à notre questionnaire et l'étude effectuée chez sept enfants I.M.C et un enfant I.M.O.C ont révélé, elles aussi, des troubles procéduraux. A l'instar des études déjà effectuées sur le sujet, elle confirme que les enfants I.M.C

présentent plus de difficultés dans les exercices évaluant le principe d'ordre indifférent, le principe de correspondance terme à terme et le principe de cardinalité.

L'utilisation du jeu a facilité la procédure de dénombrement. Ce constat prouve bien que certains enfants I.M.C ne sont pas performants dans les tâches de production classiques, mais connaissent pourtant les principes directeurs, car une fois les facteurs réduisant leurs performances supprimés, ils se révèlent compétents. Pierre et Victor ont ainsi été très performants une fois leurs difficultés neurovisuelles palliées par le support informatique et par le déplacement du curseur automatique, qui contourne les erreurs de pointage gestuel ou visuel. Nous avons de plus observé des évolutions positives des connaissances des principes du dénombrement chez Romain, Jérôme et Mathieu après avoir utilisé le jeu. Un entraînement facilité des procédures a pu permettre l'émergence ou le renforcement de certains principes directeurs. Nous pensons donc que le pointage avec la souris et l'utilisation de ce support peuvent engendrer une conceptualisation du nombre (hypothèse deux validée).

Damien et Marie n'ont pas de meilleurs scores lors de la post-évaluation, et n'ont pas semblé éprouver de grandes capacités sur informatique, a contrario de Pierre qui sans augmenter son score réussissait facilement les exercices proposés.

Face au score inchangé de Marie, plusieurs hypothèses peuvent être émises. La première est liée à la forme du test, qui identique reste inadaptée à ses troubles visuo-spatiaux. Marie commet alors une erreur de correspondance au premier item, et par la suite semble avoir conscience de cette erreur car elle recompte pour répondre à la question sur la cardinalité (item des lapins). Nous pensons en outre, que Marie ne réussit pas l'item évaluant le principe d'ordre indifférent car elle ne s'est pas suffisamment entraînée sur informatique. Or, le support informatique permet de remédier aux troubles visuo-spatiaux et d'acquérir une assurance sur ce principe, à l'inverse le support papier du test ne fait pas abstraction de ses difficultés spatiales.

Pour Damien, nous évoquons aussi plusieurs explications possibles, la première étant son état général ce jour-là. En d'autres circonstances, ses performances étaient meilleures. De plus, nous pensons qu'une prise de confiance en ses capacités visuelles dues au jeu, où son pointage gestuel était non nécessaire, a entraîné d'importantes erreurs de correspondance et a pu semer le doute dans son esprit.

Nous pouvons donc valider en partie nos hypothèses concernant le jeu. Notre troisième hypothèse étant vérifiable chez quatre enfants où une augmentation des scores en post-test a été notée, nous nuancions donc cette validation.

3. Réflexions sur les objectifs fixés

Nous reconnaissons certaines limites à notre matériel :

- Comme beaucoup de logiciels, il nécessite pour être utilisé une configuration minimum (cf annexe n°13 pA35). En outre, il n'est pas simple d'utilisation dans la mesure où les exercices ne peuvent aujourd'hui se suivre directement (retour sur la page d'accueil).
- Il n'a pas pu offrir de contournement aux troubles mnésiques des enfants I.M.C. Ceci peut expliquer en partie, que Damien et Marie n'aient pas pu pleinement exploiter le jeu, et aient donc obtenu un score identique ou inférieur en dénombrement lors de la post-évaluation.
- L'exercice quatre n'est pas adapté aux troubles moteurs importants. L'utilisation de la souris étant incontournable (pour le moment), les enfants avec une motricité réduite aux membres supérieurs tel que Romain n'ont alors pas pu s'entraîner aisément au principe d'ordre indifférent.
- Il ne fournit aujourd'hui pas suffisamment d'aides à l'enfant dans la résolution des exercices (file numérique, collections de dés...).
- Il n'offre pas beaucoup d'exercices pour chaque principe et ne permet pas de grande progression en difficulté pour chacun d'eux.

4. Critiques et problèmes rencontrés

4.1. Une étude pilote

Notre étude peut être qualifiée «d'étude pilote». Plusieurs arguments nous conduisent à la qualifier ainsi. Le premier étant que nos réponses aux questionnaires ne sont pas assez nombreuses pour être représentatives, bien que nous ayons reçu la moitié des questionnaires envoyés. Nous ajouterons que nos sujets sont peu nombreux, et ne peuvent être donc caractéristiques de la population globale des enfants I.M.C. Les observations retenues ne concernent qu'une partie de la population des enfants I.M.C (âgés entre six et dix ans avec des troubles neurovisuels), et se rapportent à des enfants qui sont eux mêmes différents.

En outre, nous la confirmons à partir d'un seul test. Il nous semble intéressant dans une étude ultérieure d'utiliser un deuxième type de test. Celui-ci pourrait permettre de comparer les résultats et aussi de s'intéresser plus aux aspects logiques et raisonnements, préservés chez l'enfant I.M.C. Ces compétences logiques peuvent d'ailleurs venir confirmer que l'enfant I.M.C est compétent, puisque certains principes reprennent des compétences exploitées dans des tests davantage fondés sur les aspects logiques du nombre. De plus, nous avons respecté la passation contenue dans le test. Nous avons donc énoncé les consignes telles qu'elles l'étaient dans le manuel. Certaines de ces consignes nous ont parfois gênées lors de l'analyse de nos résultats. Ainsi, la consigne de l'item 2D1 correspondant à l'épreuve intitulée «construction de deux collections numériquement équivalentes» nous dérange, car nous avons la sensation que si elle avait été formulée autrement, en employant par exemple le terme «pareil» à la place de «même nombre», les résultats de certains enfants auraient pu être meilleurs. Pierre, par exemple a été évalué en décembre par son orthophoniste avec l'UDN II de Meljac et Lemmel, dans ce test certaines épreuves de conservation sont proposées et Pierre les a toutes réussies. Conservant, il ne parvient pourtant pas à réaliser correctement cet item du TEDI-MATH. Il nous semble que la formulation de la consigne l'a conduit à l'erreur. Il aurait pu être compétent avec une reformulation de cette dernière.

Notre première hypothèse est donc validée chez ces sujets testés avec cette évaluation et chez les professionnels interrogés.

4.2.Critiques méthodologiques

Concernant ces évaluations nous émettons aussi quelques critiques d'ordre méthodologique.

Nous n'avons pas pu présenter de matériel adapté dans leur forme aux enfants I.M.C. L'évaluation du dénombrement et les résultats récoltés, comparés à ceux des séances avec le jeu nous amènent à penser que cette présentation n'évalue pas forcément la compétence de l'enfant dans le domaine, car trop de facteurs globaux viennent agir sur la performance. Nous n'avons pas réadapté ce test aux troubles neurovisuels mais nous avons gardé à l'esprit que la forme de présentation du TEDI-MATH n'aidait pas les enfants qui ont des troubles visuo-spatiaux. Nous n'avons pas changé le test car l'étalonnage aurait alors été faussé. En revanche, les épreuves de

dénombrement de patterns linéaires et aléatoires ont été présentées sur un support vertical pour faciliter la perception des images.

Pour les autres passations, nous avons dû parfois remanier la présentation du test. En effet sans ces adaptations, certains enfants n'auraient pas pu effectuer les épreuves. Nous avons agrandi les images du TVAP-F. Les tâches d'attention visuelle et d'attention divisée de l'ANITEST consistant en partie en un barrage de cibles ont été proposées en «dictée à l'adulte», c'est-à-dire que Louis, Mathieu et Romain par exemple très gênés dans les tâches de graphisme nous ont indiqué quand nous devions barrer les cibles. De surcroît, ce test a été réalisé à des périodes différentes de l'année selon les enfants. Ainsi, les plus jeunes (Jérôme et Damien) qui n'entraient pas dans les âges d'application du test durant la phase de pré-évaluation, ont répondu aux items de l'ANITEST en mars. Jérôme avait alors sept ans trois mois, et Damien sept ans. Malgré cette non-correspondance des âges de nos sujets avec ceux du test, nous avons proposé l'ANITEST, car il était présent chez une de nos maîtres de stage et il avait l'avantage de présenter une épreuve d'attention divisée entre deux modalités (auditive et visuelle). Les autres tests présents sur nos lieux de stage tels que la Nepsy ne proposait pas cette épreuve. Enfin, les tests évaluant l'attention disponibles sur le marché n'ont pas pu nous être prêtés. Nous aurions pu nous déplacer au cabinet d'une neuropsychologue qui nous recevait gracieusement, mais les parents des deux enfants n'ont pas accepté ce déplacement. Néanmoins, nous notons chez ces deux enfants des résultats suffisamment éloignés du score pathologique ou dans ce seuil de pathologie pour nous conduire à penser qu'il en aurait été de même avec un test tel la TIF adapté à leurs âges.

Nous avons aussi utilisé le TVAP-F et la NEEL pour évaluer les enfants, car ces tests répondaient à nos objectifs d'évaluation mais nous reconnaissons que leurs âges d'application étaient trop réduits pour les présenter à certains sujets de notre population. Les scores de Romain aux épreuves sont cependant suffisamment éloignés de la norme pour nous conduire à penser qu'il en aurait été de même avec des tests plus adaptés. En ce qui concerne Pierre, nous reconnaissons une limite à notre pré-évaluation, cependant pour faciliter la comparaison avec les autres sujets nous avons maintenu ce choix de matériel d'évaluation.

Pour terminer avec les évaluations nous reconnaissons aussi des divergences dans le contexte de passation (lieu et jours) entre les sujets. Ces évaluations ont

alors parfois été plus délicates à réaliser lorsqu'il s'agissait du domicile du patient (bruit alentour etc), ou qu'il s'agissait de la fin de la semaine.

Les enfants I.M.C étant fatigables, nous nous sommes aussi adaptées, dans la mesure du possible, à leur état et quelquefois une évaluation a été terminée en plusieurs séances.

4.3. Problèmes rencontrés

Nous avons eu quelques difficultés à trouver notre population d'enfants I.M.C au sens de monsieur Tardieu et dans les critères d'âges et de troubles que nous nous étions fixés. Il nous a alors fallu faire des concessions, car dans les services où nous nous sommes adressées, beaucoup d'enfants qui auraient pu entrer dans nos critères n'ont pas souhaité participer. La raison principale était un emploi du temps déjà très chargé. Certains thérapeutes ont eux aussi été contre l'ajout de séances à l'emploi du temps déjà important de leur patient. Nous avons donc accepté d'inclure Marie, tout en sachant que nos rencontres se feraient obligatoirement durant les vacances, car sa maman acceptait de participer à cette condition. La fréquence de nos séances et notamment des séances de présentation du jeu a été dans la mesure du possible régulière avec les autres enfants. Seule Marie a pu utiliser le jeu de manière plus intensive durant les vacances de février (la première semaine car la deuxième semaine Marie avait des rendez-vous médicaux et partait en vacances avec son papa). Pour les autres enfants, nous avons respecté ce rythme de séances dans la mesure du possible, car il est arrivé parfois que les enfants aient des rendez-vous médicaux les jours où nous devions les voir. Et nous avons dû aussi nous adapter à la courte absence de l'orthophoniste de Pierre et Damien. Le nombre de séances a donc été différent selon les enfants pour diverses raisons.

Marie n'a été vue que trois fois en février car c'est à cette date que notre jeu était prêt à être utilisé. Pierre et Victor ont essayé le jeu trois fois. Ce nombre de séances nous a paru suffisant dans leur cas car ils ont réalisé facilement les exercices proposés. Il nous a donc semblé peu intéressant dans la mesure où notre matériel ne proposait pas plus de progression de continuer à leur présenter. Damien, Jérôme, Romain et Mathieu l'ont utilisé quatre fois. Ce nombre de séances reste limité mais nous déplorons n'avoir pu en proposer davantage dans le temps restant et imparti.

Nous reconnaissons que notre jeu a pu améliorer les compétences en dénombrement et comptage de quelques enfants. Mais nous savons aussi qu'il n'est

pas envisageable de penser que celui-ci soit le seul à l'origine de cette évolution. En effet, nous n'avons pas comparé les résultats des enfants à ceux d'une population contrôle d'enfants I.M.C. Cet aspect nous semblait difficile à respecter étant donné notre difficulté à trouver des enfants I.M.C au sens strict pour constituer notre population cible, difficulté qui nous a d'ailleurs conduits à intégrer Mathieu, enfant IMOC, à notre population. De plus nous pensons qu'il aurait été difficile de trouver des enfants correspondants en tous points aux enfants de notre population, tant ces enfants peuvent présenter des troubles associés très variés et des degrés d'atteinte différents. Par conséquent, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse que cette évolution puisse être attribuée aux prises en charge prodiguées parallèlement à l'entraînement sur le jeu. Ainsi, n'ayant pas de population I.M.C témoin, nous ne pouvons certifier que les rééducations notamment logico-mathématiques suivies par certains des enfants (Marie: rééducation orthophonique et Mathieu: atelier sur les pré-requis avec l'orthophoniste) n'aient influé sur les résultats obtenus.

5. Apports de ce travail

5.1 Apports de ce travail au domaine de l'orthophonie

Notre travail a permis de créer un matériel innovant. Celui-ci enrichit le stock de matériel à disposition des orthophonistes pour la rééducation de la dyscalculie. Il nous semble aussi adapté aux troubles d'apprentissage des mathématiques résultant de pathologie sous-jacente (trouble de l'attention, handicap).

Il propose de contourner les troubles neurovisuels, moteurs et attentionnels de l'enfant I.M.C afin que celui-ci puisse obtenir des représentations quantitatives concordantes et puisse construire en partie le concept de nombre. Nous pensons avoir réussi à atteindre notre objectif car les orthophonistes qui ont expérimenté le matériel à nos côtés ont trouvé qu'il répondait à un manque et ont reconnu qu'il permettait de rééduquer la compétence en dénombrement, et certains résultats obtenus à la post-évaluation nous conduisent aussi à le penser.

5.2. Apports personnels de ce travail

Ce mémoire nous a permis de nous rendre compte de la fatigabilité de l'enfant I.M.C. Il nous a permis de nous confronter à certains troubles associés dans cette pathologie et parfois de les découvrir. Nous avons pu échanger avec les familles de ces enfants et nous nous sommes aperçus des difficultés d'intégration que pouvaient

vivre les enfants, mais aussi de l'importance que pouvaient revêtir les troubles d'apprentissage dans l'évolution de leur scolarité. Nous avons appris à mener un projet à long terme et à gérer un emploi du temps de rééducation partagée entre les stages et le mémoire. Nous avons établi des contacts et eu des échanges riches dans le cadre du mémoire avec de nombreux professionnels : psychologue, psychomotricien, ergothérapeutes, neuropsychologue, médecins, orthoptistes. Nous avons pris d'autant plus conscience du caractère global de ces prises en charge. La participation à des réunions de synthèse, la communication des résultats aux équipes (rédaction de courriers pour les médecins spécialistes) et familles intéressées, ainsi que la lecture de compte-rendus ou projets thérapeutiques rédigés par différents professionnels ont été aussi très instructifs. Enfin la rencontre avec des orthoptistes spécialisées en neurovision a été passionnante car nous avons pu découvrir sur le terrain cette spécialité de façon pratique.

6. Ouvertures

Au vu des résultats obtenus nous envisageons possible ce type de rééducation pour certains enfants I.M.C. Certaines adaptations sont encore à conduire pour contourner les troubles associés de l'enfant I.M.C. Une fois ces facteurs pris en compte dans le jeu nous pourrions envisager de proposer ce matériel à des enfants tout venant qui présentent des difficultés mnésiques tels que Mélissa. Il est intéressant de constater que des troubles de cette procédure peuvent exister aussi dans la population d'enfants tout-venant exempte de déficiences motrices. L'influence des facteurs mnésiques dans la procédure de dénombrement pourrait être davantage étudiée chez la population d'enfants I.M.C mais aussi chez la population d'enfants tout-venant.

Nos résultats confirment l'intérêt des aménagements visuo-praxiques proposés dans la rééducation de cette procédure. Chaque enfant étant différent, il peut être cependant intéressant d'évaluer les différents facteurs pouvant influencer leurs résultats en dénombrement avant de leur proposer ce matériel, afin de décider s'il vaut mieux effectuer un passage direct au nombre avec cet enfant ou bien lui proposer un matériel adapté aux facteurs associés.

Les études longitudinales conduites chez des enfants I.M.C (Meljac C., 1979, De Barbot F. *et al*, 1989) ont confirmé l'importance de la maîtrise du dénombrement pour la réussite scolaire et mathématique future de ces enfants. Notre étude est

transversale mais elle a cependant permis de montrer l'efficacité relative de notre matériel. Dans les prochaines études, il pourrait être intéressant de continuer à perfectionner ce matériel ou d'en créer d'autres afin d'agrandir le stock de matériel sur informatique à destination des enfants I.M.C. (évaluation des troubles logico-mathématique par exemple).

Conclusion

Le dénombrement est une compétence, qui contribue au développement du concept de nombre. Les études antérieures conduites sur le dénombrement chez l'enfant infirme moteur cérébral ont révélé la présence de troubles du dénombrement. Ces troubles procéduraux ont des répercussions sur le développement des autres structures logico-mathématiques et sur la réussite scolaire et mathématique de l'enfant I.M.C.

Partant de ce constat théorique, nous avons vérifié sur le terrain l'existence de telles difficultés. Le questionnaire réalisé et l'évaluation de sept enfants I.M.C et un enfant I.M.O.C avec le TEDI-MATH, ont permis de confirmer leur présence chez l'enfant I.M.C. Avec l'étude du matériel existant, ils ont justifié l'intérêt de notre création sur informatique. Ce jeu sur informatique devait alors permettre de contourner les difficultés neurovisuelles, attentionnelles, praxiques, motrices et mnésiques de l'enfant. L'utilisation de l'outil informatique devait alors faciliter la procédure de dénombrement, davantage mise en échec lors des situations sur table. Les aménagements mis en œuvre au sein du matériel comme le pointage, facilité grâce au curseur devait être une étape intermédiaire vers l'abstraction et la conceptualisation du nombre.

Notre travail conduit auprès de huit enfants âgés de six à dix ans a montré que le matériel avait apporté des aides à l'enfant I.M.C. Ces aides ont été efficaces car elles ont supprimé les erreurs procédurales, et ont mis en exergue que l'enfant I.M.C pouvait être compétent en dénombrement, sans être performant à cause de ses troubles neurovisuels. Quatre de ces enfants ont pu développer des compétences en dénombrement suite à un entraînement sur le jeu. Ces éléments ont pu être démontrés grâce au comparatif effectué entre la pré-évaluation et la post-évaluation de ces sujets. Certains exercices évaluant des principes souvent échoués par l'enfant I.M.C dans les études (principe d'ordre indifférent , principe cardinal...) ont ainsi pu être mieux réalisés en post-test.

L'enfant I.M.C peut avec un matériel adapté à ses troubles globaux accéder à la représentation quantitative du nombre et s'exercer à la procédure de dénombrement, préalable pour certains auteurs au développement des principes directeurs du comptage.

L'étude effectuée en parallèle chez cinq enfants de cours préparatoire pour valider le jeu a démontré que le dénombrement n'était pas un exercice évident à mettre en place même chez les enfants tout-venant, notamment chez ceux avec des

difficultés mnésiques. Il pourrait être intéressant dans une étude ultérieure de développer davantage l'influence de ces aspects dans le dénombrement. De même il pourrait être intéressant d'évaluer les résultats entre les deux types de rééducation sur le dénombrement (passage direct au nombre ou exercices adaptés) proposées aux enfants I.M.C dans l'accès à l'invariance du nombre et à sa représentation quantitative.

Bibliographie

Ouvrages imprimés

- AMIEL-TISON C. (1997), *L'infirmité motrice d'origine cérébrale*, Paris: Masson.
- AUFERIL H., DE BARBOT F., LE METAYER M., LEROY-MALHERBE V., MAZEAU M., THUILLEUX G., coordonné par TRUSCELLI D. (2008), *Les infirmités motrices cérébrales: réflexions et perspectives sur la prise en charge*, Issy Les Moulineaux: Masson.
- BACQUET M., GUERITTE-HESS B.(2009), *Le nombre et la numération- Pratiques de rééducation*, Montreuil: Editions du Papyrus.
- BARUK S. (2003), *Comptes pour petits et grands: pour un apprentissage du nombre et de la numération fondé sur la langue et le sens*, volume 1, Paris: Magnard.
- BIDEAUD J., MELJAC C., FISCHER J.-P. (1991), *Les chemins du nombre*, Lille: Presses universitaires de Lille.
- BRISSIAUD R. (1997), *Comment les enfants apprennent à calculer*, Paris: Retz
- BRISSIAUD R., BOULARD C., OUZOULIAS A., RIOU M. (2011), *J'apprends les maths, l'album à calculer, cycle des apprentissages grande section maternelle fondamentaux*, Paris: Retz.
- DE BARBOT F., MELJAC C., TRUSCELLI D., HENRI AMAR M. (1989), *Pour une meilleure intégration scolaire des enfants I.M.C: l'importance des premiers apprentissages en mathématiques*, Evry: publications du CTNERHI diffusion P.U.F.
- CAMPOLINI C., TIMMERMANS A., VANDSTEELANDT A. (2002), *Dictionnaire de la logopédie. La construction du nombre*, Louvain: Peeters Leuven.
- CROUAIL A. (2009), *Réduquer dyspraxie et dyscalculie-Méthode pratique pour l'enseignement des mathématiques*, Liège: Masson.
- CROUAIL A, MARECHAL F., Préface de BARBOT F. (2006), *Prise en charge globale de l'enfant cérébro-lésé*, Paris: Masson.
- DAFFAURE V., GUEDIN N.(2011), *Construction et utilisation du nombre: outils d'aide pour des élèves en difficulté d'apprentissage*, Marseille: Solal
- FAYOL M. (2012), *L'acquisition du nombre*, Paris: Presses universitaires de France.
- LE METAYER M. (1993), *Rééducation cérébro-motrice du jeune enfant, éducation thérapeutique*, Paris:Masson.
- MAZEAU M. (1997), *Dysphasies, troubles mnésiques, syndrome frontal chez l'enfant: du trouble à la rééducation*, Paris: Masson.
- MAZEAU M. (2000), *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant*, Paris: Masson.

MAZEAU M.(2005),*Neuropsychologie et troubles des apprentissages: du symptôme à la rééducation*, Paris: Masson.

MAZEAU M. (2008), *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*, Paris: Masson.

MAZEAU M., LE LOSTEC C. (2010), *L'enfant dyspraxique et les apprentissages, coordonner les actions thérapeutiques et scolaires*, Paris:Masson.

MELJAC C.(1979), *décrire, agir et compter: l'enfant et le dénombrement spontané*, Paris:PUF, pédagogie d'aujourd'hui.

NOEL MARIE-PASCALE (2005), *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant*, Marseille: Solal.

PESENTI M., SERON X.(2000), *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*, Marseille: Solal.

PIAGET J. (1991), *La Genèse du nombre chez l'enfant*, Lausanne: Delachaux et Niestlé.

VAN HOUT A., MELJAC C., FISHER J-P. (2005), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Paris: Masson.

Chapitre dans un ouvrage

BOUCART M., NAÏLI F. (2005) «Reconnaissance implicite et explicite en vision périphérique» in Coello Y., Casalis S., Moroni C.*Vision, espace et cognition : fonctionnement normal et pathologique*, Lille 3: Presses universitaires du septentrion: 13-29.

GILLET P., HOMMET C., BILLARD C. (2000)«Le calcul et ses troubles» in Gillet P., Hommet C., Billard C. (ed.), *Neuropsychologie de l'enfant*, Marseille: Solal, 89-99.

SERON S. (1993) «Trois illustrations: les troubles du calcul et du traitement des nombres» in Seron X., *La neuropsychologie cognitive*, Paris: Presses Universitaires de France: 67-83.

Revue imprimées:

Sous la direction de NICOLE DENNI-KRICHEL (mars 1998), l'infirmité motrice d'origine cérébrale, *rééducation orthophonique*, n°193

Sous la direction de MICHEL FAYOL (septembre 1999), les activités logico-mathématiques, *rééducation orthophonique*, N°199.

Travaux universitaires:

BARDI A., LAQUIERE C. (1996), *De la performance à la compétence dans le dénombrement de collections chez cinq dysphasiques et cinq dyspraxiques*. Mémoire d'orthophonie, Université Paris VI.

DUSMAN BENEDICTE, (1994), *L'enfant I.M.C. et les opérations logico-mathématiques, à partir d'études cliniques observation et comparaison des procédures mises en place selon les différentes typologies*, Mémoire d'orthophonie, Université de Lille II.

Articles de périodiques imprimés:

AUBRY M. J., FRANCIS C., FRANCIS M., TSIMBA V. (septembre 2002), «La conjugaison des yeux au présent de l'I.M.C.», *Motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement*, tome 23, n°3, 126-136.

BOUDIA B. (mars 2011), «Evaluation neuropsychologique de l'enfant dyspraxique: intérêt des données issues de la psychométrie», *approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant (A.N.A.E)*, n°111, vol 23 , 17-18.

CANS C.(2005),«Epidémiologie de la paralysie cérébrale («Cerebral Palsy» ou CP)», *Motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement*, tome 26, n°2, 51-58.

- DUQUESNE F., GAREL J.-P.(2004), «Enseigner à des élèves présentant une dyspraxie visuo-spatiale, Illustrations en mathématiques et en EPS», *la Nouvelle Revue, NRAIS*, n°27, 3e trimestre, 53-66
- GONZALEZ-MONGE S., MARIGNIER S. (mars 2011), «La dyspraxie de l'enfant: introduction», *approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant (A.N.A.E)*, n°111, vol 23 ,17-18.GONZALEZ-MONGE S., MARIGNIER S.(mars 2011), «La dyspraxie chez l'enfant: évolution et multiplicité des concepts», *approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant (A.N.A.E)*, n°111, vol 23, 19-29.
- JACQUIER M. –T. (2010), «Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé», *Motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement*, tome 31, n°2, 45-59.
- LAPORTE-MANY M. (2004), «Champs d'application pratique de l'orthoptie dans le domaine de l'éducation thérapeutique des enfants IMC» , *Motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement*, tome 25, n°2, 74-85
- LE METAYER M. (2010), «Qu'en est-il de l'examen clinique en infirmité motrice cérébrale (paralysie cérébrale)? Quelles perspectives rééducatives?», *motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement* , n°4 déc, vol 31, 152-163.
- LEROY-MALHERBE (2005), «Colloque«Regard et vision, Lille, septembre 2004», *Motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement*, tome 26, n°3, 111-115.
- MENISSIER A. (2010 a.)«Piaget d'hier et d'aujourd'hui. 1ière partie Piaget d'hier.», *L'orthophoniste*, n° 297, 19-26.
- MENISSIER A. (2010 b.)«Piaget d'hier et d'aujourd'hui. 2ième partie: Piaget d'aujourd'hui.», *L'orthophoniste*, n°299, 19-26.
- RUBNSTEIN O. (2009), «Peut-on caractériser davantage la distinction entre les dyscalculies développementales pures et avec comorbidité», *approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant (A.N.A.E)*, tome 2, vol 21, 158-164.
- TRUSCELLI D. (2005),«Rapport de congrès. Notes sur les quatrièmes journées de formation,Lyon, 17-18 mars 2005:Du bilan neuropsychologique aux démarches pédagogiques». , *Motricité cérébrale, réadaptation neurologie du développement*, tome 26, n°3, 116-118.

Articles de périodiques électroniques :

- ARP S. , FAGARD J. (2001) «Habilité visuo-manuelle et utilisation du doigt dans le comptage chez l'enfant I.M.C»in: *arobase* ,[consulté le 20/11/11 <http://www.univ-rouen.fr/arobase/v5/arp.pdf>]

- BARRAY V., BOURRELIS C., D'HEILLY N, LACERT P. (1999) «Dyspraxie constructive de l'ancien prématuré IMC. Résultat thérapeutique au long cours à propos de 13 enfants.» in: *Les Annales de Réadaptation de médecine physique* (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016860549980035X>),42, (consulté le 10 octobre 2011)
- BARRAY V, CAMOS V.,PICAR A (2008). «Etude comparative de la dyspraxie: évaluation neuropsychologique d'enfants porteurs d'une dyspraxie développementale ou consécutive à la prématurité.» in: *Les Annales de Réadaptation de médecine physique*,vol 51 N°3, [consulté le 20 septembre 2011: <http://www.em-consulte.com/article/148733>]
- DESPRELS-FRAYSSE A. (1987). «Notion de quotité chez des enfants de 3 à 8 ans». *L'année psychologique*, vol. 87, n°1, 29-43 [consulté le 18 mai 2011: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_00035033_1987_num_87_1_29182 .]
- DUQUESNE F. (2003). «L'ECPN des situations problèmes pour évaluer les principales fonctions du nombre», *glossa* n°83, 4-18, [consulté le 12 avril 2011: http://www.ash.edres74.acgrenoble.fr/IMG/pdf/ECPN_Duquesne_developpement_cognitif_et_activites_mathematiques.pdf].FAYOL M. (1985).«Note de synthèse». *Revue française de pédagogie*, vol 70 p59-77 [consulté le 1 novembre 2011: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rfp_0556_807_1985_num_70_1_1553].
- FISCHER J.-P.(1993).«De quelques notions clés concernant l'acquisition du nombre, *Faits de langue*», vol.1, n°2 [consulté le 25 mai 2011: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/flang_1244-5460_1993_num_1_2_1294].
- VAN NIEUWENHOVEN C. (1996). «Le comptage et la cardinalité, deux apprentissages de longue haleine qui évoluent en interaction», *Revue des sciences de l'éducation*, vol. 22, n° 2 [consulté le 18 mai 2011 : <http://www.erudit.org/revue/rse/1996/v22/n2/031882ar.pdf>].
- VILLETTE B. (1994). «Des processus de quantification à la cardinalité.», *L'année psychologique*, vol 94 p25-44 [consulté le 18 mai 2011: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_0003-5033_1994].

Sites web consultés

- L'enfant atteint d'infirmité motrice cérébrale. [site consulté le 28 octobre 2011, <http://imm.univ-lyon1.fr/internat/download/item51c.pdf>].
- site de l'association des paralysés de France , [site consulté le 4 avril 2011, <http://www.apf.asso.fr/>].

L'imc du dr Véronique Leroy Malherbe, [sites consultés le 26 octobre 2011, http://www.imc.apf.asso.fr/IMG/pdf/imc_Leroy.pdf et http://www.med.univ-rennes1.fr/sisrai/art/infirmite_motrice_cerebrale_p._139-148.html].

Les dyscalculies de l'enfant I.M.C, [site consulté le 3 avril 2011, http://francoiseduquesne.free.fr/theme3/Les_dyscalculies_de_lenfant_IMC_Nancy.pdf].

Les pathologies neuro-visuelles de l'enfant cérébro-lésé à propos de quatre cas [site consulté le 3 avril 2011, <http://www.em-consulte.com/article/113135/resultatrecherche/4>]

Présentation de la DYSPRAXIE VISUO-SPATIALE PROPOSITION d'aides [site consulté le 16/04/2011, http://www.coridys.asso.fr/pages/base_doc/dyspraxie.pdf].

Des outils pour faciliter les activités scolaires d'élèves présentant un handicap moteur, des difficultés d'organisation gestuelle et /ou neuro-visuelles [site consulté le 16 août 2011, http://www.coridys.asso.fr/pages/Aide_enfants/outilsfacilitateur.pdf].

Notion théorique: le dénombrement: écrit par Valérie Camos [site consulté le 20 août, <http://www.uvp5.univ-paris5.fr/tfm/AC/AffFicheT.asp?CleFiche=1102&Org=QUTH>].

Déficiences motrices et handicap: caractéristiques générales et prise en charge [site consulté le 24 avril 2011, <http://apfthionville.pagesperso-orange.fr/pdf/deficmotricesenfa.pdf>].

Nombre, numération et dénombrement: que sais-t-on de leur acquisition ? [site consulté le 3 avril 2012, http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/revue-francaise-de-pedagogie/INRP_RF070_7.pdf].

Rééducation des compétences en logico-mathématiques d'enfants présentant une dyspraxie visuo-spatiale, [site consulté le 17 janvier 2011, <http://ddata.over-blog.com/0/33/85/55/pdf/Log-math---dyspraxie-vissuospatiale.pdf>].

La construction du nombre chez les jeunes enfants infirmes moteurs cérébraux atteints de dyspraxie visuo-spatiale, [site consulté le 13 janvier 2011, <http://membres.multimania.fr/caapsais/memoire/laurence.html>].

Congrès:

Colloque organisé par orthoéditions (Lille), Faculté de médecine pôle recherche (Lille), Institut d'orthophonie Gabriel Decroix (2011), *Difficultés d'apprentissage en calcul. Vers une convergence des références théoriques et prises en charge?*, Actes du colloque organisé par orthoéditions, Lille: Institut d'orthophonie.

Liste des annexes

Liste des annexes :

Annexe n°1 : Modèles théoriques du dénombrement.

Annexe n°2 : Modèle triple code de Dehaene et Coehn.

Annexe n°3 : Grands tableaux cliniques de l'infirmité motrice cérébrale.

Annexe n°4 : Comparatif effectué sur les logiciels.

Annexe n°5 : Questionnaire vierge.

Annexe n°6 : Déficiences neuropsychologiques des enfants I.M.C.

Annexe n°7 : Résultats des enfants de la population contrôle au test.

Annexe n°8 : Résultats des enfants I.M.C. à l'E.C.O.S.S.E, le TVAP-F, l'ANITEST et la N.E.E.L.

Annexe n°9 : Présentation du TEDI-MATH.

Annexe n° 10 : Tableau d'observation d'une séance.

Annexe n° 11 : Tableau recueil de l'avis des enfants.

Annexe n°12 : Scores des enfants I.M.C au TEDI-MATH.

Annexe n° 13 : Configuration informatique requise pour utiliser le jeu.