Université de Lille 2 DROIT ET SANTÉ

FACULTE DE MEDECINE Université Lille 2 HENRI WAREMBOURG

Institut d'Orthophonie Gabriel DECROIX

MEMOIRE

En vue de l'obtention du

Certificat de Capacité d'Orthophonie

présenté par :

Laura MAGNAN

soutenu publiquement en juin 2015 :

« Mathémagic »

Création d'un matériel de manipulation visant à améliorer la compréhension des problèmes arithmétiques chez des enfants de CM1 et CM2.

MEMOIRE dirigé par :

Monique BEDNAREK, Orthophoniste, Evin-Malmaison

Lille – **2015**

A mon grand-père paternel.

Remerciements

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la rédaction de ce mémoire :

Ma maître de mémoire, Mme Bednarek, pour avoir accepté de diriger mon mémoire, ainsi que pour l'aide et le soutien qu'elle m'a apportés tout au long de mon travail.

Mes maîtres de stage, Mme Bertet, Mme Loste ainsi que Mme Pourre pour m'avoir accueillie et formée tout au long de cette année.

Les patients qui ont participé à mon étude ainsi que leur famille, pour leur aide précieuse et leur implication dans mon travail.

Mmes Petit, Leprêtre, Bertet et Mlle Delplancq pour m'avoir présenté différents patients susceptibles de pouvoir intégrer mon étude.

Mlle Moitrel pour son aide, ses nombreux conseils et son soutien.

Mr Ascione pour sa participation aux illustrations du matériel.

Enfin, ma famille, mes amis et mon compagnon pour leur soutien et leur aide au cours de ces 4 années.

Résumé :

La prise en charge des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique est de plus en plus répandue en orthophonie. C'est un domaine vaste et moins étudié que d'autres comme le langage écrit. Nous avons décidé d'approfondir la question de la résolution des problèmes arithmétiques car elle est l'objet de nombreuses plaintes. Nous avons ciblé notre étude chez des enfants scolarisés en classe de CM1-CM2.

Ainsi, nous avons créé un matériel de rééducation afin de travailler autour des différents types de problèmes additifs et multiplicatifs (hors division) en nous appuyant sur les classifications développées par Vergnaud (1982, 1991), Riley (1983) et Ménissier (2011). Nous l'avons proposé à sept enfants scolarisés en classe de CM1 et CM2 présentant des difficultés de calcul et du raisonnement logico-mathématique.

Par l'intermédiaire d'évaluations initiales et finales ainsi que d'observations au cours de six séances autour de notre matériel, une progression des enfants a pu être observée.

Mots-clés :

Orthophonie – Enfant – Dyscalculie – Rééducation – Problèmes arithmétiques

Abstract :

The management of mathematical disorders and logical-mathematical thinking is increasingly common in speech therapy. It is a vast field but less studied than others, such as the written language for example. We decided to explore the issue of solving arithmetic problems because it is the subject of a lot of complaints. We have focused our study in school children from CM1-CM2 classes.

Thus, we created a rehabilitation equipment to work out the different types of additive and multiplicative problems (excluding division) by relying on classifications developed by Vergnaud (1982, 1991), Riley (1983) and Ménissier (2011). We tested seven children from classes of CM1 and CM2 bearing difficulties in calculation and logical-mathematical reasoning.

Through initial and final assessments and also observations during six sessions using our material, an improvement was observed among the children.

Keywords :

Speech therapy – Child – Dyscalculia – Rehabilitation – Arithmetic problem

Table des matières

Introduction

Les mathématiques sont souvent considérées, par les enfants en difficulté dans cette discipline, comme une matière insurmontable. Un blocage à l'égard de cette matière peut alors en découler et ils peuvent se sentir perdus face aux questions posées, notamment en ce qui concerne les problèmes arithmétiques qui sollicitent simultanément différentes capacités et savoirs mathématiques (compréhension de l'énoncé, calcul mental, choix de l'opération, mémoire de travail, lexique, etc.). Selon Van Nieuwenhoven et Vriendt (2010), la dimension psychologique dans les mathématiques est très importante. En effet, nombre d'enfants développent, très jeunes, un rapport négatif aux mathématiques.

La demande de rééducation auprès d'orthophonistes dans le domaine logico-mathématique est importante. Dans la nomenclature des actes orthophoniques, elle correspond à la « rééducation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique » (AMO 10,2).

Les origines des difficultés sont multiples et engendrent donc des signes cliniques très hétérogènes. Par exemple, la résolution de problème met souvent en échec les enfants en classe de CM1 et de CM2 car, comme détaillé précédemment, ce domaine fait intervenir différentes compétences. Ainsi, des difficultés de calcul mental, de compréhension des énoncés arithmétiques, une faiblesse de la mémoire de travail ou d'autres pré-requis et habilités numériques seraient à l'origine de difficultés. Le champ d'intervention en orthophonie dans ce domaine est donc très vaste.

Le domaine des logico-mathématiques reste peu étudié ; en 2014, seulement 1% des mémoires de fin d'étude d'orthophonie concernaient la cognition mathématique. Cependant, depuis quelques années, nous observons un intérêt croissant pour ce domaine : par exemple, Les Journées Lilloises de Neuropédiatrie de 2014 avaient pour thème principal la dyscalculie développementale. Par ailleurs, la littérature dans le domaine des troubles du calcul se diversifie depuis quelques années.

Les orthophonistes ont, à leur disposition, un nombre limité d'outils permettant de travailler les problèmes mathématiques. De ce constat, nous avons voulu créer un matériel, ciblé chez des élèves scolarisés en CM1 et CM2, qui permettra donc de travailler la compréhension des problèmes arithmétiques, par la manipulation.

Différents travaux de recherche scientifique ont mis en évidence une amélioration de la compréhension des énoncés arithmétiques par la manipulation, comme les mémoires en orthophonie de Barenton (2003) ou de Hersent (2011). En partant de ces données, nous avons créé un matériel dont le but est de faciliter la compréhension des problèmes arithmétiques en utilisant la manipulation. Par ailleurs, certains pré-requis et habiletés numériques seront travaillés en amont afin de pouvoir se consacrer à la compréhension des énoncés.

Dans une première partie, nous étudierons les différents aspects théoriques en lien avec notre matériel. Puis, une partie plus expérimentale, sera consacrée à la création du matériel et son expérimentation auprès de sept enfants scolarisés en classe de CM1 et CM2. Des évaluations initiales et finales ainsi que l'analyse des six séances intermédiaires permettront de mettre en évidence l'impact de la manipulation lors de la résolution de problèmes lors de la troisième partie. Enfin, nous discuterons autour de ces résultats et des limites de notre mémoire dans une dernière partie.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Généralités et définitions

Après avoir développé les différents courants, nous définirons la psychologie cognitive, la neuropsychologie, les mathématiques et les problèmes mathématiques.

1.1. Les différents courants

La rééducation de la dyscalculie ou des troubles logico-mathématiques est partagée entre deux courants :

- *Une approche généraliste*, qui s'appuie sur les travaux de Piaget[1]. On parle alors de troubles logico-mathématiques. La rééducation s'appuie sur les stades du développement cognitif et l'acquisition de structures logiques : la classification, l'inclusion de classes, la correspondance terme à terme, les conservations et la sériation.
- *Une approche spécifique*, qui s'appuie sur les travaux de la psychologie cognitive. On parle alors de dyscalculie. La rééducation s'appuie sur les procédures défaillantes mises en évidence comme le transcodage, les capacités de calcul et la résolution de problèmes.

Pour notre mémoire, nous avons fait le choix de nous situer dans le courant cognitiviste. Les travaux de Piaget n'y seront donc pas abordés.

1.2. La psychologie cognitive

La psychologie cognitive naît dans les années 1960. Selon le Dictionnaire d'orthophonie (2006), « elle a pour objet l'étude des mécanismes de pensée grâce auxquels s'élabore la connaissance, depuis la perception, la mémoire et l'apprentissage jusqu'à la formation des concepts et du raisonnement logique. Elle distingue les représentations (connaissances déclaratives) des processus qui opèrent sur ces représentations (connaissances procédurales). »

1.3. La neuropsychologie

Lussier et Flessas (2001) définissent la neuropsychologie comme « l'étude de la relation entre les diverses structures du cerveau et du comportement ».

1 Jean Piaget (né le 9 août 1896 à Neuchâtel – mort le 16 septembre 1980 à Genève) : psychologue, logicien, épistémologue. Il est connu pour sa psychologie du développement, notamment la notion de stades.

La neuropsychologie s'inspire de nombreuses disciplines (psychologie cognitive et expérimentale, neurologie…).

Selon le Petit Larousse Illustré 2013 (2012), la neuropsychologie est « l'étude des relations entre les phénomènes psychologiques, cognitifs, émotionnels et la physiologie du cerveau ».

1.4. Les mathématiques

D'après le Petit Larousse Illustré 2013 (2012), les mathématiques sont « la science qui étudie par le moyen du raisonnement déductif les propriétés d'êtres abstraits (nombres, figures géométriques, fonctions, espaces, etc.) ainsi que les relations qui s'établissent entre eux ; ensemble des techniques de calcul et de géométrie ».

1.5. Les problèmes mathématiques

Selon le Dictionnaire d'orthophonie (2006), le problème est « une question à résoudre par des méthodes logiques et rationnelles, dans le domaine scientifique, à partir de données qui constituent l'énoncé du problème. »

D'après le Petit Larousse Illustré 2013 (2012), un problème mathématique est « un exercice scolaire consistant à trouver les réponses à une question posée à partir de données connues ».

2. Description des activités numériques

La résolution de problèmes arithmétiques nécessite, entre autres, l'acquisition d'un lexique spécifique, du comptage, du dénombrement, du calcul mental et du transcodage. Par ailleurs, de bonnes capacités mnésiques sont nécessaires en mathématiques, notamment pour la mémorisation des « faits arithmétiques ».

2.1. Le lexique mathématique

Le lexique mathématique se compose des mots-nombres de la suite numérique mais également d'un vocabulaire spécifique et précis.

2.1.1. Les mots-nombres de la suite numérique

Selon Mazeau (2005) c'est très précocement que l'enfant repère que certains mots (« un », « deux », « trois ») ne désignent ni l'objet ni sa fonction et ne réfèrent à aucune de ses qualités perceptives (forme, couleur, taille), mais bien à une « quantité », un « nombre de ».

La compréhension et l'énonciation de la suite numérique va ensuite évoluer par pallier (avec, le plus souvent un arrêt à 4 puis à 7, puis à 10, puis …). Les noms et l'ordre sont appris et stockés en mémoire à long terme.

Ménissier (2005) met en avant l'importance des irrégularités dans la construction du lexique mathématique. L'enfant est alors contraint de mémoriser de nombreux termes. Le lexique est composé par les noms des nombres de 0 à 16, puis les noms des dizaines (vingt, trente…) et ceux des rangs supérieurs (cent, mille, million, milliard…).

Une syntaxe régit les règles d'organisation du lexique ; il y a peu de règles et très peu d'exceptions (sa sémantique ne laisse place à aucune ambiguïté). L'ordre des mots a un rôle très important. Ainsi, lorsque la quantité augmente, celle-ci fait l'objet d'une décomposition arithmétique à travers la syntaxe. Elle s'effectue selon une somme (*cent trois = 100* + *3*), selon un produit (*trois cents = 3x100*) ou selon les deux (*trois cent trois = (3x100)* + *3*).

2.1.2. Le vocabulaire mathématique

Dans le domaine des mathématiques, les enfants sont confrontés à un nouveau lexique, différent de celui qu'ils utilisent au quotidien. Même si celui-ci reste restreint, certains élèves présentent des difficultés à se l'approprier. Le lexique mathématique est précis et sans ambiguïté. L'enfant se retrouve alors confronté à deux codes qui coexistent et qu'il doit maîtriser : la langue française qu'il utilise au quotidien et le lexique mathématique propre à ce domaine.

Ainsi, dès le CP les enfants doivent maîtriser de nombreux termes. Ménissier (2005) a recensé les termes les plus fréquemment rencontrés dans les livres de mathématiques au CP. Ainsi, on retrouve de nombreux termes comme « plus », « combien », « calculer », « chaque », « égalité », « tout », « mesurer », « moins », « double », « somme », « autant ».

2.2. Comptage et dénombrement

Ménissier (2005) définit le comptage comme « une énumération verbale organisée en une série ordonnée de mots-nombres ». Cette capacité nécessite la maîtrise de la chaîne numérique verbale.

À partir de la grande section de maternelle, les enfants peuvent compter à partir de n'importe quel nombre (chaîne sécable). Vers le CP/CE1, ils peuvent compter les nombres eux-mêmes ; par exemple compter 6 chiffres à partir de 9 : dix, onze, douze, treize, quatorze, quinze.

Le dénombrement est le fait de quantifier un ensemble donné, il consiste à connaître le nombre d'éléments qui composent une collection. Il répond à la question « Combien? ». Pour cela, le comptage est utilisé, avec alors une quantification précise par correspondance terme à terme entre les objets et les mots-nombres et la cardinalisation qui est le fait d'énoncer le cardinal de la collection.

Outre le comptage, le subitizing, c'est-à-dire la perception numérique immédiate utilisée pour les petites quantités (jusqu'à 5 élément chez l'adulte), et l'estimation globale, qui permet d'appréhender des quantités de manière approximative, permettent de désigner un dénombrement rapide sur des ensembles restreints d'objets.

Dénombrer / compter suppose de coordonner de nombreuses aptitudes telles que l'attention, la mémoire de travail, la logique, la stratégie, l'inhibition. Mais l'activité première concerne les fonctions visuo-spatiales (la perception de chaque élément, organisation et stratégie du regard à la fois efficace et stable d'un comptage à l'autre). Gelman et Gallistel (1978, cités par Mazeau, 2005), isolent cinq principes, caractérisant un dénombrement mature :

- Principe d'ordre stable : les mots-nombres doivent être produits en ordre stable ;
- Principe de correspondance terme à terme entre la dénomination des mots-nombres et la désignation des éléments de la collection ;
- Principe de cardinalité : le nombre-mot qui désigne le dernier élément de la collection représente le nombre total d'éléments ;
- Principe d'abstraction : le nombre d'éléments est indépendant des propriétés des objets de la collection.
- Principe de non-pertinence de l'ordre : le cardinal de la collection est le même quel que soit l'ordre dans lequel le comptage est effectué.

Ces principes ne s'acquièrent pas simultanément mais une fois acquis, c'est leur coordination qui montre l'acquisition de la notion de nombre.

2.3. Lecture / écriture des nombres, transpositions

Les nombres peuvent s'exprimer sous plusieurs formes (orale, écrite en chiffres arabes, en chiffres romains, etc.), qui toutes renvoient à une même signification.

Les transcriptions du code oral au code écrit en chiffre arabe et inversement sont les plus utilisées. Elles sont à l'origine de difficultés chez les enfants. En effet, la structure phonologique des mots-nombres est irrégulière à l'opposé de l'écriture en chiffres arabes qui ne présente pas d'ambiguïté ni d'irrégularités. Ainsi, par exemple, on peut interpréter l'écriture de 293 en « 20042013 » comme le respect de la traduction phonologique de chaque unité :

- soit par méconnaissance de la syntaxe (qui impose, pour segmenter correctement la suite orale 293, d'appréhender qu'il s'agit de 200+93, 93 réalisé à l'oral comme « 4x20+13 » ;
- soit par difficulté à inhiber l'écriture, terme à terme, de la suite de chaque mot entendu.

2.4. La mémoire

La mémoire occupe une place prépondérante dans le domaine des mathématiques. En effet, elle va permettre de mémoriser des calculs en mémoire à long terme que l'on appelle « faits arithmétiques». Par ailleurs, elle joue un rôle essentiel dans la création de la représentation que le sujet va se faire de l'énoncé d'un problème arithmétique. On distingue la mémoire à long terme, la mémoire à court terme et la mémoire de travail.

2.4.1. La mémoire à long terme

Selon Soprano et Narbona (2009), la mémoire à long terme permet de maintenir mais également de récupérer des informations sur de longues périodes. En mathématiques, certains résultats de petites opérations vont, peu à peu, être inscrits en mémoire à long terme, ce sont les faits arithmétiques. Il s'agit en général de doubles, de compléments à 10, des tables d'addition et de multiplication. On peut alors récupérer en mémoire déclarative et verbaliser directement, sans calcul, le résultat. Par exemple, les doubles sont précocement mémorisés (classe de CP). La connaissance de ces faits numériques (ou faits arithmétiques) est fondamentale, en particulier, pour libérer la mémoire de travail pour des calculs et des opérations mentales plus complexes. Ces apprentissages « par cœur » sont donc une étape nécessaire.

2.4.2. La mémoire à court terme

D'après Soprano et Narbona (2009), la mémoire à court terme permet le maintien d'informations en mémoire sur une courte période, comme les numéros de téléphone.

2.4.3. La mémoire de travail

Selon Soprano et Narbona (2009), la mémoire de travail représente la faculté de maintenir en mémoire des informations et de les manipuler pendant une activité complexe. On la distingue de la mémoire à court terme car celle-ci permet un simple maintien de l'information.

Baddeley et Hitch (1974) ont modélisé un système afin de décrire cette capacité. Selon eux, la mémoire de travail serait constituée de plusieurs composants :

- *La boucle phonologique* : elle permet le maintien de l'information verbalisable.
- *Le calepin visuo-spatial* : il permet le maintien de l'information visuo-spatiale.
- *L'administrateur central* : il interagit particulièrement avec la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial ; il est impliqué dans la supervision et la régulation des fonctions exécutives (attention, inhibition, etc.)
- *Le buffer épisodique* (ou mémoire tampon) : système de stockage provisoire. Elle permet le traitement simultané d'informations.

Dans la résolution de problèmes, la mémoire de travail va maintenir en mémoire des informations contenues dans les énoncés et les traiter. Elle occupe donc un rôle important. Par ailleurs, la difficulté en résolution de problèmes peut être due à une difficulté d'inhibition des informations non pertinentes des énoncés. Barrouillet, Fayol et Lathulière (1997, cités par Noël, 2014) ont avancé que les personnes dyscalculiques auraient des difficultés à gérer l'interférence créée par d'autres faits arithmétiques activés lors de présentation du problème.

2.5. Le calcul mental

Il existe trois moyens de calcul :

Le calcul mental qui occupe une place prépondérante à l'école primaire. Il faut distinguer :

- le calcul mental automatisé : il permet de récupérer directement le résultat, connu, en mémoire.
- le calcul mental réfléchi : il permet de trouver des résultats d'une façon « réfléchie » ou avec des calculs intermédiaires en s'appuyant de nos connaissances sur les nombres et les propriétés des opérations. La pratique régulière de ce type de calcul permet la mémorisation des faits arithmétiques les plus fréquemment rencontrés.

Le calcul écrit (ou calcul posé) permet de garder une trace des différents calculs et allège la mémoire de travail. Il nécessite une bonne installation des nombres et de la numération.

Le calcul instrumenté consiste en utilisation de machines permettant de faire des calculs plus importants de manière plus aisée. Cela permet d'alléger la charge de travail et de se concentrer sur la compréhension de l'énoncé, la représentation du problème et la mise en opération.

2.6. Les modèles cognitivistes

Plusieurs modèles ont été proposés afin de décrire le traitement des nombres et des opérations de calcul.

2.6.1. Le modèle de Mc Closkey (1985)

Mc Closkey, Caramazza et Basili (1985, cités par Mazeau, 2005) proposent un modèle (figure 1) élaboré à partir d'observations cliniques d'adultes souffrant de lésions cérébrales.

Les auteurs distinguent trois principaux composants :

- Un système de calcul (interprétation des signes arithmétiques, récupérations des faits arithmétiques, gestion des calculs à effectuer),
- Un système de compréhension des nombres
- Un système de production des nombres
- Une représentation sémantique

Les deux derniers composants comportent différents sous-systèmes qui traitent les aspects lexicaux / syntaxiques et prennent en compte la forme de surface du nombre (forme verbale ou arabe). Dans ce modèle, les transpositions d'un code à l'autre passent nécessairement par la représentation sémantique.

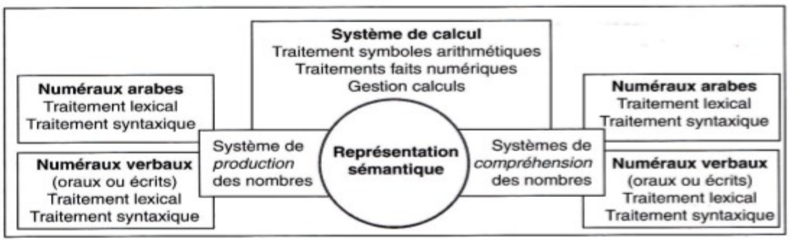


Figure 1. Représentation simplifiée des différents systèmes du modèle de Mc Closkey

2.6.2. Le modèle du triple code de Dehaene (1992)

Dehaene (1992, cité par Mazeau, 2005) propose un modèle (figure 2) qui établit des liens anatomiques et fonctionnels entre code arabe, code auditivo-verbal, code analogique et différentes activités mentales liées aux quantités numériques :

- le code analogique : représentation non symbolique du nombre (estimation, comparaison de quantités, calcul approximatif). Il correspond aux zones pariétales inférieures bilatérales.
- le code verbal : représentation verbale avec mise en relation quantité / nom de nombres (accès aux faits numériques, comptage). Il correspond aux aires du langage (Broca et partie supérieure du lobe temporal).
- le code arabe : représentation visuelle-arabe des nombres en chiffres (jugement de parité, arithmétique écrite). Il correspond aux régions bilatérales et occipitotemporales.

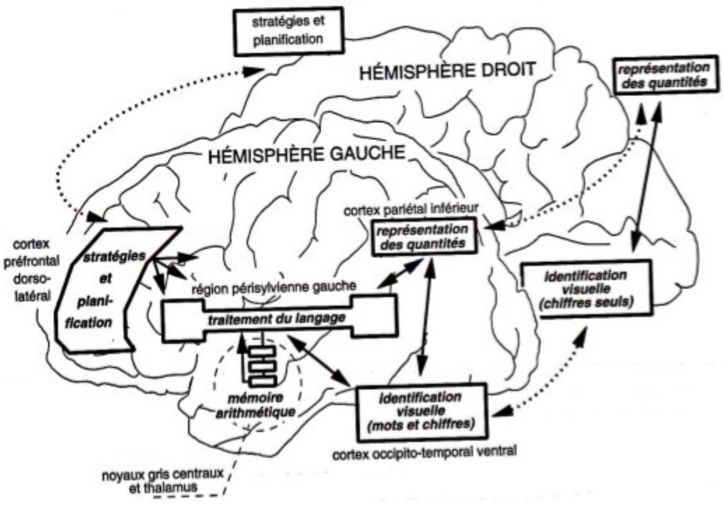


Figure 2. Représentation du modèle du triple code de Dehaene (1992)

3. La dyscalculie développementale

Après avoir défini la dyscalculie développementale, nous étudierons les classifications et la prévalence. Enfin nous aborderons les différentes étiologies.

3.1. Les définitions

Plusieurs auteurs proposent une définition de la dyscalculie développementale. Elle est développée dans les classifications internationales sous l'intitulé « Troubles du calcul » pour le DSM-V et « Troubles spécifiques de l'arithmétique » pour le CIM-10.

3.1.1. La dyscalculie

Selon Van Hout et Meljac (2005), la définition de la dyscalculie la plus souvent citée et retenue est celle de Kosc (1974), qu'il définit comme étant une : « déficience des aptitudes à réaliser des opérations arithmétiques ». L'auteur précise que les enfants qui en sont atteints ont une intelligence normale.

Selon Noël (2014), « la dyscalculie développementale (DD) est un trouble persistant et spécifique du développement numérique et des apprentissages mathématiques ». Elle précise également qu'elle ne résulte ni d'un retard intellectuel, ni d'un enseignement inapproprié, ni d'un déficit sensoriel.

Ainsi, les difficultés rencontrées par les personnes présentant une dyscalculie développementale sont multiples et peuvent concerner différents domaines comme la maîtrise des codes numériques (lecture et écriture de nombres arabes, compréhension du système en base 10), le stockage des faits arithmétiques en mémoire à long terme, la résolution des procédures de calculs ou encore la résolution de problèmes.

3.1.2. La dyscalculie dans les classifications internationales

Selon les recommandations de la CIM-10 (contrairement à celle du DSM-V, tableau I), un enfant ne peut pas être considéré comme dyscalculique s'il est dyslexique. Par ailleurs, le terme « dyscalculie » n'est pas abordé dans les deux classifications. Le DSM-V et le CIM 10 parlent respectivement de « Troubles du calcul » et « Troubles spécifiques de l'arithmétique ».

DSM-V « Troubles du calcul »	**CIM-10** « Troubles spécifiques de l'arithmétique »
Critère A. Le patient a ou a eu des difficultés persistantes dans l'acquisition de la lecture, de l'écriture, l'arithmétique, ou les capacités de raisonnement mathématique au cours de la scolarité. **Critère B.** Les compétences actuelles sont bien en dessous de la moyenne des enfants du même âge (à partir d'1,5 écarts-types en dessous de la moyenne). **Critère C.** Les difficultés d'apprentissage ne sont pas explicables par un trouble du développement intellectuel, par un retard global de développement, par des troubles neurologiques sensoriels, ou par des troubles moteurs. **Critère D**. En l'absence des outils, ou des aides qui permettent à l'individu de compenser ces difficultés, ces troubles interfèrent de manière significative avec la réussite scolaire, la performance au travail ou les activités de la vie quotidienne.	**Critère A.** La note obtenue à un test standardisé de calcul se situe à au moins 2 écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant. **Critère B.** Les notes obtenues à des épreuves d'exactitudes et de compréhension de la lecture, ainsi que d'orthographe, se situent dans les limites de la normale (± 2 écarts-types de la moyenne). S'il existe un déficit sensoriel, les difficultés en mathématiques dépassent celles habituellement associées à celui-ci. **Critère C.** Absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture ou en orthographe.

Tableau I. Critères diagnostiques selon les classifications internationales

3.2. Les classifications

De nombreux auteurs ont proposé une classification de la dyscalculie.
Nous retiendrions celle de Temple (1992) et Geary (1993) :

- Une dyscalculie du traitement numérique : elle se traduit par des difficultés à lire et/ou à écrire les nombres.
- Une dyscalculie du traitement numérique ou dite « mémorielle » : elle se traduit par une incapacité à acquérir les faits numériques, comme les tables d'additions et de multiplication.
- Une dyscalculie « procédurale », entraînant des difficultés dans la mise en œuvre de procédures ou de raisonnements.

Nous pouvons aussi citer celle de Kosc (1974) qui est une classification influencée par la neuropsychologie. Il distingue :

- la dyscalculie verbale : difficultés pour nommer des quantités de choses, des numéraux et des symboles d'opération ;
- la dyscalculie lexicale : difficultés à lire les symboles mathématiques ;
- la dyscalculie graphique : difficultés à écrire les symboles mathématiques ;
- la dyscalculie practognostique : difficultés dans la manipulation mathématique ;
- la dyscalculie idéagnostique : difficultés à comprendre des concepts et des relations mathématiques nécessaires au calcul mental ;
- la dyscalculie opérationnelle : difficultés pour réaliser des opérations mathématiques.

3.3. La prévalence

De nombreuses études divergent à ce sujet. Selon Noël (2009), 5% des enfants auraient des difficultés d'apprentissage en mathématiques. Pour Kosc (1974), la dyscalculie concernerait 6 à 7% des enfants de la population générale. Elle atteindrait les filles et les garçons dans des proportions identiques, selon Gross-Tsur et al. (1996).

3.4. Les étiologies

Les recherches sur la dyscalculie étant moins développées que celles sur la dyslexie, il reste encore de nombreuses hypothèses concernant les étiologies. Certains auteurs avancent l'hypothèse d'un trouble primaire lié au dysfonctionnement d'un système neuro-anatomique spécifique aux traitements numériques. D'autres évoquent davantage un trouble secondaire à un déficit plus élémentaire des habiletés.

3.4.1. Les troubles primaires

Simon et al. (2002, cités par Habib, 2011), mettent en avant l'existence de trois systèmes dans le lobe pariétal pour le traitement des nombres :

- Le gyrus angulaire gauche (AG) : concerne le codage verbal des faits arithmétiques.

- Le segment horizontal du sillon intrapariétal (HIPS) : intervient pour les tâches numériques, dans les effets de distance, de taille, d'amorçage et représente un noyau de connaissance sur les quantités numériques.
- La région pariétale supéro-postérieure bilatérale (PSPL) : intervient dans différentes tâches comme la soustraction, l'approximation, l'effet de distance. Elle pourrait intervenir dans l'orientation de l'attention sur la « ligne numérique mentale » car elle est activée lors de tâches d'attention visuo-spatiale.

La dyscalculie aurait alors pour origine une atteinte d'un ou plusieurs de ces zones spécialisées dans les traitements numériques.

Ces différentes atteintes auraient des répercussions dans plusieurs domaines :

- Un déficit numérique de base : Butterwoth (1999, 2005, cité par Noël, 2014) suggère que la dyscalculie développementale serait la conséquence d'un dysfonctionnement de base affectant la représentation de la magnitude numérique. Ainsi, les personnes dyscalculiques seraient privées du « number sens », c'est-à-dire du sens du nombre ou encore de la représentation de la quantité. Le « number sens » permettrait de différencier des collections d'objets qui diffèrent par un rapport numérique suffisant. Il serait déficitaire chez les dyscalculiques. Cette hypothèse est encore discutée.
- Une hypersensibilité à l'interférence : Geary (2005, cité par Noël, 2014) constatent que beaucoup d'enfants dyscalculiques calculent les réponses au lieu de les récupérer en mémoire (faits arithmétiques) et lorsqu'ils tentent de les récupérer, ils commettent de nombreuses erreurs. Barrouillet, Fayol et Lathulière (1997, cités par Noël, 2014) avancent l'hypothèse que les personnes dyscalculiques auraient des difficultés à gérer l'interférence créée par d'autres faits arithmétiques activés lors de la présentation d'un problème. En effet, quand un enfant apprend les faits arithmétiques, il doit mémoriser des associations d'éléments qui partagent de nombreux traits (par exemple, 6x4 = 24 et 7x4 = 28 partage le 4 en position de 2ème opérande et la décade 2 dans la réponse), ce qui introduirait de l'interférence. Ainsi, les personnes particulièrement sensibles à cette interférence présentent plus de difficultés à encoder les faits arithmétiques. Cependant, cette sensibilité à l'interférence en mémoire ne correspond pas à un déficit global d'inhibition.

3.4.2. Les troubles secondaires

La dyscalculie pourrait être la conséquence de différents troubles secondaires :

- Mémoire

Un déficit de la mémoire de travail serait la cause de difficultés d'apprentissage en mathématiques comme pour le développement de la chaîne numérique verbale et des stratégies de calcul par comptage. Certains auteurs, comme Geary et al. (1999, cité par Mazeau 2005) ont montré une corrélation entre la difficulté à manipuler les chiffres et une mémoire de travail déficitaire. Par ailleurs, un déficit de la mémoire à long terme entraînerait des difficultés de stockage des faits arithmétiques.

- Gnosies digitales :

Selon Fayol et al. (1998, cités par Habib, 2014), il existerait un lien entre gnosies digitales et compétences arithmétiques chez l'enfant. En effet une agnosie digitale entraînerait des difficultés dans la construction du concept de nombre et dans la représentation en base 10. Ainsi, des tests incluant diverses tâches de gnosies digitales seraient d'excellents prédicteurs des performances ultérieures sur les problèmes arithmétiques.

- Troubles du langage :

Les difficultés en langage oral et écrit auraient une répercussion sur la lecture et l'écriture d'un nombre ainsi que sur la compréhension des problèmes. Selon Gross-Tsur et al. (1996, cités par Habib, 2014), il existe une forte corrélation entre dyslexie et dyscalculie (environ 30%).

- Difficultés visuo-spatiales :

Elles entraîneraient des difficultés dans le dénombrement, la pose d'une opération, l'écriture et la lecture des nombres. Pour Mazeau (2005), écrire des nombres nécessite d' « écrire et de manipuler les nombres en fonction de strictes contraintes spatiales ».

- Troubles de l'attention avec ou sans hyperactivité :

Selon Monuteaux et al. (2005, cités par Habib, 2014), il existe une corrélation entre TDA (H) et dyscalculie (environ 25%). Les troubles de l'attention auraient des répercussions sur les performances en arithmétique qui nécessitent des capacités d'attention aussi bien dans leur apprentissage que dans la résolution de calculs.

4. La résolution de problèmes

La résolution de problèmes arithmétiques occupe une place importante dans l'enseignement des mathématiques à l'école. Plusieurs auteurs se sont intéressés aux différents types de problèmes et les étapes nécessaires afin de parvenir au résultat.

4.1. La place des problèmes à l'école

La résolution des problèmes occupe une place centrale à l'école primaire. Les instructions officielles du 19 juin 2008 en lien avec la résolution de problèmes sont :

- Au cycle 2 :
  - « La résolution de problèmes fait l'objet d'un apprentissage progressif et contribue à construire le sens des opérations.
  - Ils apprennent à résoudre des problèmes faisant intervenir les additions, les soustractions et les multiplications. »
- Au cycle 3 :
  - « La résolution de problèmes liés à la vie courante permet d'approfondir la connaissance des nombres étudiés, de renforcer la maîtrise du sens et de la pratique des opérations, de développer la rigueur et le goût du raisonnement.
  - La résolution de problèmes concrets contribue à consolider les connaissances et capacités relatives aux grandeurs et à leur mesure, et, à leur donner sens.
  - Les capacités d'organisation et de gestion des données se développent par la résolution de problèmes de la vie courante ou tirés d'autres enseignements. »

4.2. Les cinq étapes de la résolution d'un problème

Pour Fayol et al. (2000, cités par Van Hout et Meljac 2005), la plupart des difficultés rencontrées lors de la résolution de problèmes proviennent de l'énoncé lui-même. Ainsi, la découverte de la solution sollicite davantage les fonctions exécutives de l'enfant (savoir inhiber les informations inutiles, se concentrer sur les informations pertinentes, etc.) que ses aptitudes au calcul. Afin de résoudre un problème, l'enfant va devoir passer par cinq étapes que nous allons développer ci-dessous.

4.2.1. La traduction du problème

La traduction de l'énoncé consiste en une lecture du problème dans le but de le comprendre. La compréhension de l'énoncé implique certaines connaissances. Ménissier (2011) parle de « compétences linguistiques et factuelles ». Les compétences linguistiques vont permettre à l'enfant une analyse sémantique et syntaxique des éléments du texte. Les compétences factuelles se construisent par l'observation des faits, elles sont objectives et communes à une communauté (ex : 1L correspond à 100 cl).

Dans les énoncés de problèmes, des termes souvent spécifiques aux mathématiques sont utilisés. Ménissier (2011) dégage trois types de termes mathématiques que l'enfant doit être capable de comprendre et de traiter :

- <u>les nombres </u>: entiers, décimaux ou rationnels (les fractions) ;
- <u>les quatre opérations arithmétiques </u>(addition, soustraction, multiplication et division) ainsi que la manipulation des signes qui leur sont associés (+, -, x, :) ;
- <u>les relations </u>par l'utilisation de termes comme « égal à », « différent de », « plus petit que », « plus grand que » ainsi que des verbes comme « ajouter », « enlever », « retrancher », « multiplier » ou « diviser ».

Par ailleurs, afin de distinguer les états, les transformations et les relations dans les énoncés des problèmes, différents moyens lexicaux et syntaxiques sont utilisés : le temps, des opérateurs sémantiques, des verbes d'état/d'action. Ainsi ces différents termes peuvent aider à la compréhension de l'énoncé (ex : en tout, à la fin, au début… qui indique l'inconnue à trouver ou le type de problèmes).

4.2.2. L'intégration du problème

Le problème peut être influencé principalement par deux facteurs :

➢ <u>Le placement de la question </u>

Selon Ménissier (2011) et Fayol et al. (1998, cités par Van Hout et Meljac, 2005), lorsque la question est placée en début d'énoncé, le problème est souvent mieux résolu par l'enfant. En effet, il pourra d'emblée repérer le type de problèmes, l'inconnue et les données qu'il doit rechercher.

- La typologie des problèmes

Différents auteurs comme Riley, Greeno et Heller (1983), Vergnaud (1982, 1991) et Ménissier (2011) proposent des classifications pour les problèmes additifs et multiplicatifs. Ces typologies seront développées par la suite.

4.2.3. La planification des actions

Selon Ménissier (2011), la planification des actions va permettre à l'enfant d'organiser les différentes étapes nécessaires à la résolution du problème.

- Stratégies de résolution : elles vont dépendre des connaissances de l'enfant, Celles-ci peuvent être envisagées sous un double aspect :
  - *Le déroulement des actions* qui doit indiquer leur mode de réalisation ;
  - *Le résultat de ces actions*, c'est-à-dire l'état auquel elles aboutissent. L'enfant doit pouvoir anticiper ce résultat afin de choisir l'action qui permettra de trouver ce résultat : l'enfant doit donc en premier lieu intégrer l'inconnue à trouver.

- Construire une représentation de la tâche à effectuer : elle va dépendre de la traduction des données de l'énoncé du problème. Elle nécessite une anticipation car la représentation s'effectue avant l'exécution et l'enfant va devoir faire un tri dans les différentes informations présentes dans l'énoncé du problème.

- Utiliser les relations construites : elles révèlent la stratégie employée par l'enfant lors de la résolution du problème. Elles font intervenir deux formes de raisonnement : la déduction qui part du général et qui va vers le particulier et l'induction qui est l'inverse.

4.2.4. L'exécution des calculs

Quand l'enfant arrive à cette étape, il doit appliquer le calcul approprié. Selon Ménissier (2011), plusieurs possibilités s'offrent à lui :

- récupérer en mémoire certains faits arithmétiques qu'il connaît ;
- utiliser des procédures qui permettent de trouver le nombre recherché (compter sur les doigts par exemple)

- Le répertoire stratégique : il regroupe les différentes stratégies de calcul que l'enfant peut utiliser pour résoudre les problèmes. Ainsi, Siegler (1988, cité par Ménissier, 2011) distingue quatre grands types de stratégies pour réaliser une multiplication :
  - effectuer une addition répétée écrite ;
  - effectuer une addition répétée orale ;
  - calculer par décomposition à partir de faits arithmétiques dérivés ;
  - récupérer directement la solution stockée en mémoire à long terme (faits arithmétiques).

- La distribution stratégique : c'est la fréquence relative d'utilisation de chacune des stratégies. Cependant, celles-ci évoluent avec l'âge et en parallèle du développement du stock des faits arithmétiques.

- L'exécution stratégique : pour chaque stratégie, l'enfant a un degré de rapidité et de précision. Ainsi, il utilise la stratégie la plus efficace, celle qui lui permet de diminuer sa charge cognitive. À force de répétition, une automatisation des processus permet de rendre les stratégies de plus en plus efficaces ainsi que leur vitesse de traitement.

- La sélection stratégique : lorsque l'enfant possède différentes stratégies, il y a une sélection qui s'opère selon le type de problèmes posé et ses différentes variables (grandeurs des nombres, temps accordé pour la résolution du problème, possibilité ou non de compter sur les doigts, etc.).

4.2.5. L'auto-contrôle du résultat

Une fois ces différentes étapes réalisées, l'enfant confronte sa réponse avec le ou les buts recherchés. Cette étape peut amener à des réajustements voire à refaire intégralement le problème. L'enfant peut également essayer de repérer où les erreurs ont pu être produites et effectuer une correction ainsi que détecter d'éventuelles impasses.

4.3. Typologies des problèmes

On distingue les problèmes additifs, qui nécessitent une ou plusieurs additions ou soustractions pour parvenir au résultat, des problèmes multiplicatifs, qui nécessitent une ou plusieurs multiplications ou divisions.

4.3.1. Typologies des problèmes additifs

Plusieurs auteurs ont proposé des classifications pour les problèmes multiplicatifs. Ici nous exposerons les deux plus connues, à savoir celle de Riley et al. (1983) et Vergnaud (1982).

4.3.1.1. Classification de Riley, Greeno et Heller (1983)

Riley, Greeno et Heller (1983, cités par Fayol, 1990) proposent une classification selon les opérations mises en jeu et l'élément inconnu à trouver dans les situations-problèmes. Ils distinguent alors trois types de problèmes (tableau II).

Types de problèmes	Inconnues	*Exemples*
<u>Les problèmes de type changement</u> : une transformation qui agit sur l'état initial pour donner l'état final.	- état initial - transformation - état final	*Pierre a 6 billes. Il perd 3 billes. Combien de billes a-t-il maintenant ? (état final)*
<u>Les problèmes de type combinaison</u> : les situations sont statiques et ne présentent pas de transformation.	- réunion - partition	*Pierre a 3 billes rouges et 4 billes bleues. Combien a-t-il de billes en tout ? (réunion)*
<u>Les problèmes de type comparaison</u> : les relations statiques sont comparées. Les problèmes sont caractérisés par des formules de type « plus que » / « moins que ».	- relation - 1ère mesure - 2ème mesure	*Paul a 6 billes. Pierre a 3 billes de moins que Paul. Combien de billes a-t-il ? (2ème mesure)*

Tableau II. Classification des problèmes additifs selon Riley et al. (1983)

4.3.1.2. Classification de Vergnaud (1982)

Vergnaud (1982, cité par Fayol, 1990), propose une autre classification des structures additives (tableau III), qui ne considère ni l'action, ni l'opération à effectuer. Il isole six catégories de relations additives en tenant compte des notions de mesures, de transformations temporelles et de relations statiques.

Types de problèmes	*Exemples*
Composition de mesures : deux mesures se composent pour donner une troisième mesure. Recherche du composé ou d'une partie.	*Une classe est composée de 24 élèves dont 10 filles. Combien y a-t-il de garçons ? (partie)*
État – transformation - état : une opération opère sur une mesure pour donner une autre mesure. Recherche de l'état final, de la transformation ou de l'état initial.	*Paul a 5 billes. Il gagne 3 billes. Combien a-t-il de billes maintenant ? (état final)*
État – relation - état : un état est lié à un autre par une relation statique, on retrouve souvent « moins que » et « plus que ». Recherche d'un des états ou de la comparaison.	*Paul a 3 billes. Anne a 6 billes. Combien de billes Anne a-t-elle de plus de Paul ? (relation)*
Composition de transformations : deux relations se composent pour donner une relation.	*Paul a gagné 5 billes puis il perd 3 billes. Combien Paul a gagné de billes en tout ? (3ème relation)*
Etat relatif – transformation - état relatif : une transformation opère sur un état relatif pour donner un autre état relatif.	*Paul doit 6 billes à Pierre, il lui en rend 3. Combien de billes, Paul doit-il encore à Pierre ? (3ème état)*
Composition d'états relatifs : deux états se composent en un troisième.	*Paul doit 8 billes à Pierre. Pierre lui en doit 5. Combien Paul doit-il encore de billes à Pierre ? (3ème état)*

Tableau III. Classification des problèmes additifs selon Vergnaud (1983)

4.3.2. Typologies des problèmes multiplicatifs

Différents auteurs proposent des classifications pour les problèmes multiplicatifs. Nous aborderons les deux plus connues, à savoir celle de Vergnaud (1991) et Ménissier (2011).

4.3.2.1. Classification de Vergnaud (1991)

Vergnaud (1991) distingue trois formes de relation selon les problèmes. Les problèmes sont résolus par une multiplication ou une division.

4.3.2.1.1. Isomorphisme de structure

Ce type de problèmes est une proportion simple et directe entre deux mesures. Ainsi, l'inconnue peut porter sur une des deux mesures ou le rapport scalaire entre les deux mesures

Exemple : Chaque sac contient 3 billes. Combien de billes possède Pierre sachant qu'il a 2 sacs ?

4.3.2.1.2. Produit de mesure

Ce type de problèmes concerne essentiellement les problèmes avec des calculs de volume ou d'aire. Deux mesures donnent une troisième mesure. L'inconnue porte alors sur une des mesures ou la troisième mesure.

Exemple : « Une cour de récréation rectangulaire fait 200 m2. Sa longueur est de 20 mètres. Combien fait-elle de largeur ? »

4.3.2.1.3. Proportion multiple

Ce type de problèmes concerne des mesures proportionnelles : une mesure est proportionnelle à deux mesures différentes. L'inconnue porte alors sur une des deux mesures ou la mesure créée.

Exemple : « Un professeur commande trois livres par élèves. Un livre coûte 10 euros et la classe est composée de 20 élèves. Combien va-t-elle payer ? »

4.3.2.2. Classification de Ménissier (2011)

Ménissier (2011) propose une classification pour les problèmes multiplicatifs. Selon lui, il existe une étroite relation entre la multiplication et la division d'une part, et la proportionnalité d'autre part. Il distingue alors quatre catégories de problèmes multiplicatifs.

4.3.2.2.1. Proportionnalité simple et directe

Ils présentent deux domaines de grandeurs et une relation multiplicative définie entre ces deux domaines de grandeurs. Dans cette catégorie, quatre quantités appartiennent à deux espaces de grandeurs différents. Trois nombres sont connus et il s'agit de déterminer le quatrième.

- **L'un des nombres est égal à 1 (multiplication)** :

Les inconnues peuvent être :
- la valeur multipliée f(x) (multiplication)
- la valeur unitaire (division de type partition) ; recherche de la valeur d'une part
- la quantité d'unités x (division de type quotient) ; recherche du nombre de parts

Nombre d'unités	Mesure des valeurs
1	F(1) (valeur unitaire)
x (quantités d'unités)	F(x) (valeur multipliée)

Exemple : Chaque sac contient 5 billes. Combien de billes a Paul sachant qu'il a 3 sacs ? (recherche de la valeur multipliée).

- **<u>L'énoncé ne fait pas référence à l'unité</u>**

Le rapport fonctionnel est implicite (« règle de trois »). L'énoncé ne fait pas référence à l'unité puisqu'un il donne une valeur d'un multiple de l'unité. *Exemple : 10 billes coûtent 4 euros. Combien coûtent 15 billes ?* Ainsi, le prix unitaire des billes reste inconnu et n'est pas nécessaire au calcul.

Les inconnues peuvent être :

- la grandeur de base x
- la valeur de base f(x)
- la grandeur multipliée x'
- la valeur multipliée f(x')

M 1 (grandeur)	M 2 (valeur)
x	F(x)
x'	F(x')

- **<u>L'énoncé ne fait pas référence à l'unité</u>**

Le rapport fonctionnel y est alors explicite ; il est connu ou peut-être calculé directement de la relation entre x et f(x).

Les inconnues peuvent porter sur :

- le rapport fonctionnel y
- la première mesure (x)
- la deuxième mesure (F(x))

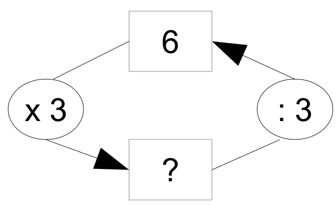
1ère mesure		2ème mesure
1	x y	*y*
x		F(x)

4.3.2.2.2. Comparaison multiplicative des grandeurs

Ils sont définis par un seul domaine de grandeur en jeu et un rapport scalaire entre les deux grandeurs (exprimé par une relation multiplicative « x fois plus » ou par une relation de division « x fois moins »).

L'inconnue peut porter sur :

- la grandeur inférieure
- la grandeur supérieure
- le rapport scalaire



Exemple : Paul a 6 billes et Pierre a 18 billes. Pierre a plus de billes que Paul. Combien de fois plus ? (recherche du rapport scalaire).

4.3.2.2.3. Proportionnalité simple composée

Ils présentent trois types de domaines de grandeurs, deux relations de proportionnalité simples (définies d'une part entre la première et deuxième grandeur, d'autre part entre la deuxième et la troisième grandeur) et une composition simple de ces deux relations à laquelle s'ajoute une relation de proportionnalité obtenue par déduction entre la première et la troisième grandeur.

Exemple : Pierre achète 3 sacs de billes. Il y a 10 billes dans un sac et une bille coûte 50 centimes. Combien Pierre dépense-t-il ?

M1 1ère grandeur	M2 2ème grandeur	M3 troisième grandeur
1	1	F'(1) (2ème relation de proportionnalité) *(=5)*
X *(=0,5)*	F(1) (1ère relation) *(=10)*	FoF' (x) (relation composée) *(=15)*

L'inconnue se porte alors sur :

- FoF' (x) en effectuant une multiplication (relation composée)
- F(1) ou de F'(1) en effectuant une division (première et deuxième relation de proportionnalité)
- x en effectuant une division (première grandeur)

4.3.2.2.4. Proportionnalité multiple

- <u>produit de mesure</u>

Il est composé de deux espaces de mesure M1 et M2 afin de former un troisième espace M3. L'unité de grandeur-produit correspond alors aux unités des deux domaines de grandeurs indépendants.

Exemple : une cours de récréation mesure 20 m de longueur et 10m de large. Quelle est son aire ?

	M2 1	grandeur n°2 x2 = 20
 1 x1 = 10 M1 grandeur n°1	relation unitaire 1 F(1,1) = 1	 f (x1,x2) = 200 Grandeur – produit

L'inconnue peut porter sur :

- la grandeur- produit f(x1, x2) connaissant x1 et x2 (multiplication)
- la grandeur x1 connaissant x2 et f(x1, x2) ou x2 connaissant x2 et f(x1, x2)(division)

- Proportion double

Contrairement au produit de mesure, l'unité domaine des grandeurs-produits ne correspond pas à l'unité, f(1,1) n'est pas forcement égale à 1.
L'inconnue peut porter sur :
- grandeur-produit f(x1, x2) (multiplication)
- relation unitaire f(1) (division)
- grandeur x1 ou x2 (division)

4.4. La manipulation : une aide à la résolution des problèmes arithmétiques

Plusieurs travaux mettent en évidence le lien entre manipulation et la compréhension des énoncés arithmétiques. Barenton (2003) et Hersent (2011), dans le cadre de leur mémoire d'orthophonie de fin d'étude, ont comparé différentes modalités de présentation d'énoncés de problèmes (imagés et manipulables). Elles constatent que ces deux modalités favorisent la compréhension des problèmes, la présentation imagée étant la plus efficace.

5. Buts et hypothèses

Nous avons vu précédemment que la résolution des problèmes est un thème complexe notamment chez les enfants présentant une dyscalculie. En effet, différents éléments rentrent en jeu aussi bien propres à l'individu (au niveau cognitif, de la motivation, etc.) mais aussi propres au problème (au niveau lexical et sémantique par exemple). Ainsi, il existe de multiples causes aux échecs en résolution de problèmes et il n'est pas aisé d'en préciser l'origine pour chaque enfant.

Dans le cadre de notre étude, nous avons créé un matériel permettant à la fois de travailler certains processus cognitifs qui interviennent dans la résolution de problèmes comme la mémoire, la logique, le calcul mental, etc. Mais également des outils permettant de résoudre le problème par la manipulation, en décomposant ainsi le problème pour faciliter sa compréhension.

Nos hypothèses sont les suivantes :

Hypothèse 1 : la manipulation dans la résolution des problèmes arithmétiques faciliterait leur compréhension.

Hypothèse 2 : l'utilisation de notre matériel permettrait une amélioration des performances en résolution de problèmes arithmétiques.

Sujets, matériel et méthode

1. Matériel

Nous avons réalisé un matériel sur le thème de sorcellerie. Il permet de travailler les pré-requis et les habilités numériques nécessaires à la résolution de problèmes arithmétiques. Mais également, les différents types de problème.

1.1. Réalisation du matériel

Pour pouvoir travailler de manière efficace et que les enfants dépassent leur angoisse liée aux mathématiques, nous avons essayé de créer un matériel ludique et motivant sur le thème de la sorcellerie. En parallèle de la conception, le matériel a été proposé en partie ou en totalité à 8 enfants scolarisés en CM1 et CM2 (hors patients de notre étude) afin de s'assurer de la faisabilité des problèmes et de la bonne compréhension des questions portant sur les pré-requis et les habilités numériques.

1.2. Présentation du matériel

Après avoir présenté l'énigme du matériel, nous développerons les pré-requis et habilités numériques ainsi que les types de problème que nous avons proposés aux patients.

1.2.1. Le scénario

Au début du jeu, un parchemin est remis au patient. Il raconte que le royaume de Jalésie est en danger (annexe 1) et que, pour le sauver, il faut récupérer cinq pierres précieuses (diamant, rubis, émeraude, saphir et améthyste). Celles-ci se trouvent dans les cinq salles du château (salle du dragon, débarras, bibliothèque, salle des potions et salle du trésor). Pour gagner les pierres précieuses, l'enfant doit répondre à des problèmes. Cependant, le château est fermé et pour pouvoir y rentrer, il faut reconstituer une clef (annexe 2).

1.2.2. Les pré-requis et habilités numériques

Notre choix quant aux pré-requis et habilités numériques s'est arrêté sur les suivants : le lexique mathématique, la logique et la mémoire. Pour les habiletés numériques, nous avons choisi de travailler autour du calcul mental et de la comparaison de chiffres (annexe 3).

Un plateau est dédié aux pré-requis et habilités numériques (le pont avant d'entrer dans le château, annexe 4). Le patient et l'orthophoniste se déplacent à l'aide d'un dé. Il faut obtenir deux jetons de chaque thème (araignée, fantôme, chauve-souris, lutin, serpent) qui entraîne chacun un type de pré-requis ou d'habilité numérique de manière succincte. Lorsqu'on réussit à répondre à la question posée sur la carte, on gagne un jeton correspondant. Le but est de reconstituer la clé pour déverrouiller le château (annexe 2).

1.2.3. Les problèmes

Tout comme les pré-requis et habiletés numériques, ils sont répartis sur trois niveaux (annexe 5). Le but est d'aller dans toutes les salles du château pour récupérer la pierre précieuse qui s'y trouve. Le patient et l'orthophoniste se déplacent à l'aide d'un dé et doivent répondre aux problèmes posés correspondant aux dessins (qui symbolisent chacun une salle).

Si l'enfant se trouve en difficulté pour répondre, le matériel de manipulation lui est proposé afin qu'il puisse « jouer » le problème (annexe 6). Cette manipulation est un soutien à la compréhension, comme démontré par Barenton (2003) et Hersent (2011), et souvent, suffit à la compréhension du problème. Généralement l'enfant réalise alors ses erreurs en manipulant, sinon le thérapeute oriente sa démarche.

L'étude concernant la compréhension des problèmes, seuls les nombres inférieurs à 16 ont été utilisés afin de ne pas angoisser l'enfant par de grands nombres et afin de travailler principalement sur la compréhension des problèmes.

Dans chaque niveau, nous avons décidé de travailler sur quatre types de problèmes différents. Pour cela, nous nous sommes inspirés de la classification choisie par Ménissier (2011) dans ses logiciels « Point d'interrogation » 1 (2002) et 2 (2006). Nous les avons organisés avec une difficulté croissante. Le type de problèmes est symbolisé par une fleur de couleur en haut à droite de la carte.

Pour le niveau 1, la police d'écriture et l'espacement sont plus importants que pour les autres niveaux. Par ailleurs, nous avons fait le choix de mettre la question en début d'énoncé pour le niveau 1. En effet, rappelons que des auteurs comme Ménissier (2011) affirment que ce placement facilite la compréhension et la résolution des problèmes.

2. Méthodologie

Les séances réalisées auprès des patients ont suivi une progression préétablie qui se décompose en cinq temps (figure 3).

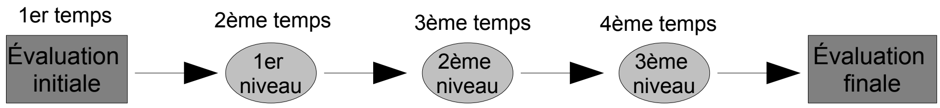


Figure 3. La progression des séances

2.1. 1er temps : l'évaluation initiale

Pour des raisons d'organisation, il ne s'est pas écoulé six mois entre l'évaluation initiale (pré-test) et l'évaluation finale (post-test).

La population a été sélectionnée après les évaluations initiales par l'intermédiaire de nos critères d'inclusion et d'exclusion. Celles-ci ont également indiqué le niveau des différents enfants de l'étude (compétences et déficits). Deux tests ont été proposés : l'E.CO.S.SE. et le ZAREKI-R.

2.1.1. L'E.CO.S.SE. (1996)

Afin d'exclure de notre étude les patients présentant des troubles de la compréhension, nous leur avons proposé l'E.CO.S.SE. (annexe 7) en modalité orale. Les patients ne devaient pas obtenir des scores pathologiques à cette épreuve qui teste la compréhension morphosyntaxique. L'E.CO.S.SE. a été proposé aux patients uniquement lors de l'évaluation initiale mais pas pour l'évaluation finale, contrairement au ZAREKI-R. En effet, ce test a été utilisé uniquement afin de sélectionner les patients et d'exclure ceux présentant d'importantes difficultés de compréhension.

2.1.2. Le ZAREKI-R (2006)

Le ZAREKI-R est un outil de dépistage des troubles du calcul et du traitement des nombres. Cette batterie nous a permis d'évaluer le niveau de chaque enfant dans le domaine de la cognition mathématique. Nous avons ciblé les épreuves les plus pertinentes pour cette étude. Ainsi neuf épreuves ont été proposées aux patients (annexe 8). Le critère d'inclusion des patients dans l'étude était alors d'être en difficulté dans ces épreuves.

2.2. 2ème temps : le niveau 1

Une fois les patients sélectionnés par l'évaluation initiale, nous avons proposé notre matériel durant six séances.

Le 2ème temps correspond alors au début du travail autour du matériel avec le niveau 1. Chaque niveau se divise en deux : les pré-requis / habilités numériques puis les problèmes. Une feuille de suivi pour chaque niveau a été réalisée afin de noter pour chaque patient les différentes observations (annexe 9).

Nous avons fait le choix de travailler, en amont de la résolution de problèmes, sur cinq types de pré-requis et d'habilités numériques. Il existe une progression qui se distingue, au sein même des niveaux, par un symbole situé en haut à droite des cartes, ce qui permet de sélectionner les cartes (facile ou difficile pour l'enfant). Les pré-requis et habilités numériques sont chacun constitués de trois sous-niveaux (tableau IV) (hormis les exercices de mémoire qui en possèdent deux).

	Lexique (chauve-souris)	**Comparaison de nombres (lutin)**	**Mémoire (fantôme)**	**Logique (serpent)**	**Calcul mental (araignée)**
○	tout aucun	nombres à 2 chiffres inférieurs à 20	4 fruits	4 nombres croissants faciles	additions avec 2 nombres inférieurs à 10
□	différent de égal à	nombres à 2 chiffres inférieurs à 50	/	4 nombres décroissants faciles	additions avec 3 nombres inférieurs à 10
☆	plus que moins que	nombres à 2 chiffres inférieurs à 100	4 formes	4 nombres croissants difficiles	soustractions avec 2 nombres inférieurs à 10

Tableau IV. Progression des pré-requis et habilités numériques du niveau 1

Pour le niveau 1, nous avons choisi de travailler les problèmes suivants :

- Problèmes de type changement avec recherche de l'état initial (qui nécessite une addition ou une soustraction)
- Problèmes de type changement avec recherche de la transformation (soustraction en partant de l'état initial ou final)
- Problèmes de type changement avec recherche de l'état final (qui nécessite une addition ou soustraction)
- Problèmes de type combinaison avec recherche d'une mesure : partition / réunion.

2.3. 3ème temps : le niveau 2

Pour le niveau 2, les pré-requis et habilités numériques ont été complexifiés (tableau V).

	Lexique (chauve-souris)	Comparaison de nombres (lutin)	Mémoire (fantôme)	Logique (serpent)	Calcul mental (araignée)
○	autant que le total	nombres à 3 chiffres inférieurs à 200	5 fruits	4 nombres décroissants difficiles	additions avec 2 nombres inférieurs à 20
□	soustraire additionner	nombres à 3 chiffres inférieurs à 500	/	3 nombres croissants faciles	soustractions avec 2 nombres inférieurs à 20
☆	le double la moitié	nombres à 3 chiffres inférieurs à 1 000	5 formes	3 nombres décroissants faciles	multiplications simples

Tableau V. Progression des pré-requis et habilités numériques du niveau 2

Pour ce niveau, quatre types de problèmes sont travaillés :

- Problèmes de type transformation avec recherche de la transformation composée (qui nécessite une addition/ soustraction).
- Problèmes de proportionnalité simple ou directe ou l'un des nombres est égal à 1 (valeur multipliée).
- Problèmes de type comparaison avec recherche de la 1ère et 2ème mesure (comparaison positive et négative)
- Problèmes de type comparaison avec recherche de la relation (comparaison positive et négative).

2.4. 4ème temps : le niveau 3

Le niveau 3 est plus complexe et a nécessité plus de temps que les autres niveaux. En ce qui concerne les pré-requis et habilités numériques (tableau VI), des leurres visuels ont notamment été introduits dans la comparaison de nombres.

	Lexique (chauve-souris)	Comparaison de nombres (lutin)	Mémoire (fantôme)	Logique (serpent)	Calcul mental (araignée)
○	retrancher ajouter	nombres à 4 chiffres inférieurs à 5 000 avec des leurres visuels	6 fruits	3 nombres croissants difficiles	additions avec 3 nombres inférieurs à 20
□	somme différence	nombres à 4 chiffres inférieurs à 10 000 avec des leurres visuels	/	3 nombres décroissants difficiles	soustractions avec 3 nombres inférieurs à 20
☆	multiplier diviser	nombres à 2 chiffres écrits en lettres avec des leurres visuels	6 formes	nombres croissants et décroissants	multiplications plus complexes

Tableau VI. Progression des pré-requis et habilités numériques du niveau 3

Pour le niveau 3, des éléments distracteurs ont été introduits. Les types de problèmes qui ont été proposés sont les suivants :

- Problèmes de proportionnalité simple composée (relation composée)
- Problèmes de comparaison multiplicative des grandeurs avec rapport scalaire (grandeur multipliée).
- Problème de type changement complexe avec recherche de l'état initial, final ou de la 1ère ou 2ème transformation
- Problèmes de type comparaison ou combinaison complexe avec recherche de l'état initial, final ou de la 1ère ou 2ème transformation.

2.5. 5ème temps : l'évaluation finale

Lors de la dernière séance, les patients ont de nouveau été évalués avec uniquement le ZAREKI-R afin de comparer les résultats aux évaluations initiales et ainsi constater s'il y a une évolution ou non.

3. Sujets

Nous allons, dans un premier temps, développer les critères d'inclusion et d'exclusion. Puis, nous présenterons chacun des sept patients de notre étude et les deux enfants témoins avant de développer les modalités des huit séances.

3.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

Nous avons réalisé notre étude dans des cabinets d'orthophonistes situés dans la région du Nord auprès de patients ayant une prise en charge pour des difficultés logico-mathématiques et du calcul. Elle s'adressait à des enfants scolarisés en classe de CM1 et de CM2 (le redoublement n'était pas un critère d'exclusion). Une plainte importante dans le domaine des problèmes devait être présente ou mentionnée.

Afin de sélectionner nos patients, l'E.CO.S.SE. en modalité orale a été proposée afin de s'assurer que les difficultés dans la compréhension des énoncés arithmétiques n'étaient pas la cause de difficultés de compréhension plus globales. Par ailleurs, nous avions également soumis les patients à certaines épreuves du ZAREKI-R.

Pour intégrer l'étude, les patients devaient être en difficulté aux épreuves sélectionnées du ZAREKI-R (annexe 8) et principalement à l'épreuve des problèmes arithmétiques présentés oralement.

3.2. Présentation des patients

Dans cette partie, nous présenterons brièvement les sept patients de notre étude. Dans un souci d'anonymat, le prénom de chaque enfant a été modifié.

3.2.1. Océane

Océane est une petite fille de 10 ans, actuellement scolarisée en CM1 qu'elle redouble cette année. Elle a deux frères et une sœur. Océane était déjà suivie en orthophonie du CP au CE2 pour des difficultés en langage écrit et en logico-mathématique. Elle est revenue en septembre 2014, sur conseil de l'école l'année de son redoublement du CM1. La plainte concernait le langage écrit et les mathématiques. Depuis la prise en charge a été bénéfique en ce qui concerne le langage écrit, cependant ses difficultés en mathématiques perdurent, notamment, pour la résolution de problèmes. Elle bénéficie de soutien scolaire en mathématiques à l'école.

3.2.2. Céline

Céline est scolarisée en CM2. Elle a trois frères et une sœur. Elle bénéficie d'une prise en charge depuis mars 2009, elle avait alors 4 ans ½ et était scolarisée en moyenne section de maternelle. Elle parlait peu à l'école, manquait de confiance en elle. La rééducation pour retard de parole et de langage avait lieu une fois par semaine. Puis la prise en charge s'est tournée sur le travail des pré-requis au langage écrit et les notions de numération et de logique. Un bilan réalisé en CE1 mettait en avant des troubles au niveau du raisonnement concernant des termes mathématiques, la sériation et la classification. Les objectifs de travail étaient : la notion de nombre, connaissance des termes mathématiques, les principes de l'addition et de la soustraction, la logique et le raisonnement.

3.2.3. Louis

Louis est un enfant scolarisé en CM1. Il a un frère de 5 ans. Il bénéficie d'une prise en charge depuis août 2014 pour troubles logico-mathématiques. Son bilan initial a mis en avant des difficultés mnésiques, l'inclusion était déficitaire et l'orthophoniste notait que Louis avait du mal à sélectionner les informations pertinentes en mathématiques. Des difficultés spatiales avaient également été observées. La plainte concernait les additions et les soustractions. Dans le bilan, l'orthophoniste note que les additions du type DU+U jusqu'à 100 sont réussies mais il échoue s'il y a un passage de classe (ex : 47+4 est échoué). Les soustractions impliquant un passage par la dizaine sont également échouées (15-7) ainsi que celles impliquant deux nombres dont le résultat se situe entre 10 et 15 (ex : 17- 4). Les soustractions portant sur les nombres inférieurs à 10 sont réussies. Il est capable d'écrire les nombres arabes à quatre chiffres mais pas au-delà.

3.2.4. Manisha

Manisha est scolarisée en CM2, c'est la jumelle de Tidéa et elle a également un petit frère de 6 ans. Elle bénéficie de soutien scolaire en classe. Elle est prise en charge pour troubles logico-mathématiques depuis décembre 2013. Ses difficultés en mathématiques sont apparues en CE1 et elle a alors bénéficié d'un court suivi orthophonique. En CM1, les problèmes en mathématiques étant toujours très présents, elle réalise un bilan. Celui-ci met alors en évidence des difficultés de comptage, de transcodage, de calcul mental, en résolution de problème et un maniement hésitant de la base 10.

3.2.5. Mathéo

Mathéo est scolarisé en CM1. Il a un frère de 13 ans. Il est prise en charge en orthophonie depuis la grande section de maternelle (mars 2011), il avait alors 5 ans 7 mois. La plainte initiale concernait le repérage sur la feuille mais également dans le temps (matin/midi/soir et veille/journée/lendemain) et il présentait alors un rejet scolaire. Dès le CP, l'orthophoniste notait des difficultés en mathématiques, celles-ci ont persisté. Lors du dernier bilan, en mai 2014, le thérapeute notait des difficultés de comptage, de transcodage et le principe de conservation n'était toujours pas acquis. La résolution de problèmes était difficile. Mathéo souhaite cesser le suivi qui a commencé en grande section de maternelle. L'orthophoniste envisage une pause thérapeutique.

3.2.6. Mathieu

Mathieu est scolarisé en CM2 et a un frère et une sœur. Il est suivi en orthophonie depuis la grande section de maternelle pour un retard de langage, le graphisme, l'espace et l'attention. Très rapidement l'orthophoniste a observé des difficultés en mathématiques avec notamment l'introduction des problèmes additifs. Aujourd'hui la prise en charge est axée sur les troubles logico-mathématiques.

3.2.7. Tidéa

Tidéa est scolarisée en CM2, c'est la sœur jumelle de Manisha et elle a également un petit frère de 6 ans. Elle est prise en charge en logico-mathématique depuis 2013. Elle est décrite comme une enfant calme et autonome. Elle bénéficie de soutien scolaire en classe. Les difficultés en mathématiques sont apparues en CP et elle a alors bénéficié d'un court suivi orthophonique. Actuellement scolarisée en CM1, elle rencontre des difficultés dans cette matière, notamment dans l'apprentissage des tables de multiplications. Un bilan logico-mathématique a été réalisé en décembre 2013. L'orthophoniste notait des difficultés de comptage, de transcodage, de calcul mental et un maniement hésitant de la base 10. Elle utilise encore beaucoup les doigts. Les techniques opératoires ne sont pas complètement acquises. Lors de la prise en charge, l'orthophoniste note des difficultés importantes dans la résolution de problèmes.

3.3. Population témoin

Lors de la création du jeu, certaines questions des pré-requis et certains problèmes étaient testés auprès d'enfants scolarisés en CM1 et CM2 afin de s'assurer de la faisabilité des énoncés sur ce type de population.

En parallèle nous avons proposé notre matériel à deux enfants tout venant, Aurore et Florence, non pris en charge en orthophonie afin de comparer les stratégies utilisées et les difficultés rencontrées. Aurore est une élève scolarisée en CM1, Florence est quant à elle scolarisée en CM2. Elles n'ont jamais redoublé.

Précisons que les résultats de la population témoin ne sont pas inclus dans notre étude et ont été utilisés seulement d'un point de vue qualitatif.

3.4. Modalités des séances

Le protocole préconisait huit séances de 30 minutes par semaine. Le nombre de séances a été respecté, hormis, pour un patient, Mathieu, pour qui nous avons proposé une séance supplémentaire car les séances ne pouvaient durer que 25 minutes.

Résultats

1. Résultats aux épreuves de l'évaluation initiale

Lors de l'évaluation initiale nous avons proposé l'E.CO.S.SE. (tableau VII) et certaines épreuves du ZAREKI-R (tableau VIII).

Patients	Âge (classe)	E.C.O.S.SE
Océane	10 ans (CM1)	- 0,67 ET
Céline	10 ans (CM2)	- 0,67 ET
Louis	9 ans (CM1)	- 0,44 ET
Manisha	10 ans (CM2)	- 0,91 ET
Mathéo	9 ans (CM1)	- 0,66 ET
Mathieu	10 ans (CM2)	- 0,20 ET
Tidéa	10 ans (CM2)	- 0,44 ET

Tableau VII. Résultats de l'E.CO.S.SE. lors de l'évaluation initiale en écart-type (ET)

- *ET supérieur à + 1ET*
- *ET compris entre -1 ET et + 1 ET*
- *ET compris entre - 1 ET et -1,5 ET*
- *ET inférieur à -1,5 ET*

	Comptage / calcul			**Mémoire**	**Représentation sémantique du nombre**				**Problèmes**
Épreuves / Patients	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**8**	**10**	**12**	**11**
Océane	-0,33 ET	-1,33 ET	-0,72 ET	-0,50 ET	-0,47 ET	-2,77 ET	-2,42 ET	+0,25 ET	-3,11 ET
Céline	+0,78 ET	-4,67 ET	-1,05 ET	-2,17 ET	-1,35 ET	-1,86 ET	-1,17 ET	-2,24 ET	-1,32 ET
Louis	+1 ET	+0,12 ET	-0,51 ET	+0,53 ET	-0,29 ET	-0,57 ET	-2,04 ET	-0,86 ET	-1,23 ET
Manisha	-0,33 ET	+0,67 ET	-2,03 ET	-0,50 ET	-0,47 ET	-0,95 ET	+0,92 ET	+0,25 ET	-1,68 ET
Mathéo	+1 ET	-0,28 ET	+0,01 ET	-0,53 ET	+0,68 ET	+0,30 ET	-0,61 ET	-2,29 ET	-1,55 ET
Mathieu	-0,33 ET	+0,67 ET	-2,29 ET	+0,33 ET	-0,76 ET	-0,05 ET	-2,42 ET	+0,25 ET	-2,04 ET
Tidéa	-0,33 ET	+0,67 ET	-1,38 ET	-0,50 ET	+0,41 ET	-0,05 ET	+0,92 ET	+0,25 ET	-0,96 ET

Tableau VIII. Résultats du ZAREKI-R lors de l'évaluation initiale en écart-type (ET)

Les épreuves sélectionnées du ZAREKI-R sont les suivantes (annexe 8) :
Épreuve 2 : Comptage oral à rebours
Épreuve 3 : Dictée de nombres
Épreuve 4 : Calcul mental oral
Épreuve 5 : Lecture de nombres
Épreuve 7 : Répétition de chiffres
Épreuve 8 : Comparaison de deux nombres présentés oralement
Épreuve 10 : Estimation qualitative de quantité en contexte
Épreuve 11 : Problèmes arithmétiques présentés oralement
Épreuve 12 : Comparaison de nombres écrits

Les patients inclus dans l'étude obtiennent tous un score à l'E.C.O.S.SE. compris entre -0,2 écart-type (ET) et -0,91 ET, ce qui n'est pas un score pathologique. En ce qui concerne le ZAREKI-R, nous avons fait le choix de choisir le seuil pathologique à -1,5 ET comme précisé dans le DSM V.

Océane est la plus en difficulté à l'épreuve des problèmes (épreuve 11) puisqu'elle ne parvient à en résoudre aucun. Manisha, Mathéo et Mathieu obtiennent également un résultat pathologique à l'épreuve *Problèmes arithmétiques présentés oralement.*

Céline est la patiente qui présente le profil global le plus déficitaire. Bien que ses scores ne soient pas pathologiques à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement* (-1,32 ET), nous avons décidé de l'inclure dans l'étude au vue de ses nombreuses difficultés dans le reste des épreuves, du temps de latence et de l'explication de son raisonnement à l'épreuve des problèmes.

Louis obtient un score de 1/10 à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement (*-1,23 ET). Son score n'est pas pathologique mais il est également intégré dans l'étude au vu des éléments qualitatifs relevés lors de la passation de cette épreuve : il ne sait pas expliquer comment il a fait et semble répondre « au hasard », en additionnant ou soustrayant les chiffres qu'il entend dans les problèmes ; nous notons un grand temps de latence lors des différentes épreuves.

Enfin, en ce qui concerne Tidéa, son inclusion dans l'étude a longtemps été incertaine du fait qu'aucun de ses scores ne soit pathologique dans les épreuves du ZAREKI-R. Elle obtient -0,96 ET à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*. Cependant, nous pouvons noter, lors de la passation de l'épreuve, un long temps de latence avec une incapacité à expliquer comment elle est arrivée au résultat. Par ailleurs, la plainte familiale dans le domaine des problèmes est importante et appuyée par l'orthophoniste qui la suit depuis plus d'un an pour ces raisons.

2. Observations des séances

Nous allons analyser les différents résultats, niveau par niveau, obtenus suite aux observations des questions des pré-requis/habilités numériques et des problèmes.

2.1. Les pré-requis et habilités numériques

Nous pouvons préciser que, pour chaque niveau, les domaines contiennent des sous-niveaux (○, □, ☆), non détaillés dans les tableaux suivants.

2.1.1. Les pré-requis et habilités numériques du niveau 1

Les questions de vocabulaire sont difficiles pour Océane, Louis et Manisha (tableau IX). Nous précisons que les patients n'ont pas tous été confrontés au même vocabulaire du fait du nombre de cartes. Les questions de comparaison de nombres sont réussies par tous les patients. Nous nous attendions à ce résultat car pour ce domaine, le niveau était très facile pour des CM1 et CM2.

Au tout début, les questions de mémoire ont été très difficiles pour Mathéo, malgré sa bonne mémoire auditive. À partir de cette constatation, nous avons fait le choix de demander systématiquement à tous les patients de l'étude de dire les éléments présents sur la carte. En effet, comme nous l'avons étudié dans la partie théorique, le fait d'oraliser et d'utiliser la boucle phonologique favorise la mémorisation. Dès lors, les cartes « mémoire » n'ont plus mis en difficulté les patients et celles-ci sont même devenues les cartes préférées pour la majorité des enfants.

Les questions concernant la logique sont difficiles au début, car moins scolaires, mais les enfants se les approprient assez rapidement et comprennent ce qui est attendu. Cependant, nous devons régulièrement les aider au départ.

Pour l'ensemble des patients de notre étude, le calcul mental est lent, voire laborieux pour certains. Les patients comptent, le plus souvent, sur leurs doigts mais pas toujours de manière efficiente.

Patients / **Cartes**	Océane	Céline	Louis	Manisha	Mathéo	Mathieu	Tidéa
Lexique	- *(moins que / aucun / tous)*	+	+ / - *(plus que)*	+/ - *(moins que)*	+	+	+
Comparaison	+	+	+	+	+	+	+
Mémoire	+	+	+/-	+	+/-	+/-	+
Logique	+	+	-	-	+	+/-	-
Calcul mental	+ *(lent)*	+ *(lent)*	+/- *(lent)*	- *(lent)*	+ *(lent)*	+/-	+ *(lent)*

Tableau IX. Observations des performances aux pré-requis et habilités numériques du niveau 1

+ = *réussi à la question*
- = *échec à la la question*

2.1.2. Les pré-requis et habilités numériques du niveau 2

Au niveau 2, seulement Tidéa a réussi les deux questions de vocabulaire (tableau X). Les termes « moitié », « le double », « autant » et « soustraire » ne sont pas toujours maîtrisés par les patients.

La comparaison de nombres est réussie pour presque tous les patients mais plus difficile pour Louis et Céline qui échouent chacun à une des deux questions.

Les questions de mémoire sont réussies par tous les patients. Ils s'approprient tous la méthode de mémorisation puisque, spontanément, ils répètent ce qu'ils voient sur les cartes.

Les questions de logique restent difficiles, les patients ont besoin d'indices pour une des deux questions, sauf Mathéo qui est plus à l'aise dans ce domaine, bien qu'en CM1.

Nous avons observé des progrès de calcul mental pour ce niveau. Les enfants sont plus rapides, bien que les calculs soient plus difficiles. Néanmoins, nous observons toujours une lenteur chez Céline, Manisha et Tidéa. Cependant, nous avons vu émerger de nouvelles stratégies, comme l'utilisation des « doubles » souvent travaillés en classe. Par ailleurs, les patients vont plus facilement récupérer des faits arithmétiques en mémoire.

Patients / **Cartes**	Océane	Céline	Louis	Manisha	Mathéo	Mathieu	Tidéa
Lexique	- *(moitié / soustraire)*	+/- *(moitié)*	- *(le double / la moitié)*	- *(la moitié / soustraire)*	- *(le double / autant)*	- *(la moitié / autant)*	+
Comparaison	+	+/-	+/-	+	+	+	+
Mémoire	+	+	+	+	+	+	+
Logique	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+/-
Calcul mental	+/-	+/- *(lent)*	+/-	+ *(lent)*	+	+/-	+ *(lent)*

Tableau X. Observations des performances aux pré-requis et habilités numériques du niveau 2

2.1.3. Les pré-requis et habilités numériques du niveau 3

Au niveau 3, nous avons proposé le terme « retrancher » mais celui-ci n'était pas maîtrisé par les patients. Les enfants qui y ont été confrontés n'ont pas su répondre à la question de vocabulaire correspondante. Le terme « différence » est aussi compliqué pour les patients.

Pour la comparaison de nombres, les questions où les nombres sont écrits en lettres mettent Océane, Céline, Louis et Tidéa en difficultés (tableau XI), ce qui traduit un transcodage fragile. Les autres questions, écrites en code arabe, sont réussies.

Les questions de mémoire sont également réussies sauf Océane qui se trompe sur une des questions. Pour ce niveau, les enfants devaient mémoriser six formes ou six fruits et nous ne nous attendions pas à ce qu'ils réussissent presque tous, ce qui démontre que la stratégie de mémorisation mise en place est efficace.
Les questions de logique restent également compliquées sur ce niveau pour tous les patients, hormis Océane.

Enfin, les questions de calcul mental sont assez bien réussies, les patients vont récupérer de manière plus efficace, et plus fréquemment les faits arithmétiques en mémoire, malgré des calculs plus difficiles. Ils utilisent également des stratégies efficaces. Cependant, Louis, Mathieu et Tidéa ne réussissent pas tous les calculs et restent en difficulté dans ce domaine.

Patients / Cartes	Océane	Céline	Louis	Manisha	Mathéo	Mathieu	Tidéa
Lexique	*- (différence / multiplier)*	*- (ajouter / multiplier)*	+/- *(retrancher)*	+/- *(différence)*	+	+/- *(retrancher)*	+/- *(différence)*
Comparaison	+/- *transcodage*	+/- *transcodage*	+/- transcodage	+	+	+	+/- *transcodage*
Mémoire	+/-	+	+	+	+	+	+
Logique	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-
Calcul mental	+	+	-	+	+	+/-	+/-

Tableau XI. Observations des performances aux pré-requis et habilités numériques du niveau 3

2.2. Les problèmes

Lors des six séances, nous avons pu observer les difficultés rencontrées par les patients lors de la résolution des problèmes des différents niveaux.

2.2.1. Les problèmes du niveau 1

Les problèmes de type changement sont plus faciles à résoudre lorsqu'il s'agit de rechercher l'état final (six des sept patients réussissent, tableau XII, figure 4). En revanche, la recherche de l'état initial a été difficile pour cinq des sept patients et la recherche de la transformation pour trois des patients.

Les problèmes de type combinaison avec recherche de la mesure ont été plus difficiles uniquement pour la partition (pour six des sept patients).

Patients / Problèmes	Océane	Céline	Louis	Manisha	Mathéo	Mathieu	Tidéa
Changement (état initial)	M	M	M	M	M	+	+
Changement (transformation)	M	+	M	+	+	M	+
Changement (état final)	+	+	+	M	+	+	+
Combinaison (mesure)	M (partition)	+	M (partition)	M (partition)	M (partition)	M (partition)	M (partition)

Tableau XII. Observations des performances aux problèmes du niveau 1

+ = réussite à la question

M = réussite suite à la manipulation pour au moins un des problèmes

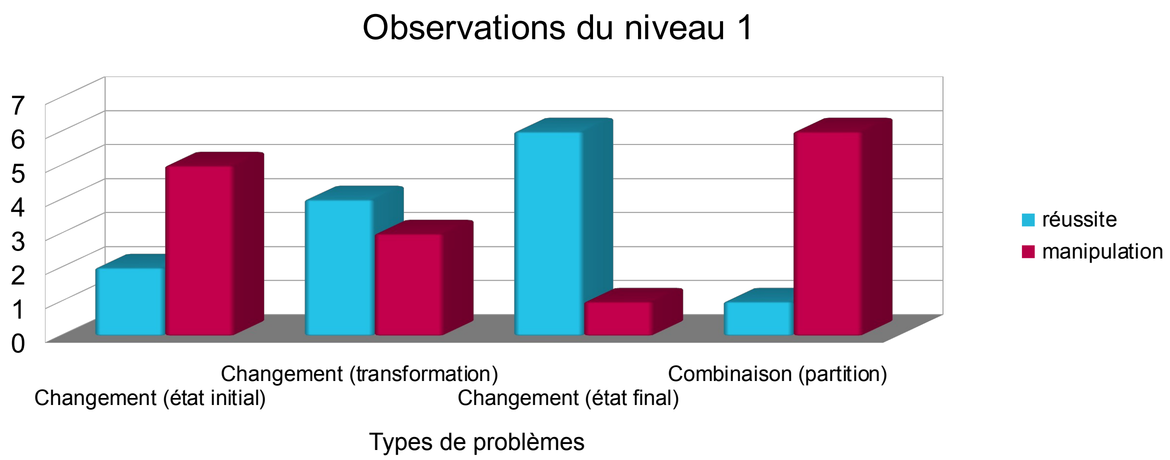


Figure 4. Graphique des observations du niveau 1

2.2.2. Les problèmes du niveau 2

Les problèmes de type transformation ont été plus difficiles pour cinq des sept enfants (tableau XIII, figure 5). En revanche, les problèmes de type proportionnalité n'ont mis en échec que deux enfants.

Les problèmes de type comparaison sont bien résolus lorsqu'il y a une recherche de la relation. En revanche, cela est plus compliqué pour tous les patients lorsqu'il y a une recherche de la 1ère ou 2ème mesure où la manipulation se révèle très efficace.

Patients / Problèmes	Océane	Céline	Louis	Manisha	Mathéo	Mathieu	Tidéa
Transformation (transformation composée)	+	+	M	M	M	M	M
Proportionnalité (valeur multipliée)	+	+	+	M	+	M	+
Comparaison (1ère ou 2ème mesure)	M	M	M	M	M	M	M
Comparaison (relation)	+	+	M	+	+	+	+

Tableau XIII. Observations des performances aux problèmes du niveau 2

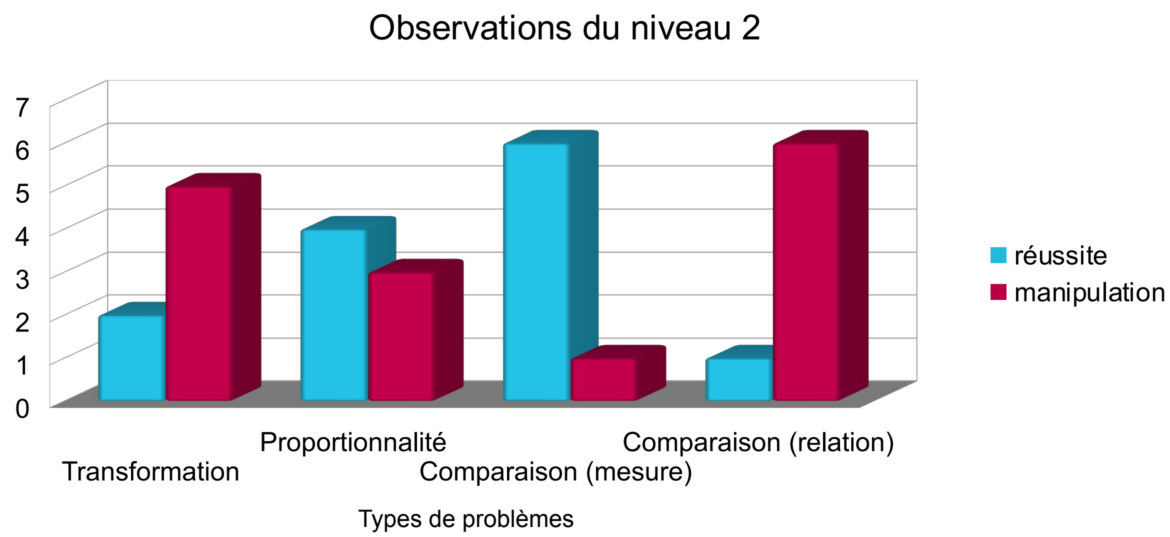


Figure 5. Graphique des observations du niveau 2

2.2.3. Les problèmes du niveau 3

Les problèmes de type proportionnalité avec recherche de la relation composée ont été plus difficiles pour l'ensemble des patients (tableau XIV, figure 6). La manipulation était très efficace pour ce type de problèmes.

Les problèmes de type comparaison avec recherche de la grandeur multipliée était relativement bien réussis, le terme « triple » n'était, la plupart du temps, pas acquis par les enfants.

Les problèmes de type changement complexes sont plus difficiles, mais principalement au niveau du maintien en mémoire des informations.

Enfin, les problèmes de type comparaison et combinaison complexes étaient également plus difficiles pour les patients.

Problèmes \ Patients	Océane	Céline	Louis	Manisha	Mathéo	Mathieu	Tidéa
Proportionnalité (relation composée)	M	M	M	M	M	M	M
Comparaison (grandeur multipliée)	+	M	+	M	+	+	+
Changement complexe	+	M	M	M	+	+	M
Comparaison / combinaison complexes	+	+	M	M	M	M	+

Tableau XIV. Observations des performances aux problèmes du niveau 3

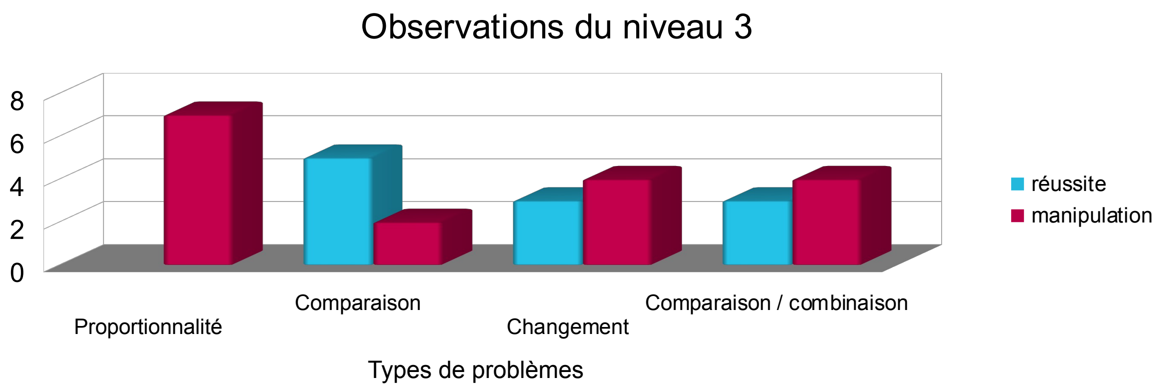


Figure 6. Graphique des observations du niveau 3

2.3. Attitudes et évolutions des patients au cours des séances

La complexité augmente avec les niveaux. Ainsi, il est intéressant de noter que certains patients réussissent des problèmes du niveau 3 de même type de problèmes que le niveau 1 mais qui sont plus complexes (changement, comparaison, combinaison), alors que les problèmes du niveau 1 les avaient mis en échec. C'est le cas par exemple d'Océane, Mathéo et Tidéa, cela traduit une progression dans la résolution des problèmes.

2.3.1. Océane

Nous avons pu observer une évolution de son comportement face aux problèmes : au début, elle semble un peu dépassée, répond souvent au hasard. Elle utilise beaucoup les doigts pour le calcul et n'a pas de stratégies efficaces. Lors du dernier niveau, elle est beaucoup plus à l'aise : elle cherche à trouver la réponse rapidement et sans manipulation, ce qui s'avère efficace. Le calcul est aussi plus simple pour elle, elle cherche en mémoire les résultats (faits arithmétiques) et compte moins sur les doigts.

2.3.2. Céline

Céline a des difficultés mais elle parvient, au début, à les contourner en utilisant les indices des problèmes (temps, mots-clés…) mais quand ces derniers deviennent plus complexes, elle est dépassée. La manipulation l'aide beaucoup car elle fait une représentation de chaque problème. Quand elle verbalise la stratégie employée, on constate que son raisonnement est atypique : elle s'appuie sur les indices des problèmes, notamment le temps des verbes, afin d'en faciliter leur compréhension et d'essayer de les visualiser. Nous notons que la résolution se fait au détriment d'un fort coût cognitif et d'une grande lenteur.

2.3.3. Louis

Louis a souvent eu recours à la manipulation, minimum une fois pour chaque type de problèmes pour bien comprendre la logique de l'énoncé, puis il s'approprie le « mécanisme » et arrive souvent à résoudre les autres sans manipuler. Il réclame la manipulation très rapidement quand il est démuni face à un problème.

2.3.4. Manisha

Manisha est plus à l'aise au fil des séances. Tout comme Louis, nous avons pu observer qu'elle a besoin de la manipulation quand elle est confrontée à un nouveau type de problèmes, et une fois qu'elle a compris le mécanisme, elle arrive, par la suite, à résoudre sans manipulation les mêmes types de problèmes.

2.3.5. Mathéo

Mathéo n'a pas de stratégies efficaces en calcul mental lors des premières séances : il n'utilise pas les doigts de manière efficiente. Peu à peu le calcul mental devient plus fluide et plus rapide car il récupère les calculs connus en mémoire.

2.3.6. Mathieu

Pour Mathieu, la nécessité de la manipulation fluctue selon son envie de participer (une séance a nécessité la manipulation pour tous les problèmes alors que la séance suivante, les problèmes étaient compris immédiatement, il donnait la réponse tout de suite et sans manipuler). Dans l'ensemble, une fois le mécanisme du calcul compris, il arrive à le réinvestir (hormis les problèmes de type proportionnalité qui restent complexes pour lui). Nous avons observé qu'il progressait en calcul mental au fil des séances.

2.3.7. Tidéa

Pour Tidéa, le choix des opérations à effectuer selon les problèmes a été longtemps difficile mais elle a beaucoup progressé : lors de la dernière séance où elle réussit tous les problèmes, elle est rapide et choisit systématiquement la bonne opération. Le calcul mental est aussi plus efficace, elle va rechercher dans sa mémoire les résultats de calculs connus et compte moins sur les doigts.

2.4. Comparaison avec la population témoin

Le matériel a été réussi bien plus aisément par la population témoin.

2.4.1. Aurore

Aurore obtient un score de 9/12 à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, soit +0,39 ET, ce qui la situe dans la moyenne attendue pour les enfants de son âge. Elle a estimé que le niveau 1 était « très facile », le niveau 2 « facile » et le niveau 3 « un peu plus difficile ». Cependant, hormis quelques questions où elle s'est précipitée, elle a réussi l'intégralité du jeu sans manipulation ; elle arrivait d'emblée à la bonne réponse avec une stratégie adaptée. Cette comparaison fut très intéressante car nous avons pu alors comparer les différentes stratégies utilisées. Aurore n'utilisait pas les doigts et les problèmes étaient compris immédiatement pour la plupart.

2.4.2. Florence

Florence obtient un score de 11/12 à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, soit +0,82 ET, ce qui la situe dans la moyenne attendue pour les enfants de son âge. Le niveau 1 ne lui a pas été proposé. Elle estime que le niveau 2 est « très facile » et le niveau 3, « un peu plus dur mais facile ». Elle répond correctement à tous les problèmes proposés et très rapidement.

3. Résultats aux épreuves de l'évaluation finale

Lors de l'évaluation finale, seules les épreuves du ZAREKI-R (tableau XV) ont été proposées. En effet, nous ne nous attendions à aucun progrès à l'E.CO.S.SE. Ce test nous avait permis, lors de l'évaluation initiale, d'exclure les patients ayant une mauvaise compréhension orale.

	Comptage / calcul			**Mémoire**	**Représentation sémantique du nombre**				**Problèmes**
Épreuves / Patients	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**8**	**10**	**12**	**11**
Océane	+0,78 ET	+0,67 ET	+1,27 ET	+0,33 ET	-0,47 ET	+0,86 ET	-1,17 ET	+0,25 ET	+0,46 ET
Céline	+0,78 ET	-2,00 ET	-0,56 ET	-3,00 ET	-0,12 ET	-2,77 ET	-0,75 ET	-7,25 ET	-0,96 ET
Louis	+1 ET	-0,28 ET	-0,25 ET	+0,53 ET	+0,35 ET	-0,57 ET	-1,68 ET	-3,71 ET	-0,58 ET
Manisha	+0,78 ET	+0,67 ET	-0,39 ET	+0,33 ET	-0,76 ET	-0,05 ET	+0,92 ET	+0,25 ET	+0,46 ET
Mathéo	+1 ET	+0,52 ET	+1,07 ET	+0,00 ET	+1,97 ET	+0,30 ET	+0,46 ET	+0,57 ET	-0,26 ET
Mathieu	-0,33 ET	+0,67 ET	-0,72 ET	+0,33 ET	+1 ET	+0,86 ET	-1,17 ET	+0,25 ET	+0,11 ET
Tidéa	+0,78 ET	+0,67 ET	-0,39 ET	+0,33 ET	-0,47 ET	-0,05 ET	+0,92 ET	+0,25 ET	+1,18 ET

Tableau XV. Résultats de l'évaluation finale en écart-type (ET)

Épreuve 2 : Comptage oral à rebours
Épreuve 3 : Dictée de nombres
Épreuve 4 : Calcul mental oral
Épreuve 5 : Lecture de nombres
Épreuve 7 : Répétition de chiffres
Épreuve 8 : Comparaison de deux nombres présentés oralement
Épreuve 10 : Estimation qualitative de quantité en contexte
Épreuve 11 : Problèmes arithmétiques présentés oralement
Épreuve 12 : Comparaison de nombres écrits.

- ET supérieur à + 1ET
- ET compris entre -1 ET et + 1 ET
- ET compris entre - 1 ET et -1,5 ET
- ET inférieur à -1,5 ET

3.1. Océane

Océane a progressé entre le post-test et le pré-test (tableau XVI, figure 7). À l'épreuve de *Calcul mental*, elle est plus rapide et plus efficace, une seule soustraction est fausse (contre cinq au pré-test) et les additions sont aussi mieux réussies. Le transcodage et le code arabe sont également mieux maîtrisés puisqu'elle éprouvait des difficultés aux épreuves de *Lecture et Dictée de nombres*, ce qui n'est plus le cas.

À l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Océane a énormément progressé. Lors du pré-test, elle semblait dépassée par les informations et elle n'arrivait pas à sélectionner la bonne opération pour résoudre les problèmes. Elle avait alors obtenu une note totale de 0/12 (contre 10/12 au post-test). Lors du post-test, Océane semble beaucoup plus à l'aise, elle comprend tous les problèmes, trouve les résultats et sa démarche est pertinente. Elle a besoin d'une répétition pour deux items car elle oublie les chiffres mais les énoncés sont compris.

Épreuve	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3,3	0,9	3	-0,33	4	0,78
Dictée de nombres (2)	15	1,5	13	-1,33	16	0,67
Calcul mental oral (3)	34,4	6,1	30	-0,72	42	1,25
Lecture de nombres (4)	15,6	1,2	15	-0,50	16	0,33
Répétition de chiffres (5)	13,6	3,4	12	-0,47	12	-0,47
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	14,1	2,2	8	-2,77	16	0,86
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	7,8	2,4	2	-2,42	5	-1,17
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	8,7	2,8	0	-3,11	10	0,46
Comparaison de nombres écrits (9)	9,9	0,4	10	0,25	10	0,25

Tableau XVI. Résultats du ZAREKI-R d'Océane

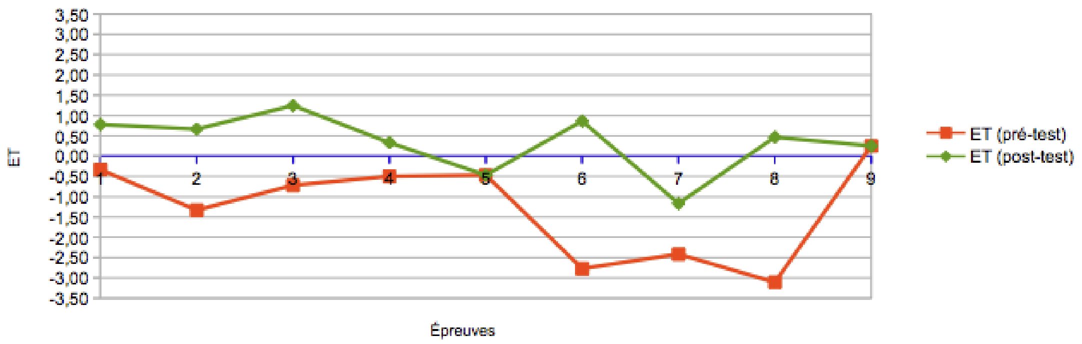


Figure 7. Graphique des résultats d'Océane au ZAREKI-R

3.2. Céline

Céline a peu progressé entre le post-test et le pré-test (tableau XVII, figure 8) car certains pré-requis aux problèmes ne sont pas maîtrisés et pas entraînés avec le matériel (base 10, transcodage). Certains pré-requis mériteraient d'être plus développés avant de travailler autour des problèmes.

Le transcodage et le code arabe n'étant pas maîtrisés, Céline n'est pas à l'aise dans les épreuves de *Dictée et Lecture de nombres* ; elle fait de nombreuses erreurs sur des notions qui devraient être acquises pour son âge. Aux épreuves de *Comparaison de nombres* elle est en grande difficulté, sa stratégie n'est pas efficace (elle commence soit à droite, soit à gauche pour comparer les chiffres de chaque nombre). L'épreuve *Calcul mental oral* est difficile pour Céline : elle lui demande beaucoup d'attention pour parvenir au résultat. Elle progresse de deux points aux additions et aux multiplications mais obtient un résultat identique aux soustractions. Elle compte systématiquement sur les doigts.

Enfin, lors de l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Céline arrive à répondre correctement à quatre problèmes sur six au post-test.

Épreuve	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3,3	0,9	4	0,78	4	0,78
Dictée de nombres (2)	15	1,5	8	-4,67	12	-2,00
Calcul mental oral (3)	34,4	6,1	28	-1,05	31	-0,56
Lecture de nombres (4)	15,6	1,2	13	-2,17	12	-3,00
Répétition de chiffres (5)	13,6	3,4	9	-1,35	14	0,12
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	14,1	2,2	10	-1,86	8	-2,77
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	7,8	2,4	5	-1,17	6	-0,75
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	8,7	2,8	5	-1,32	6	-0,96
Comparaison de nombres écrits (9)	9,9	0,4	9	-2,25	7	-7,25

Tableau XVII. Résultats du ZAREKI-R de Céline

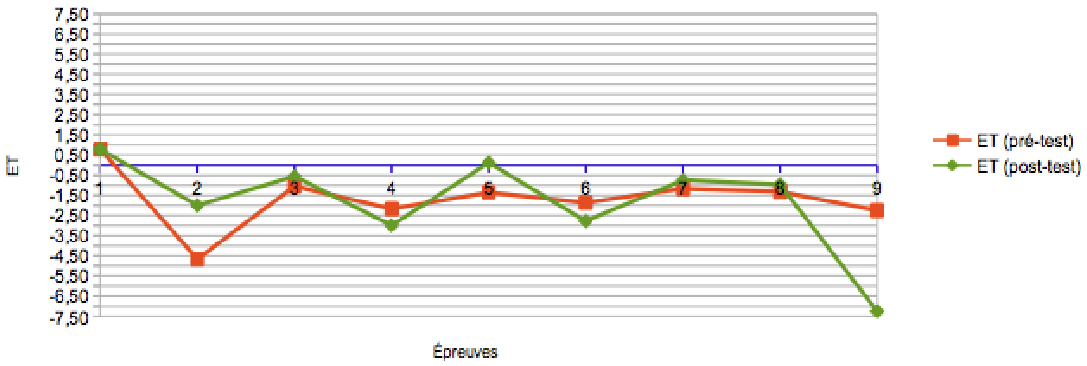


Figure 8. Graphique des résultats de Céline au ZAREKI-R

3.3. Louis

Louis n'a pas progressé entre le pré-test et le post-test (tableau XVIII, figure 9). Il est important de noter que Louis n'avait pas ses lunettes et qu'il était très fatigué lors de l'évaluation finale. À l'épreuve de *Dictée de nombres*, il échoue sur un item (14/16 en post-test contre 15/16 en pré-test). En *Calcul mental oral*, Louis obtient un score de 10/16 aux additions (contre 14 au post-test) et il fait des erreurs sur les retenues, ce qui n'était pas présent au pré-test (13+19 = 212 ; 17+25 = 312). Lors des soustractions, on note une forte progression (0/16 au pré-test contre 8/16 au post-test), mais il n'est pas à l'aise dans cette épreuve qui se fait au détriment d'un fort coût cognitif. À l'épreuve de *Comparaison de deux nombres écrits*, il avait obtenu un résultat de 9/10 au pré-test (ce qui le situait dans la moyenne attendue par rapport aux enfants de son âge) mais il échoue à cette épreuve lors du post-test (7/10). Ces résultats ne sont pas vraiment interprétables car Louis n'avait pas ses lunettes. En *Estimation qualitative de quantité,* Louis obtient 2/10 à cette épreuve (contre 1/10 au pré-test). Ses difficultés dans ce domaine peuvent entraver la résolution de problèmes au niveau du contrôle des résultats car Louis ne se corrigera pas s'il obtient un résultat incongru.

Enfin, à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Louis obtient 6/12 lors du post-test (contre 4/12 lors du pré-test), il semble plus à l'aise et il comprend l'intégralité des problèmes puisque ses erreurs portent sur le calcul pour 3 items. Il arrive à expliquer le calcul à réaliser pour l'ensemble des problèmes.

Épreuve	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3	1	4	1,00	4	1,00
Dictée de nombres (2)	14,7	2,5	15	0,12	14	-0,28
Calcul mental oral (3)	29,9	7,6	26	-0,51	28	-0,25
Lecture de nombres (4)	15	1,9	16	0,53	16	0,53
Répétition de chiffres (5)	12,9	3,1	12	-0,29	14	0,35
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	13,3	2,3	12	-0,57	12	-0,57
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	6,7	2,8	1	-2,04	2	-1,68
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	7,8	3,1	4	-1,23	6	-0,58
Comparaison de nombres écrits (9)	9,6	0,7	9	-0,86	7	-3,71

Tableau XVIII. Résultats du ZAREKI-R de Louis

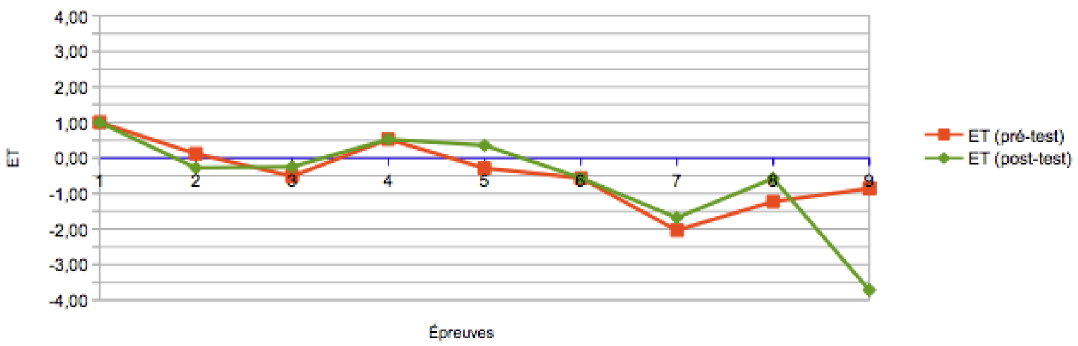


Figure 9. Graphique des résultats de Louis au ZAREKI-R

3.4. Manisha

Manisha a progressé entre le post-test et le pré-test (tableau XIX, figure 10). À l'épreuve de *Calcul mental oral*, les soustractions la mettent en difficulté (6/16). Cependant, on observe une nette amélioration pour les additions (4/16 au pré-test contre 14/16 au post-test) où Manisha est bien plus rapide et efficace. Cette épreuve lui demande beaucoup d'effort et elle arrive aux résultats au détriment d'un lourd coût cognitif. Le transcodage et le code arabe sont également mieux maîtrisés mais toujours difficile. Elle éprouvait des difficultés à l'épreuve de *Lecture de nombres*, ce qui n'est plus le cas. Aux épreuves de comparaison de nombres (écrit et oral), Manisha échoue à 1 item de cette épreuve lorsque les chiffres sont présentés oralement, le même que celui qui lui avait posé problème lors du pré-test. En revanche, lorsque les chiffres sont écrits, elle est plus à l'aise pour les comparer (10/10 au pré et au post-test).

Enfin, à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Manisha a beaucoup progressé (4/12 au pré-test contre 10/12 au post-test). Lors des épreuves initiales, elle semblait dépassée par les données, elle avait besoin d'une répétition pour mieux comprendre les problèmes, elle n'arrivait pas à choisir la bonne opération et elle présentait des difficultés à expliquer la manière dont elle arrivait au résultat. Lors de l'évaluation finale, Manisha réussit cinq problèmes sur les six, elle commet une erreur de calcul à un item mais son explication est correcte. Pour plusieurs items, elle parvient à trouver le résultat mais elle n'arrive pas à expliquer comment elle l'obtient car elle ne garde pas les chiffres en mémoire, en lien avec ses difficultés en mémoire de travail (empan envers de 2).

Épreuve	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3,3	0,9	3	-0,33	4	0,78
Dictée de nombres (2)	15	1,5	16	0,67	16	0,67
Calcul mental oral (3)	34,4	6,1	22	-2,03	32	-0,39
Lecture de nombres (4)	15,6	1,2	15	-0,50	16	0,33
Répétition de chiffres (5)	13,6	3,4	12	-0,47	11	-0,76
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	14,1	2,2	12	-0,95	14	-0,05
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	7,8	2,4	10	0,92	10	0,92
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	8,7	2,8	4	-1,68	10	0,46
Comparaison de nombres écrits (9)	9,9	0,4	10	0,25	10	0,25

Tableau XIX. Résultats du ZAREKI-R de Manisha

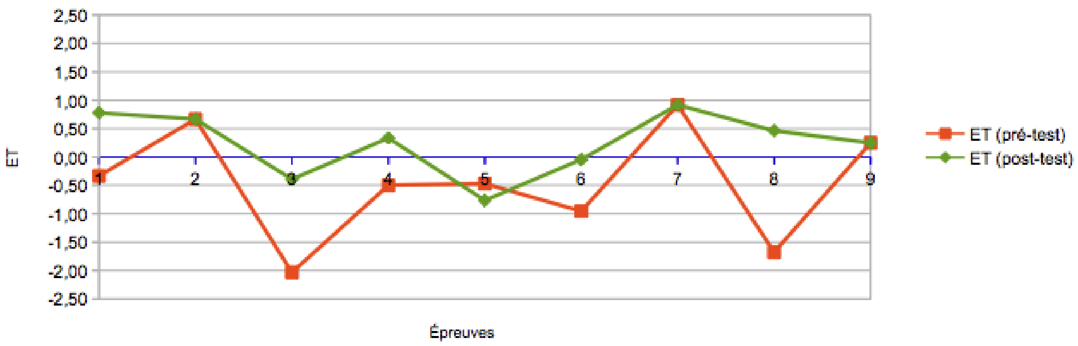


Figure 10. Graphique des résultats de Manisha au ZAREKI-R

3.5. Mathéo

Mathéo a progressé entre les deux évaluations (tableau XX, figure 11). Aux épreuves de *Dictée et Lecture de nombres*, il obtient de meilleurs résultats, ce qui montre qu'il est plus à l'aise dans le transcodage et le code arabe. À l'épreuve *Calcul mental oral*, Mathéo s'est également amélioré dans ce domaine, principalement pour les soustractions (4/16 au pré-test contre 10/16 au post-test). À l'épreuve de

Comparaison de deux nombres présentés oralement il n'a pas progressé, mais il reste dans la moyenne attendue pour des enfants de son âge. En revanche, il était en difficulté dans l'épreuve de *Comparaison de deux nombres écrits*, ce qui n'est plus le cas après le post-test (il obtient 10/10 contre 8/10 au pré-test).

Enfin, à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Mathéo obtient 7/12 lors du post-test (contre 3/12 lors du pré-test), il semble plus à l'aise, comprend l'intégralité des problèmes puisque ses erreurs portent sur le calcul pour 2 items et il demande une répétition de l'énoncé pour un item. Il arrive à expliquer le calcul à réaliser pour l'ensemble des problèmes.

Épreuves	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3	1	4	1,00	4	1,00
Dictée de nombres (2)	14,7	2,5	14	-0,28	16	0,52
Calcul mental oral (3)	29,9	7,6	30	0,01	38	1,07
Lecture de nombres (4)	15	1,9	14	-0,53	15	0,00
Répétition de chiffres (5)	12,9	3,1	15	0,68	19	1,97
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	13,3	2,3	14	0,30	14	0,30
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	6,7	2,8	5	-0,61	8	0,46
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	7,8	3,1	3	-1,55	7	-0,26
Comparaison de nombres écrits (9)	9,6	0,7	8	-2,29	10	0,57

Tableau XX. Résultats du ZAREKI-R de Mathéo

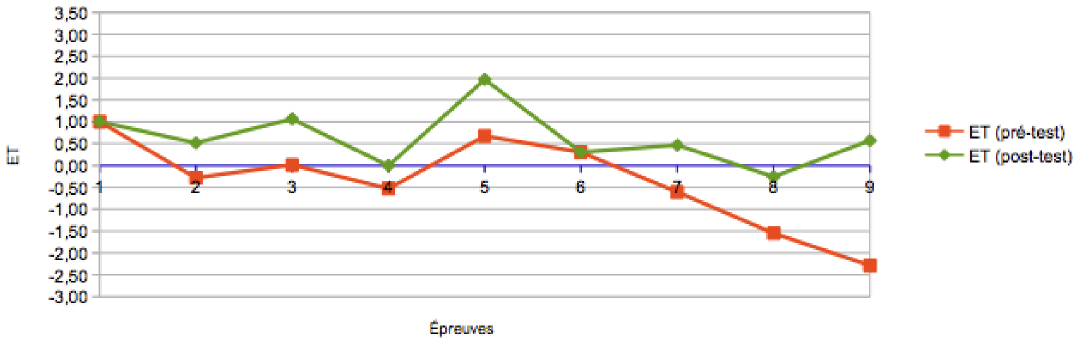


Figure 11. Graphique des résultats de Mathéo au ZAREKI-R

3.6. Mathieu

Mathieu a progressé entre le post-test et le pré-test (tableau XXI, figure 12). L'épreuve *Comptage à rebours* reste difficile car il a tendance à se précipiter et il fait une erreur au pré-test et au post-test. Cependant, il a progressé à l'épreuve de *Calcul mental oral* où il obtient un score de 8/16 aux additions (contre 2/10 au pré-test), 10/16 aux soustractions (contre 4/16 au pré-test). On note une lenteur, il utilise ses doigts mais pas toujours de manière très efficiente ; le calcul mental reste fragile. Les multiplications sont toutes réussies. En *Estimation qualitative de quantités en contexte*, il a progressé mais il est toujours en difficulté.

Enfin, à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Mathieu a beaucoup progressé (3/12 au pré-test contre 9/12 au post-test). Lors du pré-test, il semblait dépassé par les informations, il avait besoin d'une répétition de l'énoncé pour mieux comprendre le problème, il n'arrivait pas à choisir la bonne opération et il avait des difficultés à expliquer comment il obtenait le résultat. Lors du post-test, Mathieu réussit 5/6 problèmes, il a besoin d'une répétition pour un item et il répond au hasard à un autre. Pour les cinq problèmes réussis, ses explications sont cohérentes.

Épreuve	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3,3	0,9	3	-0,33	3	-0,33
Dictée de nombres (2)	15	1,5	16	0,67	16	0,67
Calcul mental oral (3)	34,4	6,1	18	-2,69	30	-0,72
Lecture de nombres (4)	15,6	1,2	16	0,33	16	0,33
Répétition de chiffres (5)	13,6	3,4	11	-0,76	17	1,00
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	14,1	2,2	14	-0,05	16	0,86
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	7,8	2,4	2	-2,42	5	-1,17
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	8,7	2,8	3	-2,04	9	0,11
Comparaison de nombres écrits (9)	9,9	0,4	10	0,25	10	0,25

Tableau XXI. Résultats du ZAREKI-R de Mathieu

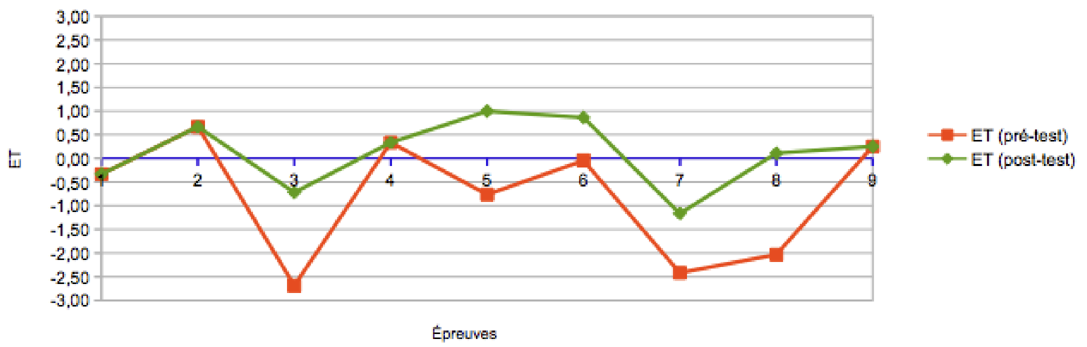


Figure 12. Graphique des résultats de Mathieu au ZAREKI-R

3.7. Tidéa

Tidéa a progressé entre le post-test et le pré-test (tableau XXII, figure 13). L'épreuve *Comptage à rebours* est réussie (4/4 au post-test contre 3 /4 au pré-test) bien que cela reste difficile (non fluide). À l'épreuve de *Calcul mental* Tidéa est bien plus rapide (au pré-test, cette épreuve avait été très laborieuse pour elle). On note tout de même qu'elle se déconcentre durant l'épreuve des additions. Pour les soustractions, Tidéa a progressé, en lien avec l'amélioration du comptage à rebours, mais on sent encore une fragilité. Le transcodage et le code arabe sont également mieux maîtrisés mais toujours fragiles. Elle éprouvait des difficultés à l'épreuve de *Lecture de nombres*, ce qui n'est plus le cas. Aux épreuves de comparaisons de nombres, Tidéa échoue à un item lorsque les chiffres sont présentés oralement, le même que celui échoué lors du pré-test. En revanche, lorsque les chiffres sont écrits, elle est plus à l'aise pour les comparer (10/10 au pré et au post-test).

Enfin, à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement*, Tidéa a beaucoup progressé (6/12 au pré-test contre 12/12 au post-test). Lors du pré-test, elle semblait dépassée par les informations, elle avait besoin d'une répétition pour mieux comprendre les problèmes, elle faisait des erreurs de calcul et elle avait des difficultés à expliquer comment elle obtenait le résultat. Lors du post-test, Tidéa semble beaucoup plus à l'aise, elle comprend tous les problèmes, trouve les résultats et sa démarche est pertinente.

Épreuve	Moyenne	ET	Note brute (pré-test)	ET (pré-test)	Note brute (post-test)	ET (post-test)
Comptage oral à rebours (1)	3,3	0,9	3	-0,33	4	0,78
Dictée de nombres (2)	15	1,5	16	0,67	16	0,67
Calcul mental oral (3)	34,4	6,1	26	-1,38	32	-0,39
Lecture de nombres (4)	15,6	1,2	15	-0,50	16	0,33
Répétition de chiffres (5)	13,6	3,4	15	0,41	12	-0,47
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	14,1	2,2	14	-0,05	14	-0,05
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	7,8	2,4	10	0,92	10	0,92
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	8,7	2,8	6	-0,96	12	1,18
Comparaison de nombres écrits (9)	9,9	0,4	10	0,25	10	0,25

Tableau XXII. Résultats du ZAREKI-R de Tidéa

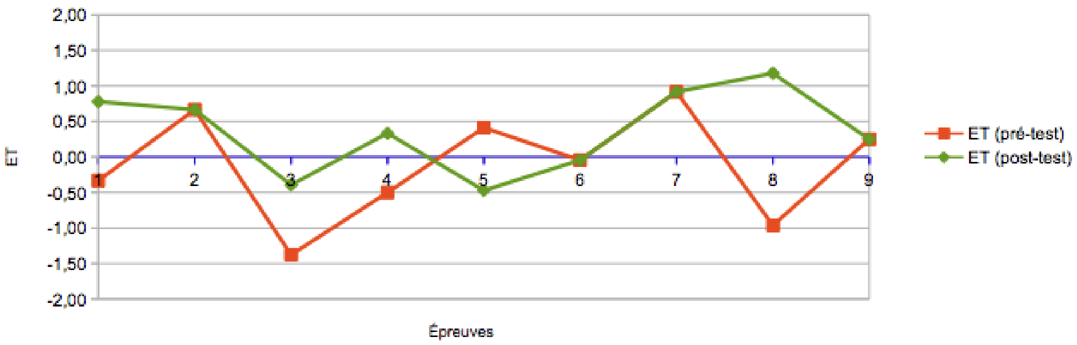


Figure 13. Graphique des résultats de Tidéa au ZAREKI-R

4. Progression moyenne des patients

On observe, qu'en moyenne, les patients ont progressé de 5 points sur 12 en ce qui concerne l'épreuve *Problèmes arithmétiques présentés oralement* du ZAREKI-R et de 7,57 points sur 42 pour l'épreuve de *Calcul mental oral* de la même batterie (tableau XXIII, figure 14).

Dans les autres épreuves, les patients ont progressé mais de façon moins significative. Seuls les résultats de l'épreuve *Comparaison de nombres écrits* ont diminué, mais cela peut s'expliquer par l'absence des lunettes de Louis lors de la deuxième passation et les résultats de Céline qui répond au hasard car elle n'arrive pas à comparer deux nombres aussi bien à l'oral qu'à l'écrit.

	Moyenne résultats pré-test	Moyenne résultats post-test	*Progression*
Comptage oral à rebours (1)	3,43	3,86	*0,43*
Dictée de nombres (2)	14,00	15,14	*1,14*
Calcul mental oral (3)	25,71	33,29	*7,57*
Lecture de nombres (4)	14,86	15,29	*0,43*
Répétition de chiffres (5)	12,29	14,14	*1,86*
Comparaison de deux nombres présentés oralement (6)	12,00	13,43	*1,43*
Estimation qualitative de quantités en contexte (7)	5,00	6,57	*1,57*
Problèmes arithmétiques présentés oralement (8)	3,57	8,57	*5,00*
Comparaison de nombres écrits (9)	9,43	9,14	*-0,29*

Tableau XXIII. Progression moyenne des patients aux épreuves du ZAREKI-R

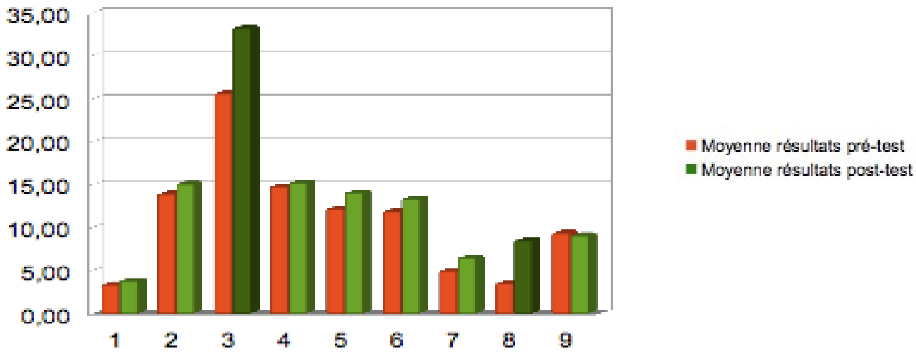


Figure 14. Comparaison des résultats moyens entre les deux évaluations (initiale et finale)

5. Réponses au questionnaire

Lors de la dernière séance nous avons proposé aux patients un questionnaire (annexe 10) afin d'avoir leur ressenti sur notre matériel (figure 15). Nous pouvons observer que le matériel a été apprécié par les enfants. À l'unanimité, ils ont aimé le jeu et ils voudraient y rejouer.

Océane n'a pas aimé les petites cartes car elles ralentissaient le jeu. Elle s'est lancé le défi de réussir le dernier niveau sans celles-ci et grâce à son défi, elle a beaucoup progressé.

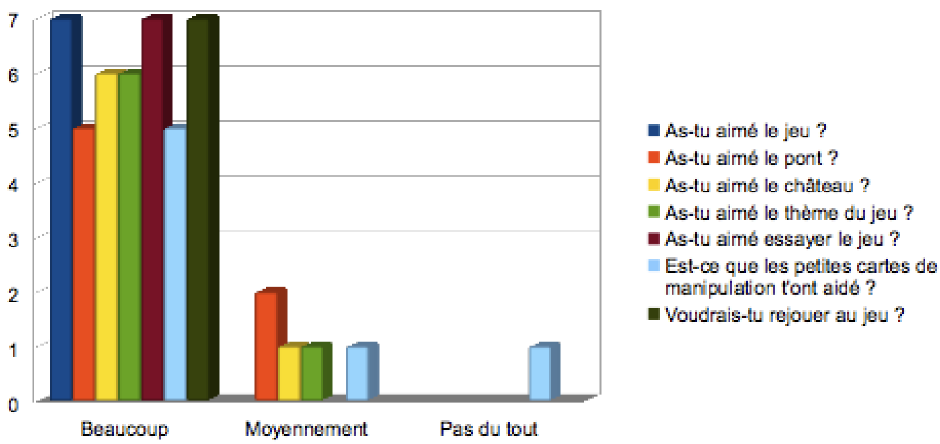


Figure 15. Graphique des résultats au questionnaire (N=7)

Discussion

1. Discussion autour de nos résultats

Dans le but de vérifier l'efficacité de notre matériel, nous avons évalué sept enfants avant et après six séances autour du jeu, à l'aide de la batterie du ZAREKI-R. Les résultats ayant été présentés au préalable, nous allons, dans un premier temps, exposer nos analyses puis, nous soulèverons les points positifs de notre travail, les difficultés rencontrées ainsi que les limites de notre étude. Enfin, nous terminerons par les poursuites éventuelles qui peuvent être envisagées.

1.1. Analyse de l'effet du matériel

Des progrès pour cinq des sept patients sont notables. Nous avons pu observer qu'ils étaient plus à l'aise dans la résolution des problèmes au fil des séances, progrès également mentionnés par les orthophonistes qui les prenaient en charge. Entre les deux évaluations, les patients ont progressé, en moyenne de 5 points à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement* (épreuve sur 12 points) du ZAREKI-R. Par ailleurs, nous avons également observé des progrès à l'épreuve de *Calcul mental oral* (de 7,42 points en moyenne sur 42). Nous supposons que l'amélioration des performances en calcul mental est la conséquence de l'entraînement (une demi-heure par semaine avec le matériel) autour de calculs simples et répétitifs. En effet, nous avions fait le choix dans nos énoncés de problèmes d'utiliser des nombres compris entre 1 et 16 ; les calculs étaient donc redondants, ce qui a favorisé la mémorisation de calculs simples, des faits arithmétiques.

Ces cinq patients ne présentaient pas une dyscalculie pure mais plutôt un retard important dans les apprentissages logico-mathématiques. Nous précisons qu'ils bénéficiaient tous d'un soutien scolaire dans ce domaine mais que celui-ci n'était pas suffisant. Le fait de proposer un matériel attrayant (thème de la sorcellerie) leur a permis de dépasser leurs angoisses liées aux mathématiques, le temps du jeu. En effet, nous avons noté une réelle évolution au niveau de leur comportement face au matériel. Au début, ils appréhendaient la résolution des problèmes auxquels ils allaient être confrontés. Cependant, la redondance, le thème et l'aide des cartes de manipulation leur ont permis de prendre confiance en eux. Ils ont pu voir qu'ils arrivaient tout seul au résultat grâce aux cartes et n'étaient pas en échec. Quand ils étaient confrontés à un problème dont la structure était similaire à un déjà rencontré, souvent, ils réinvestissaient leurs connaissances et étaient fiers de nous montrer qu'ils réussissaient. Peu à peu, ils ont pris confiance en eux, leur aisance progressive dans les problèmes a été notable. Le plus visible a été la redondance des calculs qui leur a permis de mémoriser des faits arithmétiques. Ainsi, ils répétaient souvent « on vient de le voir » ou « c'est pareil que tout à l'heure » et au lieu de recompter sur les doigts comme la fois précédente, ils essayaient de se souvenir du calcul. Enfin, le fait d'être à l'aise avec des « petits chiffres », ils ont pu mettre en place des stratégies de calcul plus efficientes.

Pour deux patients, la progression est plus limitée mais présente. En effet, Louis est arrivé le jour du post-test sans ses lunettes et épuisé par sa journée sans celles-ci. Notre erreur a été de proposer l'évaluation à ce moment-là, pour des raisons d'organisation, au lieu de la reporter. Il dit lui-même durant l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présenté oralement* qu'il n'arrive pas à retenir les chiffres car il est trop fatigué.

En ce qui concerne Céline, elle est actuellement en classe de CM2 mais ses difficultés dans le domaine des mathématiques étant si massives (non maîtrise du code arabe et du transcodage à partir des milliers voire des centaines, difficulté à comparer deux nombres, etc.) que le matériel ne semblait pas adapté à son niveau. Cependant, il fut intéressant d'observer ses stratégies de compensation et de contournement dans la résolution de problèmes. En effet, au prix d'un fort coût cognitif et d'une grande lenteur, elle parvenait à résoudre de nombreux problèmes et elle se situe dans la moyenne faible par rapport aux enfants de son âge (alors qu'elle obtient -7,25 ET à l'épreuve de *Comparaison de nombres écrits*, -2 ET et - 3 ET aux épreuves de *Dictée et Lecture de nombres*). Les problèmes présentés dans notre matériel comportent des nombres assez petits, ce qui lui permet d'être moins gêné par ses difficultés (surtout présentes avec des grands nombres).

1.2. Critiques de la méthodologie

La méthodologie utilisée est sujette à différentes critiques et elle a pu influencer certains résultats. Nous avons observé et détaillé précédemment une progression chez nos patients dans la résolution de problèmes arithmétiques. Cependant, ces résultats doivent être nuancés pour diverses raisons.

Tout d'abord, notre population étant restreinte et très hétérogène, il semble difficile de généraliser nos observations et évaluations. En effet, nous avons vu seulement sept patients avec des profils très différents mais qui correspondent à la réalité clinique dans ce domaine.

De plus, les exigences de temps et d'organisation nous ont contraints à proposer les deux évaluations dans des délais peu espacés. Or, pour estimer l'impact d'une rééducation, il est généralement recommandé de faire les pré- et post-tests avec six mois d'intervalle minimum. Cela n'a pas été réalisable lors de notre expérimentation, puisque seulement trois mois se sont écoulés entre les deux évaluations. Ainsi, les progressions observées peuvent être aussi influencées par un effet « test-retest », c'est-à-dire que les patients pouvaient éventuellement se souvenir des épreuves, ce qui représente un biais dans notre étude.

Par ailleurs, les énoncés de notre matériel possèdent des structures similaires aux items de l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralement* du ZAREKI-R, notamment les problèmes de type comparaison. Ainsi, notre entraînement, assez conséquent autour de ces structures, facilite logiquement la résolution de ces problèmes.

Nous pouvons relever un autre biais dans notre étude, à savoir que deux des sept patients bénéficiaient d'une prise en charge orthophonique juste avant ou après la séance sur matériel, ce qui les fatiguait et pouvait ainsi avoir une répercussion sur nos résultats.

Enfin, les progressions observées et nos résultats ne sont pas seulement le fait du matériel puisque les problèmes sont également étudiés en classe, ce qui a contribué à la progression des patients durant les trois mois, sachant que l'étalonnage choisi n'a pas évolué entre temps. Par ailleurs, les patients continuaient à être pris en charge en orthophonie une fois par semaine, puisque notre travail ne pouvait pas remplacer une séance d'orthophonie. En effet, ne connaissant pas l'impact de notre travail et n'exerçant pas encore, nous ne pouvions pas priver les patients de trois mois de prise en charge. Ainsi, le travail mené durant ces séances d'orthophonie a probablement influencé les résultats. Afin d'éviter ce biais, nous aurions pu proposer le pré-test et le post-test à une population témoin qui n'aurait pas été confrontée à notre matériel, les patients auraient alors uniquement bénéficié d'une prise en charge orthophonique. La comparaison entre la progression de la population témoin et celle de nos patients aurait permis d'affirmer l'impact réel de notre matériel.

1.3. Comparaison avec la population témoin

Afin de pouvoir situer nos patients par rapport aux normes attendues à leur âge et de savoir comment des enfants tout venant s'approprient notre matériel et réagissent face aux différents problèmes, nous avons proposé le matériel à deux enfants n'ayant pas de prise en charge orthophonique, une scolarisée en classe de CM1 et une autre scolarisée en classe de CM2.

Ces observations ont été très riches et nécessaires. En effet, plus nous observions les enfants en difficulté dans les problèmes, plus nous commencions à douter que le niveau de notre matériel était adapté et accessible. Certains problèmes semblaient très difficiles pour les patients de l'étude. Nous les avons alors proposés aux enfants de la population témoin et ils ont été réussis sans aucune difficulté. Nous pouvons préciser que la population témoin a réussi avec aisance l'ensemble des problèmes de notre matériel ; seul le niveau 3 leur a semblé un peu plus compliqué mais elles n'ont pas commis d'erreurs.

Nous avons pu alors nous rendre compte de l'écart présent entre des enfants en difficulté et des enfants plus à l'aise dans le domaine des mathématiques (population témoin). Cette comparaison nous a permis de réajuster nos attentes. Il aurait pu être intéressant d'avoir une population témoin plus importante.

1.4. Validation ou infirmation de nos hypothèses

Cherchons maintenant à savoir si nos hypothèses de départ sont validées ou s'infirment au vu des séances, des observations et des évaluations.

Pour rappel, nos hypothèses étaient les suivantes :

<u>Hypothèse 1 :</u> la manipulation dans la résolution des problèmes arithmétiques faciliterait leur compréhension.

<u>Hypothèse 2</u> : l'utilisation de notre matériel permettrait une amélioration des performances en résolution de problèmes arithmétiques.

À la suite des différentes observations, de nos recherches théoriques et des résultats aux évaluations, nous pouvons valider la première hypothèse : la manipulation permet aux enfants de se faire une représentation de l'énoncé arithmétique. En effet, en laissant manipuler les patients sans donner aucune consigne verbale, ils comprenaient, le plus souvent seuls, et parvenaient au résultat sans difficulté. Les problèmes qui ont parfois nécessité une aide verbale de l'orthophoniste, pour guider l'enfant dans son raisonnement, sont les problèmes de type comparaison et de type proportionnalité. Par ailleurs, nous avons observé que pour les problèmes de type proportionnalité, pouvant être résolus soit par multiplication soit par addition, la manipulation aidait à la compréhension du problème mais non au choix de l'opération. Ainsi, des enfants continuaient à additionner alors que la multiplication était plus pertinente. Notons que plusieurs études comme celles de Barenton (2003) et Hersent (2011) avaient déjà mis en évidence un lien entre la compréhension des problèmes arithmétiques et la manipulation. Notre travail vient renforcer ces différents travaux pour des enfants scolarisés en classe de CM1 et de CM2.

En ce qui concerne la deuxième hypothèse, elle est validée par l'évaluation finale qui met en avant une nette progression à l'épreuve des *Problèmes arithmétiques présentés oralemen*t du ZAREKI-R, avec en moyenne, une progression de 5 points (sur 12). Cependant, au vu des critiques préalables, nous notons que la progression n'est pas exclusivement la conséquence des séances autour du matériel mais celle de multiples facteurs (prise en charge orthophonique en parallèle, entraînement spécifique proche de l'épreuve, problèmes travaillés également à l'école, etc.). Nous pouvons tout de même valider l'hypothèse compte tenu de l'importante progression de nos patients.

2. Discussion autour du matériel élaboré

Dans cette partie, nous allons développer le ressenti des enfants vis-à-vis de notre matériel, mais aussi notre propre ressenti. Nous exposerons également les difficultés rencontrées.

2.1. Les retours des patients

Le matériel a été, à l'unanimité, bien accueilli par les enfants. Le fait de travailler de manière ludique, sur un thème qui les intéresse, leur a plu.

Plusieurs anecdotes illustrent leur implication dans notre travail et leur ressenti. Tout d'abord, nous avons observé, que tous, se souvenaient systématiquement de l'endroit où nous nous étions arrêtés la séance précédente. Par ailleurs, les orthophonistes des patients ont, toutes, eu de très bons retours des enfants. Quatre des sept patients ont visiblement manifesté leur désir de continuer les séances avec le matériel, à l'instar d'Océane qui souhaitait vivement recommencer le jeu depuis le début ou de Louis qui a réclamé à plusieurs reprises, après la fin des séances, de revenir pour travailler avec le matériel. Enfin, Mathéo et Louis, qui étaient dans la même classe, comparaient à l'école leurs progressions au sein du « château ».

Ces différents retours nous ont confortés dans l'idée que le matériel était attrayant. Par ailleurs, les questionnaires proposés aux enfants en fin de passation ont confirmé ces ressentis puisque l'ensemble des patients ont répondu qu'ils avaient beaucoup aimé le matériel et qu'ils auraient voulu y rejouer (y compris la population témoin). L'envie et la motivation des patients ont participé à leur progression notamment pour deux patients : Océane et Mathieu qui se sont de plus en plus impliqués aux cours des séances.

2.2. L'avantage d'un tel matériel

Notre ressenti concernant le matériel est plutôt positif. Nous avons pris plaisir, au cours de ces trois mois à travailler autour du matériel.

Les trois niveaux, les différents types de problèmes et les différents pré-requis et habilités numériques travaillés permettent de diversifier le jeu afin qu'il ne soit pas trop redondant. Pour les besoins de notre étude, nous avons proposé l'intégralité du matériel aux enfants, cependant dans notre pratique future, les trois niveaux permettront de nous adapter à chaque patient. Par ailleurs, les différents symboles ou fleurs de couleur en haut des cartes permettent de choisir le type de problème que nous souhaitons travailler, ou pour les pré-requis et habilités numériques, cibler un domaine en particulier. Ainsi, le matériel permet une véritable adaptation et peut être utilisé de manière très différente (par exemple, travailler seulement les pré-requis et habilités numériques ou les problèmes car les plateaux sont séparés, sélectionner certains problèmes ou certains pré-requis et habilités numériques, etc.).

2.3. Difficultés rencontrées lors de la conception du matériel

Lors de la conception du matériel, le plus difficile, pour nous, a été de créer des questions visant des enfants scolarisés en CM1 et CM2 sans qu'elles ne soient trop scolaires. Le but étant de travailler la compréhension des énoncés arithmétiques et non le contenu, nous avons choisi des nombres inférieurs à 16. Cependant, à l'école, les problèmes auxquels les enfants sont confrontés, contiennent des nombres plus importants. Ils travaillent également la notion de mesure (mètres), volume (litres), etc. Autant de domaines dont nous avons fait le choix de ne pas aborder. Ainsi, les problèmes sélectionnés ont en commun certaines structures avec les problèmes plus scolaires (type de problèmes).

Par ailleurs, nous avons été confrontés à l'effet dit « d'apprentissage » : en travaillant sur certains types de problèmes, les enfants étaient amenés à les rencontrer à plusieurs reprises. Ainsi nous avons décidé de faire deux cartes par type de problèmes pour chaque salle (les cinq salles du château). La formulation était alors modifiée mais pas la structure de base. De même, les éléments des problèmes étaient modifiés selon les salles. Ces deux stratégies doivent permettre de limiter cet effet d'apprentissage. Mais celui-ci est difficile à analyser.

Nous avons comparé, dans la partie « Résultats », les réussites aux différents types de problèmes. Cependant, on peut noter que la formulation des problèmes influe sur leur réussite et ainsi, même si les types de problèmes sont définis, la manière dont ils sont rédigés a un rôle important dans leur résolution. Nous notons également que les difficultés rencontrées lors de la formulation nous ont conduits à ne pas présenter certains problèmes de type transformation. Pour les problèmes de type combinaison, nous pouvons noter l'influence de la formulation du problème dans sa réussite ou non avec l'emploi du « dont ».

Lors de la création du matériel, nous nous somme interrogés sur le lexique mathématique à proposer aux enfants. Pour cela, nous avons essayé plusieurs termes auprès d'enfants tout venant scolarisés en CM1 et CM2, et nous avons également comparé avec du matériel déjà existant. Cependant, au vu des retours des enfants de l'étude (patients et population témoin), le choix des termes « triple » et « retrancher » n'était pas judicieux. En ce qui concerne le terme « triple », il n'était pas acquis par tous mais une fois expliqué, les enfants ont su le réinvestir lors des séances suivantes puisque ce terme revenait à plusieurs reprises dans le niveau 3. Le terme « retrancher » est plus complexe et les enfants ne le connaissaient pas (y compris la population témoin). Il semblerait plus approprié de le supprimer du matériel.

Enfin, nous nous sommes posé la question du placement de la question. Certains auteurs comme Ménissier (2011) affirment que lorsque la question est placée en début d'énoncé, la résolution du problème est facilitée car les enfants peuvent sélectionner les éléments pertinents pour y répondre. Nous avons fait le choix de l'appliquer au niveau 1. Cependant, la position initiale de la question a perturbé certains patients notamment car à l'école la question est généralement placée en fin d'énoncé et ainsi ce type de présentation est peu courant. Nous avons alors observé que les enfants avaient tendance à la relire. Nous avons également fait le choix de la souligner pour la mettre en avant et que l'enfant puisse adapter sa stratégie.

3. Apports personnels

Les nombreuses recherches réalisées ont été, pour nous, l'occasion d'enrichir nos connaissances théoriques dans le domaine logico-mathématique. Par ailleurs, la création du matériel et sa proposition à des enfants en difficulté dans le domaine logico-mathématique nous ont permis d'avoir un aperçu de notre pratique future en tant qu'orthophoniste. En effet, nous avons évalué les patients puis nous les avons suivis régulièrement pendant trois mois. Nous étions également en lien avec les parents et les orthophonistes des patients, ce qui était d'une grande richesse.

L'hétérogénéité des patients nous a permis de développer notre regard clinique car nous devions nous adapter à chaque patient, son rythme, ses difficultés ; adapter nos façons de faire en fonction de leurs connaissances et de leurs stratégies.

Enfin, le fait d'avoir deux enfants témoins du même âge que les patients suivis a facilité le réajustement de nos attentes.

4. Ouvertures et propositions

4.1. A propos de la population

Il semblerait intéressant d'étendre cette étude à d'autres populations confrontées aux problèmes arithmétiques à l'école ou au collège. Ce fut le cas cette année car trois mémoire traitent de la résolution de problèmes, dont deux ciblant des élèves scolarisés en classe de CE1 et CE2. L'année dernière, un mémoire concernant la résolution de problèmes avait été réalisé auprès de collégiens. Ces différents travaux entrepris sur le même thème montrent le manque de matériel concernant les problèmes et le désir d'enrichir nos connaissances en logico-mathématique et troubles du calcul.

4.2. A propos du matériel

Les problèmes choisis pour cette étude concernent les problèmes additifs (additions et soustractions) et les problèmes multiplicatifs (multiplications mais pas la division). Ainsi, il pourrait être intéressant de créer un matériel sur les problèmes multiplicatifs en incluant la division, soit pour l'introduire et donc sur la même population que notre étude ; soit pour des collégiens et ainsi la travailler de manière plus approfondie.

Par ailleurs, il pourrait être intéressant de proposer le post-test à distance afin de voir si les acquisitions mises en place à court terme l'étaient aussi à moyen et long terme. Le maximum de temps entre la dernière séance et le post-test était de deux semaines pour Manisha et Tidéa. Ainsi, nous pourrions savoir si les compétences travaillées sont acquises et généralisées.

Enfin, il pourrait être intéressant de proposer ce matériel, notamment le niveau 1, à des enfants présentant un déficit intellectuel car la manipulation pourrait les aider. Le matériel a été présenté à deux orthophonistes travaillant auprès d'enfants présentant, entre autres, une déficience intellectuelle, et, pour elles, ce type de matériel pourrait être très intéressant avec leurs patients.

Conclusion

Le domaine du calcul et du raisonnement logico-mathématique est très vaste. Pour cette étude, nous avons décidé de travailler autour de la résolution de problèmes arithmétiques. Nous nous sommes appuyés sur les classifications des problèmes de Vergnaud (1982, 1991), Riley (1983) et Ménissier (2011) afin de réaliser un matériel de rééducation orthophonique basé sur le jeu.

Notre objectif était de créer un matériel de manipulation permettant de faciliter la compréhension des énoncés arithmétiques chez des enfants scolarisés en CM1 et CM2. Pour cela, nous l'avons proposé à sept enfants âgés de 9 et 10 ans durant six séances. Nous avons également réalisé des évaluations initiales et finales à l'aide de la batterie ZAREKI-R et de l'E.CO.S.SE, afin d'observer les progrès des patients.

La comparaison des résultats a mis en avant une nette progression dans le domaine des problèmes arithmétiques. Néanmoins, en raison de l'hétérogénéité des profils des enfants et leur faible nombre, il reste difficile de généraliser ces résultats.

Les différentes observations nous ont permis de constater les différentes stratégies utilisées par les enfants ainsi que les problèmes les plus difficiles pour eux. La comparaison avec deux enfants n'ayant pas de difficulté dans le domaine du calcul et du raisonnement mathématique a mis en avant les différences de stratégies utilisées et le niveau qui serait attendu par les patients pris en charge.

L'apport de la manipulation a été très visible lors des séances. Lorsqu'ils étaient en difficulté, les enfants arrivaient à résoudre les problèmes avec les cartes en décomposant les étapes car elles permettaient de visualiser les énoncés.

Bibliographie

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION (2013). *DSM V. Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, 5ème édition.* Paris : Masson.

BADDELEY A.D., HITCH G. (1974) « Working memory », in G. Bower (Ed.) *The psychology of learning and motivation*, vol 8, New-York : Academic Press.

BARENTON C. (2003). *(Re)présentation des problèmes : étude de l'importance de la présentation d'un problème auprès d'enfants âgés de 8 ans 6 mois à 11 ans 6 mois.* Mémoire pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste. Lille 2.

BAROUILLET P., FAYOL M., LATHULIERE E. (1997). « Selecting between competitors in multiplication tasks : An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties » in : *International Journal of Behavioral Development*.

BRIN F. (2006). *Dictionnaire d'orthophonie*. Isebergues : Ortho Edition

BUTTERWORTH B. (1999). *The Mathematical Brain*. London : Macmillan

BUTTERWORTH B. (2005). « Developmental dyscalculia » in J.I.D. CAMPBELL. *Handbook of Mathematical Cognition*. New York : Psychology Press.

DELLATOLAS G., VON ASTER M. (2006). *ZAREKI-R. Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant.* Montreuil Sous Bois : ECPA.

DEHAENE S., COHEN L. (1995). « Towards an anatomical and functionnal model of number processing » in : *Mathematical Cognition*.

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

FAYOL M., BAROUILLET P., MARINTHE C. (1998). « Predicting arithmetical achievement from neuro psychological performance : A longitudinal study » in *Cognition*.

FAYOL M., CAMOS V., ROUSSEL J. (2000). « Acquisition et mise en œuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans » in : *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres.* Marseille : Solal

GEARY D. (1993). « Mathematical disabilities : Cognitive, neuropsychological and genetic components » in : *Psychological Bulletin*.

GEARY D., HOARD M., HAMSON C. (1999). « Numerical ad arithmetical cognition : patterns of functions ans deficits in children at risk for a mathematical disability ». *J Exp Child Psychol*.

GEARY D. (2005). « Les troubles d'apprentissage en arithmétique : rôle de la mémoire de travail et des connaissances conceptuelles » in NOËL M-P. *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant.* Marseille : Solal.

GELMAN R., GALLISTEL C. (1978). *Child's understanding of number.* Cambridge MA : Harvard University Press.

GROSS-TSUR V., MANOR O., SHALEV R.S. (1996). « Developmental dyscalculia : prevalence and demographic features » in : *Developmental Medecine ans Child Neurology*.

HABIB M., NOËL M-P., GEORGE-PORACCHIA F., BRUN V. (2011). *Calcul et dyscalculies. Des modèles à la rééducation.* Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson

HABIB M. (2014). La constellation des dys. Bases neurologiques de l'apprentissage et de ses troubles. Paris : De Boeck-Solal

HERSENT S. (2011). *(Re)présentation de problèmes mathématiques : influence de la présentation, pour la compréhension d'énoncés, de problèmes auprès d'enfants du CE2 à la 5ème*. Mémoire pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste. Lille 2.

KOSC L. (1974). « Developmental dyscalculia » in : *Journal of Learning Disabilities*.

JEUGE-MAYNART I. et al. (2012). Le Petit Larousse Illustré 2013. Paris : Larousse

LECOCQ P. (1996). *L'E.CO.S.SE Épreuve de compréhension syntaxico-sémantique.* Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion.

LUSSIER F., FLESSAS J. (2001). *Neuropsychologie de l'enfant. Troubles développementaux et de l'apprentissage.* Paris : Donud.

MAZEAU M. (2005). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages. Du symptôme à la rééducation.* Issy-les-Moulineaux : Masso

MC CLOSKEY M., CARAMAZZA A., BASILI A. (1985). « Cognitive mechanisms in number processing and calculation : evidence from dyscalculia » in : Brain and Cognition.

MENISSIER A. (2002). *Point d'interrogation n°1 : Résolution de problèmes additifs et soustractifs, CD.* Isbergues : Ortho Edition.

MENISSIER A. (2005). « Les mots du vocabulaire mathématique ». Rééducation orthophonique : L'orthographe lexicale. Paris

MENISSIER A. (2006). *Point d'interrogation n°2 : Résolution de calculs et de problèmes multiplicatifs, CD.* Isbergues : Ortho Edition.

MÉNISSIER (2011) « Analyser, comprendre et travailler les problèmes arithmétiques » *in :* HABIB M., NOËL M-P., GEORGE-PORACCHIA F., BRUN V. *Calcul et dyscalculies. Des modèles à la rééducation.* Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson

Ministère de l'Éducation Nationale (2008). « Programmes d'enseignement de l'école primaire ». *BO N°3, 19 juin 2008, Hors-série.*

MONUTEAUX M.C., FARAONE S.V., HERZIG K, NAVSARIA N., BIEDERMAN J. (2005). « ADHD and dyscalculia : Evidence for independent familial transmission » in : *Journal of Learning Disabilities*.

NOËL M-P (2009). « La dyscalculie de l'enfant : une difficulté dans le calcul et le traitement du nombre » in : PONCELET M., MAJERUS S., VAN DER LINDEN M. *Traité de Neuropsychologie de l'Enfant*. Marseille : Solal.

NOËL M-P et al. (2014). « La dyscalculie développementale : à la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux ». *Développements* 2014/2 n°15, p.24-31. Bruxelles : De Boeck Supérieur.

Organisation mondiale de la santé (OMS) (2000). CIM-10 / ICD 10. Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement : critères diagnostiques pour la recherche. Paris : Masson.

RILEY M.S., GREENO J.G, HELLER J.I (1983). « Development of children's problem-solving ability in arithmetic » in : GINSBOURG H.P. *The development of mathemetical thinking.* New York : Academc Press.

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

VAN NIEUWENHOVEN C., DE VRIENDT S. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et supports d'intervention.* Marseille : Solal.

VERGNAUD G. (1982). « Multiplicative structures » in LESH R. et LANDAU M. *Acquisition of mathematic concepts and processes.* New York : Academic Press.

VERGNAUD G. (1991). *L'enfant, la mathématique et la réalité : problèmes de l'enseignement des mathématiques à l'école élémentaire (4ème édition)*. Berne : Peter Lang.

SIEGLER R.S. (1988). *Strategy choice procedures and the development of multiplication skill.*

SIMON O, MANGIN J.F., COHEN L., LE BIHAN D., DEHAENE S. (2002). T*opographical layout of hand eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe*.

SOPRANO A.M., NARBONA J. (2009). *La mémoire de l'enfant. Développement normal et pathologique.* Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson

TEMPLE C. (1992). « Developmental dyscalculia » in : RAPIN I., SEGALOWITZ S.J., BOLLER F., GRAFMAN J. *Handbook of Neuropsychology*.

Liste des annexes

Liste des annexes :