

MEMOIRE

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

Cyrielle DESJARDIN
Charlotte NERI

soutenu publiquement en juin 2015 :

ENIGMANIP'

**Création d'un matériel de manipulation visant à
améliorer la compréhension des énoncés
arithmétiques verbaux additifs de tous les types pour
les enfants de CE1-CE2**

MEMOIRE dirigé par :

Elodie HEUGEBAERT, Orthophoniste, en libéral, Bailleul

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu Mme Élodie Heugebaert pour ses conseils et le temps qu'elle a consacré à notre travail.

Nous remercions ensuite les orthophonistes qui ont observé nos séances et nous ont apporté leurs précieux avis. Ainsi, nous remercions Mlle Angéline Berthier, Mr Jean-François Rigaux, Mme Cassandre Room et Mme Alexia Delcourt pour leur temps, leur investissement et leur soutien.

Nous remercions également chaleureusement les patients ayant participé à notre étude, ainsi que leurs parents qui ont accepté de nous accueillir chez eux.

Enfin nous remercions nos propres familles qui nous ont soutenues tout au long de ces études et particulièrement au cours de cette année cruciale.

Merci également aux jurys de pré-lecture et de soutenance.

Résumé :

La résolution de problèmes est un exercice que les enfants connaissent bien. Et pour cause, ils la pratiquent quotidiennement à l'école. Pourtant c'est une tâche complexe qui leur pose de vraies difficultés. Elle implique en effet de nombreux processus cognitifs et nécessite la maîtrise de nombreux paramètres.

Au cœur de la résolution de problèmes se trouve la compréhension, elle-même tributaire de la représentation mentale de la situation. Comme les enfants ont tendance à déconnecter le problème de son sens, c'est à ce niveau qu'il faut travailler. Cela concerne d'autant plus les enfants suivis en orthophonie pour la logico-mathématique.

Notre mémoire vise alors la création d'un matériel à destination des orthophonistes permettant un travail progressif sur la représentation mentale de la situation en passant par trois phases de manipulation, et ce pour les problèmes additifs : de la 3D figurative à la 2D non figurative. En outre, l'aspect ludique du matériel désamorce l'appréhension de la tâche de résolution. En accord avec les lectures que nous avons faites, nous avons aussi réalisé 3 types d'aides pour guider l'enfant dans sa manipulation.

Nous avons proposé ce matériel à des enfants de CE1-CE2. Ces enfants comme leurs orthophonistes ont été positifs sur leurs observations. Faisant face à un manque de matériel pour mettre en place des fonctionnements et non pour entraîner des compétences, Enigmanip' répond à une véritable demande des orthophonistes.

Mots-clés :

Mathématiques, résolution de problèmes, manipulation, matériel de rééducation, représentation mentale

Abstract :

Problem solving is a well-known activity for most of children : they do it on a daily basis at school. However, it is a very complex task. It involves many cognitive processes and requires the control of several parameters.

The heart of problem solving is comprehension, which itself relies on the mental representation of the situation. As most of children frequently disconnect the problem from its sense, it seems important to work on this level. This habit concerns further more children who have difficulties in logic and mathematic abilities.

Our study aims at creating a tool for speech-therapists that would allow them to work progressively on the mental representation of additive problems through 3 phases of manipulation : figurative 3D, figurative 2D, non-figurative 2D. The play-based aspect of our tool defuses the apprehension of the task. According to the literature we read, we created 3 specific aids to guide the child while he uses the tool.

For the need of our study, we tried our tool with children in CE1 or CE2. Both of them and their speech-therapists have been positive in their observations. Enigmanip' is responding to a lack of tools working on the problem solving mechanisms and is in adequation with speech-therapists demands.

Keywords :

Mathematics, problem solving, manipulation, speech-therapist tool, mental representation

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	4
1.Qu'est-ce qu'un problème ?.....	5
1.1.Définition.....	5
1.2.Objectifs pédagogiques.....	6
1.2.1.A l'origine.....	6
1.2.2.Actuellement.....	7
1.3.Quels types de problèmes ?	8
1.3.1.La dimension conceptuelle : typologie des problèmes additifs.....	8
1.3.2.Programmes scolaires du CE1-CE2.....	10
1.4.Du problème à sa solution.....	10
1.4.1.Les étapes de résolution.....	10
1.4.2.Comprendre un problème.....	11
1.4.3.Stratégies de calcul.....	12
2.Les compétences nécessaires à la compréhension et à la résolution de problèmes.....	14
2.1.La compréhension verbale.....	14
2.1.1.La compréhension orale.....	15
2.1.1.1.Le traitement lexical.....	15
2.1.1.2.Le traitement syntaxique.....	16
2.1.2.La compréhension écrite.....	17
2.1.3.Les capacités perceptives	17
2.1.4.Les capacités mnésiques.....	18
2.1.5.Les capacités pragmatiques.....	18
2.2.Les compétences numériques et arithmétiques.....	18
2.3.Les compétences logiques.....	19
2.4.Facteurs cognitifs.....	20
3.Les difficultés en résolution de problèmes.....	21
3.1.Intrinsèques au sujet.....	21
3.1.1.Difficultés de compréhension du langage.....	21
3.1.2.Dyscalculies.....	22
3.1.2.1.définitions : dyscalculie.....	22
3.1.2.2.Un déficit numérique de base.....	23
3.1.2.3.Un cerveau particulier ?.....	23
3.1.3.Les capacités cognitives	23
3.1.4.Les aspects psycho-affectifs.....	25
3.1.4.1.Un rapport négatif aux mathématiques.....	25
3.1.4.2.Affects et apprentissages.....	26
3.2.Extrinsèques au sujet.....	26
3.2.1.L'aspect conceptuel.....	26
3.2.2.Caractéristiques langagières du problème.....	27
3.2.3.Les modalités de présentation.....	28
4.Faciliter la résolution de problèmes.....	29
4.1.Principes généraux des aides.....	29
4.2.Les aides.....	30
4.3.L'apport de la manipulation.....	30
4.3.1.Définition.....	30
4.3.2.Manipulation et développement psychomoteur.....	31
4.3.2.1.Les conditions nécessaires à la manipulation.....	31

4.3.2.2.Manipulation et développement de l'intelligence.....	31
4.3.3.Manipulation et résolution de problèmes.....	32
4.3.3.1.La pédagogie en mathématiques.....	32
4.3.3.2.Les apports de la manipulation.....	32
5.Conclusion.....	33
Sujets, matériel et méthode.....	35
1.État des lieux du matériel existant.....	36
1.1.Educaland.....	36
1.1.1.Dominomath.....	36
1.1.2.Problèmes en images.....	36
1.2.Éditions Pédagogiques du Grand Cerf.....	37
1.2.1.Énoncés.....	37
1.2.2.Parler Math 1.....	37
1.3.Passe-Temps.....	37
1.3.1.Comprendre la résolution de problèmes.....	37
1.3.2.Résolu.....	38
1.4.L'atelier de l'oiseau magique.....	38
1.4.1.Manip' & Maths.....	38
1.4.2.1ers pas en problèmes.....	38
1.4.3.100% Problèmes.....	38
1.5.Ortho Édition.....	39
1.5.1.Les comptes de la forêt.....	39
1.5.2.Point d'interrogation 1 et 2.....	39
2.Enigmanip' : présentation et création.....	40
2.1.Présentation.....	40
2.1.1.Choix du titre et objectifs.....	40
2.1.2.Contenu.....	40
2.1.3.Mode d'emploi.....	41
2.2.Création.....	44
2.2.1.Un matériel ludique sous forme d'énigmes.....	45
2.2.1.1.Une quête au trésor.....	45
2.2.1.2.Des thèmes qui parlent aux enfants	45
2.2.1.3.Du matériel attractif.....	46
2.2.2.Un matériel progressif.....	46
2.2.2.1.Les types de problèmes.....	46
2.2.2.2.De la 3D figurative à la 2D non figurative.....	47
2.2.3.Un matériel centré sur les mécanismes de compréhension du problème.....	47
2.2.3.1.Création des énoncés de problèmes.....	47
2.2.3.2.La manipulation.....	50
2.2.3.3.Les aides.....	50
3.Expérimentation du matériel.....	53
3.1.Recueil de la population.....	53
3.1.1.Critères d'inclusion.....	53
3.1.2.Critères d'exclusion.....	54
3.1.3.Tests utilisés.....	54
3.2.Présentation des patients.....	54
3.2.1.Cléa.....	55
3.2.2.Léa.....	56
3.2.3.Laura.....	57
3.2.4.Ariane.....	58
3.2.5. Brice.....	59

3.2.6. Anita.....	59
3.2.7. Angélique.....	60
3.3. Protocole expérimental.....	61
3.3.1. Durée et fréquence.....	61
3.3.2. Présentation du matériel à l'enfant.....	61
3.3.3. Procédure systématique :.....	61
3.3.4. Déroulement d'une séance type.....	62
3.3.5. Les aides.....	62
3.3.6. Progression.....	63
Résultats.....	64
1. Déroulement général.....	65
2. Déroulement individuel.....	65
2.1. Cléa.....	66
2.2. Léa.....	67
2.3. Laura.....	68
2.4. Ariane.....	69
2.5. Brice.....	70
2.6. Anita.....	71
3. Conclusions.....	72
3.1. Observations qualitatives sur la difficulté des problèmes.....	72
3.2. Autres observations.....	73
4. Observations des orthophonistes.....	74
5. Conclusion.....	76
Discussion.....	77
1. Recueil de la population.....	78
1.1. Nombre de patients.....	78
1.2. Choix des tests.....	78
1.2.1. TEDI-MATH.....	78
1.2.2. Épreuves logiques.....	79
2. Expérimentation et résultats.....	79
2.1. Validité des résultats.....	79
2.2. Rôle du thérapeute.....	79
2.3. Progression du matériel.....	80
2.3.1. Évolution de la manipulation.....	80
2.3.2. Typologie des problèmes.....	81
2.4. Critiques et améliorations du matériel.....	82
2.4.1. Points forts.....	82
2.4.1.1. Succès du coffre à trésor.....	82
2.4.1.2. La manipulation : un véritable appui.....	83
2.4.1.3. Manipulation d'objets en 3D.....	83
2.4.1.4. La frise étapes de résolution.....	83
2.4.2. Points à travailler.....	84
2.4.2.1. Aspect figé de la procédure.....	84
2.4.2.2. La fiche lexicale.....	84
2.4.2.3. La frise chronologique.....	85
2.4.3. Rédaction des problèmes.....	86
2.4.3.1. Aspect linguistique.....	86
2.4.3.2. Implicite.....	87
2.4.3.3. Petites numérosités.....	87
2.4.3.4. La place de la question.....	87
3. Discussion des hypothèses.....	88
Conclusion.....	90

Bibliographie.....	93
Liste des annexes.....	97
Annexe n°1 : Photos du matériel.....	98
Annexe n°2 : Cartes problèmes : Manipulation 3D.....	98
Annexe n°3 : Cartes problèmes : Manipulation 2D figurative.....	98
Annexe n°4 : Cartes problèmes : manipulation 2D non-figurative.....	98
Annexe n°5 : Problèmes de transfert.....	98
Annexe n°6 : Échecs et réussites aux problèmes par enfant.....	98
Annexe n°7 : Fiche Lexique.....	98
Annexe n°8 : Notice d'utilisation.....	98
Annexe n°9 : Grille d'observation.....	98
Annexe n°10 : Note d'information aux parents.....	98
Annexe n°11 : Formulaire de consentement parental.....	98
Annexe n°12 : Présentation des tests.....	98
Annexe n°13 : Résultats des patients testés.....	98

Introduction

Les mythes peuplent nos représentations des mathématiques : celui de « la bosse des maths », du bon et du mauvais élève en mathématiques, celui de la bonne manière de faire, celui d'un univers uniquement abstrait où les esprits demeurés trop concrets, trop terre-à-terre ne peuvent accéder. Héritages de la Grèce antique où l'abstraction était à la fois celle des premiers raisonnements systémiques, et celle du savoir des étoiles. Conceptions élitistes qui se sont transmises jusqu'à nos jours et hantent nos écoles.

Pourtant les mathématiques ne sont pas abstraites. Bien au contraire, l'histoire montre qu'elles ont été inventées pour résoudre des problèmes concrets. Les premiers problèmes au sens où nous l'entendons aujourd'hui ont d'ailleurs été créés dans le but d'entraîner les marchands en vue de situations concrètes.

Pourtant, les mythes demeurent et aujourd'hui c'est justement les problèmes qui en posent. Les problèmes sont aujourd'hui la tâche mathématique qui met le plus en difficulté les enfants à l'école et ce dans de nombreux pays. Dans le rapport PISA (Protocole International pour le Suivi des Acquis des élèves, 2012) on trouve d'ailleurs qu'« un nombre significatif de jeunes de 15 ans ne possèdent pas les compétences de base en résolution de problèmes que l'on juge indispensables pour réussir dans le monde d'aujourd'hui, par exemple la capacité d'anticiper l'étape suivante ou d'aborder des situations non familières. » Il semble donc qu'il faille agir à la base de la résolution de problèmes.

Le problème est une tâche mathématique complexe qui implique dans son traitement processus cognitifs, compétences personnelles langagières, logiques, numériques et affectifs. Cette complexité en fait un exercice particulièrement difficile. Pour le pédagogue, il s'agit de bien adapter le problème au niveau de son élève ; pour l'élève, de réussir à mobiliser ses connaissances pour le résoudre. De là, deux choses : tout d'abord il est clair que l'exigence de la tâche provient de facteurs intrinsèques et extrinsèques au problème. Ensuite il s'agit de *mobiliser* des connaissances et non d'*appliquer* des procédures apprises par cœur et non porteuses de sens.

L'objet de notre travail est alors de proposer un matériel adapté à des enfants en difficulté dans cette tâche, qui leur permettrait de comprendre que le problème a un sens et que ce sens guide la stratégie à mettre en place, stratégie qui détermine le calcul. Nous souhaitons agir au niveau des mécanismes de la compréhension de problème. La représentation mentale de la situation étant centrale dans ce projet,

nous avons choisi de travailler par le biais de la manipulation, pour que l'enfant se détache peu à peu du concret manipulable et représentable et mentalise de plus en plus les étapes.

Dans un premier temps, nous déterminerons le cadre d'études qui nous a permis d'élaborer notre matériel. Nous présenterons alors celui-ci et les modalités dans lesquelles nous l'avons testé. Viennent ensuite les résultats puis la vérification de nos hypothèses ainsi que la discussion de nos résultats. Les apports de notre travail ainsi que ses limites seront précisés.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Qu'est-ce qu'un problème ?

1.1. Définition

Selon le *Dictionnaire d'orthophonie* (2004), un problème se définit comme « une question à résoudre par des méthodes logiques et rationnelles (...). » Cette question se présente sous la forme d'une situation, aussi Vergnaud (1989) écrit-il qu'un problème correspond à « toute situation dans laquelle il faut découvrir des relations, développer des activités d'exploration, d'hypothèse et de vérification, pour produire une solution. » Pour lui, c'est à partir de ces situations à maîtriser que se forme le savoir. Mais cette situation n'est pas réelle : Ménissier (2011) écrit qu'« un énoncé de problème est avant tout une fiction car on simule sur le papier des situations qui n'existent pas vraiment dans la vie réelle. » Et effectivement, on rencontre les problèmes à l'école. « Les énoncés de problèmes seraient donc à considérer comme des phénomènes observables qui modéliseraient l'empirisme vécu par l'enfant dans son expérience quotidienne » (Ménissier, 2011).

Un problème est composé d'éléments spécifiques qui permettent de l'identifier immédiatement comme tel :

- Le contexte : on rencontre le problème à l'école ou plus généralement dans toutes les situations d'apprentissage.
- La présentation : la forme du problème est souvent celle d'un texte court exposant une petite histoire, et comportant une question à la fin. On trouve aussi des problèmes présentés sous la forme de tableaux, diagrammes... Les énoncés comportent des items lexicaux qui posent souvent des difficultés aux enfants en raison de ce que Decour (1993) appelle « l'implicite culturel » des problèmes, c'est-à-dire ce que les enfants doivent connaître pour pouvoir ne serait-ce que comprendre le problème (que « remise » veut dire réduction par exemple).
- Les données numériques : elles répondent aux propriétés du nombre et sont généralement accompagnées d'une « unité » (nombre d'objets, de mètres, de litres...) que l'enfant doit prendre en compte. Ces données numériques sont à la fois celles connues et celles que l'on recherche. Elles permettent de déterminer les opérations arithmétiques à effectuer.

A chaque problème sa solution : l'enfant face à un problème devra mettre en œuvre des procédures lui permettant de comprendre la situation et d'apporter une réponse à la question posée.

1.2. Objectifs pédagogiques

1.2.1. A l'origine

A l'origine, l'école élémentaire avait pour objectif majeur de former de bons catholiques. Ainsi, l'enseignement littéraire et principalement celui du latin y occupait une place fondamentale. L'apprentissage des notions d'addition, de soustraction, de multiplication et de division, se faisait à la maison, dans les activités quotidiennes qui rendaient nécessaires ces pratiques.

Au XV^{ème} siècle, notre société évolue progressivement vers une société marchande. Aussi les premiers « problèmes » apparaissent dans les « manuels de marchandise » destinés à tout aspirant aux métiers du commerce, qui permettaient de faire l'apprentissage de l'arithmétique commerciale. Ils portaient sur les mesures et les changes.

L'enseignement des mathématiques se généralise petit à petit et selon le Rapport Condorcet cité par Poujol (1993) : « on enseignera dans ces écoles (...) les règles de l'arithmétique, des méthodes simples de mesurer exactement un terrain, de toiser un édifice... (...) L'étude, même élémentaire de ces sciences est le moyen le plus sûr de développer [les facultés intellectuelles des hommes], de leur apprendre à raisonner juste, à bien analyser leurs idées... ».

L'obligation en France d'utiliser le système métrique à partir de 1801 va également favoriser l'apprentissage des mathématiques qui va passer par l'acquisition de ces nouvelles mesures.

Les premiers manuels de mathématiques contenant des problèmes sont publiés par Les Frères des écoles chrétiennes au XIX^{ème} siècle. Ces problèmes portent principalement sur les titres des monnaies, les changes, les principes pour mesurer des surfaces, etc...

La morale est très présente au sein de ces problèmes, relatant des réalités censées être familières aux enfants ou pouvant faire écho à des mœurs prohibés. Pour exemple, voici un problème issu d'un manuel de Pierre-David Poujol, 1878 (cité par Poujol, 1993):

« Un père de famille avait l'habitude déplorable d'aller tous les soirs au cabaret et laissait souvent sa famille sans pain à la maison. Pendant quatre ans qu'il a mené cette vie, il a dépensé , la première année 97 francs ; la seconde, 104 francs ; la troisième, 112 francs ; la quatrième, 129 francs. Combien de francs ce malheureux père aurait-il épargné s'il n'avait pas eu cette affreuse passion pour la boisson ? »

L'enseignement des mathématiques a donc été instauré tardivement dans le système scolaire et les problèmes sont apparus comme le moyen de former des bons marchands, catholiques, citoyens, etc... en supposant que les énoncés présentent effectivement des situations réelles que l'enfant peut investir.

1.2.2. Actuellement

Les problèmes ont donc eu pour but de mettre les enfants en situation concrète afin de les préparer à la société dans laquelle ils vivent. L'évolution de la pratique des problèmes dans l'enseignement a été guidée par différents objectifs pédagogiques :

- L'application des outils mathématiques qui ont fait l'objet d'un apprentissage antérieur. L'enfant doit mettre en pratique ses connaissances pour résoudre le problème qu'on lui présente.
- La stimulation de l'esprit de recherche puisque les énoncés amènent l'enfant à envisager, anticiper, essayer les différentes procédures nécessaires à la résolution du problème.
- Un moyen d'évaluation. En effet, le problème permet d'évaluer les apprentissages des enfants et est rapide à noter, l'enfant devant produire, une (ou plusieurs) opération(s) et une phrase réponse.

Demonty et Fagnant (2012) distinguent deux types de problèmes qui répondent à deux finalités différentes : les situations-problèmes servent à introduire de nouvelles connaissances alors que les problèmes d'application ont pour objectif l'utilisation et l'entraînement des nouvelles connaissances.

Le problème ne constitue donc pas un but en soi, mais il convient d'en encourager la pratique dans les apprentissages car c'est un « exercice intellectuel sain, un éveil à la curiosité, une occasion d'acquérir de l'autonomie. » (Pluvinage, 1992-1993)

1.3. Quels types de problèmes ?

Pour atteindre ces différents objectifs, le pédagogue se doit de connaître les différentes manières de construire un problème, que ce soit sur le plan conceptuel ou sur le plan linguistique. En effet, comprendre et maîtriser les finesses de cette tâche complexe lui permettra de s'ajuster au mieux à l'enfant qu'il a en face de lui, et donc de mieux l'aider à comprendre et résoudre ce problème.

1.3.1. La dimension conceptuelle : typologie des problèmes additifs

On distingue généralement les problèmes additifs et les problèmes multiplicatifs. Nous nous intéresserons ici aux premiers. Vergnaud (1989) indique six types de relations impliquées dans les problèmes de structure additive. Chaque relation est constituée de sous-classes de problèmes selon la nature de l'inconnue, et le caractère positif ou négatif de l'opération à effectuer. Nous vous présentons ci-après les différents types de problèmes additifs.

→ composition d'états

Il s'agit de deux grandeurs qui se composent pour en former une troisième. Il n'y a pas d'action sur l'un ou l'autre des états, ce sont des états statiques qui ne font que s'assembler. La structure logique d'inclusion intervient dans ce type de problème. Deux sous-types de problèmes en découlent selon l'élément recherché :

- recherche de la composition : *Julien a 7 billes en verre et 2 billes en acier. Combien a-t-il de billes en tout ?*
- recherche d'une des parties : *Julien a 7 billes en verre et des billes en acier. Il possède 9 billes en tout. Combien a-t-il de billes en acier ?*

→ transformation d'états

Un état initial subit une transformation qui aboutit à un état final. Un facteur temporel intervient dans ce type de problèmes. La transformation est une action représentable par un nombre relatif « +n » qui détermine l'action subie par l'objet comme étant, dans ce cas, un ajout. La sériation temporelle est ici importante quant à la compréhension du déroulement de l'énoncé.

- recherche de l'état final : *Julien avait 7 billes, il en gagne 2. Combien en a-t-il maintenant ?*
- recherche de la transformation : *Julien avait 7 billes avant de jouer. Il a maintenant 9 billes. Combien en a-t-il gagné ?*

- recherche de l'état initial : *Julien vient de gagner 2 billes. Il en a maintenant 9. Combien avait-il avant ?*

→ comparaison d'états

Il s'agit ici d'établir une relation entre deux états et de quantifier l'écart entre ces deux éléments. Dans ce type de problème, l'enfant doit faire appel à des notions de sériation.

- recherche de l'un des états : *Julien a 7 billes . Thomas a 3 billes de plus que Julien. Combien Thomas a-t-il de billes ?*
- recherche de la comparaison : *Julien a 9 billes. Thomas en a 7. Combien de billes Julien a-t-il de plus ?*

→ composition de transformations

Deux transformations se composent pour former une transformation. Il convient d'identifier les deux transformations, notamment si elles sont de sens contraire ou non, afin de faire apparaître la transformation composée.

- Recherche de l'état final (ou transformation composée) : *Julien a joué deux parties. A la première, il a gagné 7 billes et à la deuxième, il en a perdu 2. Combien a-t-il gagné de billes en tout ?*
- Recherche de l'une des transformations : *Julien a joué deux parties de billes. A la première, il a perdu 7 billes. Il a perdu en tout 3 billes. Combien en a-t-il gagné à la deuxième ?*

→ transformation d'une relation

Une transformation opère sur un état relatif pour donner un autre état relatif (déroulement temporel).

- Recherche de l'état relatif final : *Julien doit 9 billes à Thomas, il lui en rend 7. Combien de billes Julien doit-il encore à Thomas ?*
- Connaissant l'état relatif final et l'état relatif initial, trouver la transformation : *Julien doit 9 billes à Thomas, il lui reste encore 2 billes à rendre. Combien en a-t-il déjà données ?*
- Recherche de l'état relatif initial : *Julien doit encore 2 billes à Thomas. Il lui en a déjà rendu 7. Combien lui en devait-il au début ?*

→ Composition de relations :

Deux états relatifs se composent en un troisième (pas de déroulement temporel ici).

- Recherche du composé : *Julien doit 9 billes à Thomas, Thomas lui en doit 7. Combien de billes Julien doit-il à Thomas ?*
- Recherche d'un des états relatifs élémentaires, trouver l'autre : *Avec les 7 billes que Thomas lui a rendues, Julien ne doit plus que 2 billes à Thomas. Combien Julien en devait-il à Thomas ?*

1.3.2. Programmes scolaires du CE1-CE2

Le niveau de difficulté conceptuelle augmente avec l'âge scolaire. Le tableau ci-dessous présente les différents types de problèmes travaillés à l'école depuis la grande section de maternelle jusqu'aux classes de CE1 et de CE2. Tableau réalisé d'après le site de l'académie de Dijon consulté le 7/11/2014.

Classe		Types de problèmes
Grande section de maternelle		Transformation (+ et -) : recherche de l'état final
		Composition : recherche du tout
CP		Transformation (+ et -) : recherche de la transformation
CE1	début	Composition : recherche de la partie
		Transformation : recherche de l'état initial
		Composition de transformations : recherche de l'état final
	Milieu	Comparaison : recherche d'un des états
		Comparaison : recherche de la comparaison
	Fin	Composition de transformations : recherche de la transformation
CE2		Mêmes types de problèmes

Tableau n°1 : types de problèmes travaillés par classe

1.4. Du problème à sa solution

1.4.1. Les étapes de résolution

Ménissier (2011) décrit 5 étapes de traitement amenant à la résolution d'un problème :

- La traduction du problème : La traduction implique d'avoir recours à des opérations cognitives élémentaires (identifier les objets et les relations, reconnaître les termes lexicaux, procéder au jugement d'appartenance catégorielle, distinguer les quantités continues et les quantités discontinues...). Pour cela, l'enfant doit disposer de connaissances linguistiques qui vont lui

permettre d'analyser syntaxiquement et sémantiquement les éléments du texte ; et des connaissances factuelles comme le fait qu'un sapin est un arbre ou qu'une heure est égale à 60min. Ces compétences préalables sont nécessaires à la traduction du problème.

- l'intégration du problème : C'est le résultat direct de la première étape. Ici, l'enfant crée une représentation mentale de la situation problème. Cette étape nécessite de pouvoir identifier l'inconnue et de sélectionner les informations pertinentes qui vont s'accorder dans la représentation mentale de la situation.
- la planification des actions : gérer les procédures de résolution (faire des hypothèses, des essais...) et construire et utiliser des représentations anticipatrices hiérarchisées. Cette étape implique de fixer les buts que l'on souhaite atteindre et de les comparer à la situation actuelle, aux données que l'on connaît.
- l'exécution des calculs : affecter les données numériques de l'énoncé aux bons éléments de la représentation mentale puis effectuer le calcul choisi.
- L'auto-contrôle du résultat : évaluer le résultat de son action.

1.4.2. Comprendre un problème

De nombreux auteurs associent la compréhension d'un énoncé à la construction d'une représentation globale et cohérente du message. Pour Baffrey-Dumont (1996), la représentation est ce qui va « permettre au sujet de donner du sens à la situation problème proposée et de sélectionner la stratégie qu'il va mettre en œuvre. » En effet, catégoriser les différents problèmes en fonction de leur structure permet de mieux réussir. Il y aurait donc effectivement formation de schémas de problèmes en mémoire sémantique (théorie des schémas) ou encore de représentations mentales temporaires en mémoire de travail (théorie des modèles mentaux).

Richard (1990) propose une définition générale des représentations mentales : « [ce] sont des constructions circonstancielles faites dans un contexte particulier et à des fins spécifiques : dans une situation donnée et pour faire face aux exigences de la tâche en cours (...). » Il décrit différents processus de construction des représentations « qui sont autant de sens du mot comprendre » :

- La construction d'une représentation par particularisation d'un schéma :

Elle consiste à sélectionner en mémoire un schéma connu et reconnu, et à le

particulariser avec les informations spécifiques de la situation. Ce processus est guidé par des connaissances. Le résultat est un schéma particularisé.

- **La construction d'une structure conceptuelle** est guidée par les informations du texte et l'ordre dans lequel elles sont fournies. Cela met en jeu des inférences et aboutit à la création d'un réseau de relations. Ces relations vont ou bien du particulier au général (construction d'une représentation pour comprendre, par exemple comprendre un récit) ou bien du général au particulier (construction d'une représentation pour agir, par exemple résoudre un problème).

- **La construction d'un modèle particularisé de situation** : il s'agit de construire une situation spécifique et particulière à partir des informations fournies par le texte. Cette construction est réalisée par des inférences qui particularisent. Le résultat est une image de situation. A la différence d'un réseau relationnel, son contenu n'est pas propositionnel mais imagé, en ce sens qu'il a des composantes spatiales et des objets individualisés.

- **La construction d'une interprétation par analogie avec une situation connue** : Quand la représentation est construite pour comprendre, on peut récupérer en mémoire une information générale analogue à un schéma déjà rencontré. L'information sert alors de guide pour construire les relations entre les objets de la situation. Lorsque la représentation est construite pour agir, l'information récupérée peut concerner une situation relativement spécifique et le souvenir d'un processus de solution mis en œuvre. La solution est construite par mise en correspondance avec le processus connu.

Il y aurait donc différentes manières de construire sa représentation de la situation-problème. Malgré ces différences, Baffrey-Dumont (1996) met en évidence un point qui demeure central à toutes les constructions : pour construire une bonne représentation mentale, le sujet doit respecter les liens entre les différents membres du problème. S'il ne comprend pas ces liens, il ne pourra pas aboutir à une représentation correcte et échouera à résoudre le problème.

1.4.3. Stratégies de calcul

Nous nous intéresserons ici à l'addition, car elle est au cœur de notre sujet. Noël (2005) écrit que « l'addition est une activité cognitive complexe se caractérisant par un répertoire multistratégique, des variations au niveau des performances (i.e. vitesse et précision de l'exécution), et une évolution développementale sur les

différentes dimensions stratégiques. » Siegler et Lemaire, 1995, (mentionnés par Noël, 2005) mettent en évidence trois dimensions stratégiques à analyser dans toute tâche cognitive : le répertoire stratégique, l'exécution stratégique et la sélection stratégique.

Le répertoire stratégique contient les différentes stratégies que l'individu a en sa possession. Différentes stratégies existent :

Stratégies	Âge d'apparition	Description
Stratégie des doigts	4 ans	L'enfant lève les doigts correspondant à chaque unité additionnée mais répond sans comptage apparent.
Compter sur les doigts à partir de 1	4 ans	Chaque chiffre du problème est représenté par les doigts. L'enfant compte ensuite chaque doigt en commençant par 1.
Comptage verbal à partir de 1	4 ans	L'enfant compte à voix haute (ou en subvocalisant une suite de chiffres), sans référent extérieur visible.
Devinette	4 ans	L'enfant dit avoir deviné la réponse
Récupération en mémoire	4 ans	L'enfant récupère directement en MLT la solution au problème
La stratégie du minimum	5 ans	L'enfant initialise un compteur interne avec le plus grand des deux opérands. Puis l'enfant incrémente ce compteur par pas de 1 avec autant d'unités contenues dans le plus petit opérande.
La décomposition	5 ans	L'enfant divise un problème en deux problèmes plus simples.

Tableau n°2 : les différentes stratégies de calcul

L'exécution stratégique comporte les informations d'efficacité (vitesse et précision) du sujet pour chacune des stratégies qu'il utilise. Au cours du développement, la fréquence d'utilisation des stratégies change. L'enfant s'affranchit de plus en plus des stratégies avec aides externes (comptage sur les doigts) et les stratégies plus matures sont de plus en plus utilisées : récupération en mémoire à long terme, stratégie du comptage minimum, et décomposition. Cela est dû à l'automatisation des processus et au fait que les enfants choisissent de plus en plus les stratégies les plus efficaces.

La sélection stratégique est le module de sélection d'une stratégie en fonction d'un problème et de la situation. Le choix des procédures est influencé par le niveau de difficulté du problème : quand le problème paraît facile à résoudre, les enfants optent pour la récupération en mémoire à long terme de la réponse, mais ils optent en revanche pour des stratégies avec aides externes quand le problème leur paraît

impossible à résoudre. Ce choix de stratégie est aussi influencé par la situation : l'enfant ne choisira pas les mêmes procédures selon s'il a beaucoup de temps ou non pour répondre.

2. Les compétences nécessaires à la compréhension et à la résolution de problèmes

2.1. La compréhension verbale

Un problème est généralement présenté sous la forme d'un texte court qui peut être lu par l'enfant ou énoncé oralement. Ainsi la compréhension verbale est essentielle dans la compréhension et la résolution de problèmes.

La compréhension se définit comme la « capacité à accéder au sens, à la signification des messages linguistiques délivrés oralement ou par écrit. La compréhension verbale fait appel à la compétence linguistique du sujet (connaissance de la langue), mais elle est dépendante de nombreuses autres capacités (perception et discrimination auditives ou visuelles, attention, mémoire, capacités intellectuelles...) » (*Dictionnaire d'orthophonie*, 2004).

Le fonctionnement de la compréhension peut être vu comme « la construction de sens » d'un message, concept que Le Ny (2005) résume en ces termes : « son traitement cognitif dans l'esprit/cerveau d'un "compreneur", y produit causalement, d'abord une suite de sous processus et d'états mentaux transitoires, qui aboutissent finalement à la construction d'une représentation sémantique terminale, mentale, qui est composée et structurée : c'est cette représentation qui constitue le sens (individuel) de l'énoncé ».

La compréhension verbale est dépendante de capacités sous-jacentes telles que le traitement lexical et syntaxique, ainsi que les capacités perceptives, mnésiques et pragmatiques. Nous allons donc développer ces points ci-après.

2.1.1. La compréhension orale

2.1.1.1. Le traitement lexical

La compréhension lexicale fait référence à la compréhension de lexèmes c'est-à-dire l' « unité de base du lexique appelé aussi morphème lexical. Le lexème possède un contenu sémantique (ensemble de traits appelés sèmes qui le caractérisent). C'est une unité abstraite, actualisée dans la parole en association avec les morphèmes grammaticaux. Par exemple le lexème "parl-" est actualisé dans la phrase "nous parlons" grâce à son association avec le morphème grammatical "-ons". » (*Dictionnaire d'orthophonie*, 2004).

Les linguistes envisagent la compréhension d'un mot comme l'association d'un signe linguistique à la relation ternaire entre signifiant/signifié/référent, dans laquelle le signifiant serait la forme phonologique du mot, le signifié le concept du mot, et le référent la représentation de l'objet réel. Ainsi, l'enfant construit son lexique au travers d'expériences et d'interactions qui vont lui permettre d'associer ces trois éléments et de former une représentation du mot.

Le sens se développe donc en fonction de l'acquisition des traits sémantiques des mots qui forment, réunis, le concept du mot et sont répertoriés dans le lexique mental qui répond à une certaine organisation appelée « réseau sémantique » .

L'apparition de la notion de réseau sémantique s'est faite à la fin des années 1960 par Collins et Quillian (cités par Le Ny, 2005), qui ont décrit l'organisation sémantique comme des nœuds, correspondant à des représentations sémantiques, et des arcs, reliant ces représentations selon des liens verticaux. C'est-à-dire par inclusion de classes. On parle alors d'organisation taxonomique.

Cette conception a cependant été complétée car elle ne comprenait pas les relations sémantiques des mots hors d'une catégorie spécifique, par exemple les termes *canari* et *cage* seraient associés dans le réseau sémantique mais ne se regroupent pas selon l'organisation taxonomique. Collins et Loftus (1975), cités par Rossi (2009), ont donc développé la notion de co-occurrence situationnelle comme principe de l'organisation du réseau sémantique. Ainsi, chaque lexème est associé à divers traits sémantiques qui lui sont propres et qui sont activés selon le contexte du message : « la situation, le contexte, donne sens » (Rossi, 2009). Cette conception s'appuie notamment sur le fait que la polysémie des mots entraîne une ambiguïté que seul le contexte peut lever.

D'après Ehrlich (cité par Florin, 2000), lorsqu'un mot est inséré dans un énoncé, c'est l'une de ses significations qui va être sélectionnée, qui dépend du reste des mots de la phrase, de la tâche, des intérêts et connaissances du sujet. Ainsi pour chaque mot, il y aura un effet de contexte linguistique et extralinguistique. C'est un effet réciproque qui permet de construire le sens par la sélection progressive des significations utiles de chaque mot.

Ainsi, pour qu'un enfant accède à la compréhension d'un problème, il doit en premier lieu s'assurer de comprendre le vocabulaire utilisé, car la compréhension lexicale est très liée, nous l'avons vu, à la compréhension de phrases ou d'énoncés que nous allons présenter ci-après.

2.1.1.2. Le traitement syntaxique

Schelstraete (1993) décrit ce processus qui était initialement perçu comme un traitement en deux temps par deux modules distincts pouvant s'influencer à minima. L'un des modules aurait une fonction purement syntaxique et traiterait les informations telles que les règles grammaticales, la nature des éléments lexicaux... pour ensuite les lier selon la structure syntaxique la plus simple, puis élaborer d'autres structures possibles en cas de non-conformité au contexte de la structure initiale. Le deuxième module, dit thématique consiste en une interprétation sémantique qui analyse la plausibilité de la phrase selon les liens faits au traitement précédent. Selon ce modèle, la compréhension passerait donc par des représentations successives, validées ou invalidées, qui permettent de construire un sens final. Les conceptions plus modernes envisagent que la compréhension de phrases est soumise simultanément à des traitements syntaxiques et non-syntaxiques qui déterminent, en s'influençant mutuellement, les attachements des mots au sein de la phrase. Par exemple, un syntagme nominal, de par son caractère animé rend plus plausible son rôle d'agent dans la phrase.

L'activation du sens des mots permet d'identifier le contenu sémantique mais aussi de traiter la nature du mot, ainsi que les contraintes liées à cette nature, ou encore le sens du mot va permettre de rendre acceptable ou non la suite des lexèmes de la phrase. Le contenu sémantique est donc source d'information pour la construction des attachements au niveau syntaxique.

Cette conception ne suppose donc pas l'existence de processeurs autonomes distincts mais plutôt la mise en réseau d'informations qui forment une représentation globale de la phrase.

2.1.2. La compréhension écrite

Une fois les compétences langagières orales mises en place, l'enfant rentre dans l'apprentissage de la lecture. Cette étape, capitale pour la poursuite des apprentissages, est longue et demande aux enfants de maîtriser de nombreux paramètres. Nous ne nous intéresserons pas ici aux processus de déchiffrage, de conversion grapho-phonémique mais plutôt au but en soi de la lecture, c'est-à-dire la compréhension écrite.

C'est un processus qui se décompose en quatre étapes de traitement, décrites par Siegler (2001) :

- l'accès au lexique : l'enfant récupère en mémoire à long terme, et plus particulièrement en mémoire sémantique, la signification du mot qu'il a déchiffré.
- Assemblage de propositions : il s'agit de relier les mots entre eux pour en extraire des unités significatives.
- Intégration de propositions : les propositions individuelles sont combinées pour former des unités significatives plus grandes.
- Modélisation du texte : l'enfant construit une représentation de situation en produisant des inférences et en reliant les informations du texte à ses propres connaissances.

Ainsi, à la lecture d'un énoncé de problème, la compréhension du texte permet de créer une première représentation de la situation-problème qui est une étape essentielle à la compréhension et résolution de ce problème.

2.1.3. Les capacités perceptives

La compréhension verbale est directement liée à un input, c'est-à-dire à une stimulation perceptive, qu'elle soit auditive pour la compréhension orale, ou visuelle pour la compréhension écrite (ou la compréhension de la langue des signes pour les personnes sourdes). C'est cet input qui déclenche tous les processus de

compréhension et de bonnes capacités perceptives sont donc nécessaires pour enclencher la compréhension verbale.

2.1.4. Les capacités mnésiques

Les capacités mnésiques et notamment la mémoire de travail sont essentielles dans la compréhension verbale. Le sujet doit être capable de maintenir les informations écrites ou orales en mémoire pour les lier aux informations précédentes ainsi qu'aux suivantes et construire le sens du message.

Les conceptions les plus récentes envisagent la mémoire de travail comme partie active de la mémoire à long terme. Les informations seraient donc « au repos » dans la mémoire à long terme et seraient activées selon un stimulus. Cette conception est particulièrement compatible avec la compréhension verbale, en effet, un stimulus verbal comme le mot « rose » va activer la représentation d'une rose ce qui va engendrer un traitement du sens de ce mot.

Les connaissances générales du sujet étant nécessaires à la compréhension, une mémoire à long terme ou en d'autres termes la capacité à mémoriser, à faire des apprentissages est également nécessaire.

2.1.5. Les capacités pragmatiques

La notion de pragmatique est étroitement liée à la notion d'inférences dans le cadre de la compréhension verbale. En effet, la perception d'indices pragmatiques va permettre d'inférer les représentations nécessaires à la compréhension.

Rossi (2009) définit l'inférence en ces termes : « inférer consiste à produire des informations qui ne sont pas exprimées de façon explicite mais qui néanmoins sont nécessaires à la compréhension. [...] La fonction essentielle de ces inférences est d'établir la cohérence de la représentation. »

2.2. Les compétences numériques et arithmétiques

Au cœur du problème, nous l'avons dit, se trouvent les données numériques et les opérations arithmétiques à réaliser. La compréhension et la résolution de problèmes nécessitent la maîtrise:

- des processus de quantification : *dénombrement, subitizing et estimation*. Ces processus de quantification apparaissent très tôt dans le développement et

permettent l'émergence de la représentation approximative mais aussi de la représentation exacte de la magnitude du nombre. Pour cela sont nécessaires la connaissance de la chaîne numérique mais aussi des compétences de pointage. Maîtriser ces processus permet par exemple de comparer deux nombres, d'estimer le résultat d'une opération...

- du système de numération : le système de numération arabe est un système positionnel. Sa connaissance est nécessaire à la compréhension des données d'un problème (comprendre par exemple que 5 billes = 5 unités), mais aussi à la réalisation des opérations (on additionne les unités ensemble, puis les dizaines, etc.).
- des codes symboliques : Nous avons plusieurs codes pour exprimer les nombres : un code arabe, un code verbal (oral et écrit), et un code analogique. Les codes symboliques sont les systèmes arabe et verbal. Maîtriser ces symboles, c'est-à-dire avoir accès par eux à la magnitude du nombre, est nécessaire dans les problèmes tels qu'on les rencontre à l'école puisque les quantités numériques sont représentées ainsi. Ce qui nous permet de passer d'un code à l'autre s'appelle le transcodage.
- des opérations : *addition-soustraction-multiplication-division*. « Les opérations arithmétiques consistent à manipuler des symboles en respectant des règles(...). A l'issue des manipulations symboliques réalisées, le résultat obtenu doit correspondre à celui auquel aurait abouti la manipulation effective des entités concrètes » (Fayol, 2012). De nombreux processus cognitifs généraux sont mis en œuvre dans la résolution d'une opération, parmi lesquels la mémoire de travail, la mémoire à long terme, la planification... Sont aussi convoqués des processus spécifiques : traitement sémantique, syntaxique, transcodage.

2.3. Les compétences logiques

Piaget (1967) considère que les structures logiques sont à la base de tout raisonnement mais aussi de la construction du nombre. Au cours de son développement, l'enfant s'affranchit peu à peu du perceptif et accède à l'abstraction. Là, ses raisonnements deviennent opératoires. Ces structures logiques sont :

- La conservation : Selon Piaget, elle est la condition nécessaire de tout raisonnement car elle permet une pensée abstraite et réversible.
- La classification, selon le *Dictionnaire d'orthophonie* (2004) « consiste à réunir des objets selon leurs ressemblances à un ou plusieurs points de vue. C'est donc une opération mentale qui implique que la pensée doit extraire des propriétés et les coordonner. » La classification prend son origine dans les schèmes sensori-moteurs que l'enfant applique aux différents objets qui l'entourent. Elle nécessite deux processus mentaux : la compréhension (définition d'un critère commun) et l'extension (définition de l'ensemble des éléments de la classe).
- La relation de sériation consiste à ranger des éléments selon leurs différences en faisant abstraction de leurs points communs. La sériation est caractérisée par sa réflexivité ou son anti-réflexivité ($x=y$ ou $x>y$), son anti-symétrie (si $x>y$ alors il est impossible que $y>x$), et sa transitivité (itération : +1). Elle permet la succession des nombres (et ainsi de les situer dans la suite numérique), et la comparaison de nombres.

Ces compétences logiques conditionnent la mobilité de pensée qui est nécessaire à la résolution de problèmes. En effet, les différentes stratégies utilisées par les enfants pour résoudre ces problèmes montrent qu'une situation problème peut être appréhendée de différentes manières.

2.4. Facteurs cognitifs

De nombreux facteurs cognitifs sont impliqués dans l'acquisition des compétences numériques et jouent ainsi un rôle dans leurs applications mathématiques. Notre travail portant cependant sur la résolution de problèmes au sens de situation-problème, l'enfant doit aussi avoir un fonctionnement cognitif efficace avec :

- de bonnes capacités de mémoire à court terme,
- un niveau attentionnel suffisant
- de bonnes capacités langagières,
- une bonne organisation spatio-temporelle,
- la maîtrise de différentes stratégies cognitives.

3. Les difficultés en résolution de problèmes

Van Nieuwenhoven (2001) pose la performance mathématique au cœur de trois dimensions qui interagissent les unes avec les autres : la dimension logique, la dimension numérique, et la dimension psychologique.

La dimension logique correspond à tout ce qui est de l'ordre des raisonnements, des connaissances conceptuelles, et des compétences logiques que nous avons déjà décrites. *La dimension numérique* concerne les capacités de quantification, de représentation du nombre, etc. Autrement dit, cette dimension met en jeu dans la résolution de problèmes l'ensemble des compétences numériques que nous avons décrites. Enfin, *la dimension psychologique* ne doit pas être négligée.

Aussi les difficultés rencontrées par l'enfant face à un problème qu'il doit résoudre peuvent ressortir de ces trois dimensions. Nous parlerons ici des difficultés intrinsèques à l'enfant et des difficultés extrinsèques à l'enfant, autrement dit celles propres au problème.

3.1. Intrinsèques au sujet

3.1.1. Difficultés de compréhension du langage

La compréhension est dépendante de différents facteurs et notamment les capacités de déchiffrage du lecteur. En effet, un enfant pour qui l'identification des mots demande un coût cognitif important réservera peu de ressources à la compréhension.

De même les capacités mnésiques et notamment la mémoire de travail sont essentielles. L'enfant doit être capable de maintenir les informations lues en mémoire pour les lier aux informations précédentes ainsi qu'aux suivantes. Les enfants ayant une mémoire de travail peu efficace risquent de comprendre partiellement l'énoncé et ne pourront intégrer toutes les données du problème.

Les connaissances générales de l'enfant sont également sollicitées, ainsi plus ses connaissances sont grandes, plus la construction d'une représentation du texte sera efficace. Un enfant ayant un vocabulaire limité aura des difficultés à se représenter la situation problème s'il ne connaît pas le sens de certains mots.

En CE1 et CE2 les enfants améliorent leur déchiffrage et automatisent petit à petit la lecture. Mais à ce stade les ressources cognitives nécessaires à

l'identification des mots sont encore trop sollicitées pour permettre un accès rapide et efficace au sens. Cette compétence s'étoffera tout au long de l'école primaire.

3.1.2. Dyscalculies

Certains enfants ne développent pas correctement les compétences numériques, ou les développent, mais plus tardivement, et s'ensuit alors pour eux un parcours scolaire difficile au niveau des apprentissages mathématiques. On parle d'enfants dyscalculiques.

3.1.2.1. définitions : dyscalculie

Le DSM-5 définit le trouble d'apprentissage en mathématiques (ou dyscalculie) comme un trouble neuro-développemental avec une origine biologique qui serait la base des anomalies au niveau cognitif. Ses critères diagnostiques sont :

- A) des difficultés à se souvenir des faits concernant les nombres ; un calcul arithmétique lent ou inexact ; un raisonnement mathématique lent ou inexact ; l'évitement des activités faisant appel à l'arithmétique. Ces difficultés sont présentes pendant au moins 6 mois et résistent aux interventions visant à y remédier.
- B) Le sujet se situe en dessous des exigences de performance pour sa classe d'âge, son intelligence, son groupe culturel ou linguistique ou son niveau d'éducation. Cela doit être évalué par des tests de niveau scolaire mathématique administrés de manière individuelle, standardisés et par des observations qualitatives appropriées.
- C) Le retentissement significatif des difficultés sur la réussite scolaire et ce dès les premières années de scolarité, le fonctionnement professionnel ou les activités de la vie courante qui font appel à ces habiletés.
- D) Le trouble ne peut pas être attribué à un trouble du développement intellectuel, un retard de développement global, ou encore à des troubles neurologiques, sensoriels ou moteurs.

Dans la pratique, les profils des enfants en difficulté d'apprentissage mathématique sont variés. Aussi, plusieurs classifications des dyscalculies ont été proposées. Certaines se basaient sur le type de troubles observés, d'autres sur la présence ou non de troubles associés. Cependant aucune n'est véritablement

convaincante : les profils sont parfois trop contrastés, ou encore ne sont pas vérifiés par les résultats des études qui les suggèrent...

On peut cependant parler en termes d'origines du trouble, et on distinguerait alors un trouble primaire, dû à un déficit numérique de base, d'un trouble secondaire à des problèmes cognitifs plus généraux. Chacun de ces deux types de dyscalculie pourrait offrir un tableau clinique similaire.

3.1.2.2. Un déficit numérique de base.

De nombreuses études ont par le passé posé l'hypothèse qu'un trouble du Système Approximatif du Nombre était à l'origine des dyscalculies primaires. Aujourd'hui, d'autres études (Carey, 2004, 2009, rapporté par Noël et Rousselle, 2011) ont montré que les enfants dyscalculiques rencontrent des difficultés dans le traitement du nombre symbolique (mots-nombres, chiffres arabes) et non dans le traitement de la magnitude du nombre (représentation analogique du nombre). Le déficit de base concernerait donc ainsi le développement d'une représentation numérique exacte telle qu'apportée par les symboles numériques. Cela entraînerait en second une difficulté dans le traitement approximatif de la magnitude des collections.

3.1.2.3. Un cerveau particulier ?

L'imagerie cérébrale a mis en évidence le rôle du lobe pariétal, et plus précisément du cortex intrapariétal gauche et droit, dans le traitement du nombre. Des études récentes (Rotzer et al., 2008, cités par Noël, 2011) ont montré que les enfants qui rencontrent des difficultés d'apprentissage en mathématiques ont une densité de matière grise inférieure au niveau du sillon intrapariétal.

3.1.3. Les capacités cognitives

Les processus cognitifs généraux, s'ils sont déficitaires, peuvent être à l'origine d'une dyscalculie secondaire.

La mémoire de travail

Geary (2005) écrit : « La mémoire de travail est la capacité à maintenir explicitement une représentation mentale d'une certaine quantité d'information, tout

en étant engagé simultanément dans d'autres processus mentaux », autrement dit, tout en traitant, manipulant cette information.

La cognition mathématique implique d'encoder, de créer une représentation interne, de comparer, de calculer, de transcrire... La mémoire de travail est active dans toutes ces activités.

De nombreuses études ont montré que de faibles capacités en mémoire de travail contribueraient à l'apparition d'un problème d'apprentissage en mathématiques (développement chaîne numérique verbale retardé, stratégies de calcul peu matures, et difficulté à créer un fait arithmétique).

Un trouble du traitement phonologique

Certains auteurs ont émis l'hypothèse que mémoriser les faits arithmétiques sous forme de routine verbale serait lié aux capacités de traitement des unités phonologiques de la langue. Des études ont d'ailleurs montré que la performance dans des tâches de conscience phonologique est un bon prédicteur du développement numérique. En effet, les tâches de phonologie et les tâches arithmétiques supposent le maintien en mémoire d'une information phonologique en même temps que celle-ci est traitée. Un trouble du traitement phonologique pourrait donc altérer les performances numériques.

Les gnosies digitales

Les doigts constituent un outil précieux pour construire le concept de nombre et pour procéder à des opérations arithmétiques. Ils sont en effet impliqués dans les premières stratégies de comptage utilisées par les enfants. La recherche a mis en évidence que les gnosies digitales sont un bon prédicteur des capacités numériques, et il est communément admis que les doigts jouent un rôle fonctionnel dans le développement d'un système mature de comptage. L'outil « doigts » permet :

- une représentation iconique des nombres ;
- de garder une trace des mots-nombres déjà énoncés quand on récite la comptine numérique et de soutenir la stabilité de l'ordre de la séquence numérique ;
- de coordonner l'attribution d'un mot-nombre à chaque item et la partition d'une collection (isoler ceux déjà comptés de ceux qui doivent encore l'être) ;

- de soutenir la compréhension du principe de cardinalité (on atteint toujours le même doigt pour tel mot-nombre) ;
- de soutenir la compréhension de la base 10.

Le niveau attentionnel

Les tâches mathématiques nécessitent aussi un bon niveau attentionnel. Des difficultés d'inhibition auraient pour conséquence une trop grande charge cognitive en mémoire de travail, puisque des informations non pertinentes y seraient admises, et ainsi des erreurs au niveau de la récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme.

L'organisation spatio-temporelle

Les mathématiques sont très liées à l'organisation spatio-temporelle. Un enfant qui construit mal son rapport au temps et à l'espace rencontrera des difficultés à ordonner la succession des différentes étapes d'un problème par exemple, ou encore à poser des opérations.

3.1.4. Les aspects psycho-affectifs

3.1.4.1. Un rapport négatif aux mathématiques

De nombreux enfants développent très tôt un rapport négatif aux mathématiques. Il est vrai que notre société a une conception élitiste des mathématiques, où la réussite serait la preuve d'un don, d'un talent pour ces tâches - « la bosse des maths » par exemple que l'on a ou que l'on n'a pas. Ce rapport négatif pourrait aussi être dû à l'absence de sens de certaines activités mathématiques rencontrées à l'école. En effet, on trouve à l'école, en mathématiques, des activités très formelles, artificielles, qui ne sollicitent pas forcément la construction d'un sens. Cela fait que certains enfants ont la sensation de ne rien comprendre, ce qui nuit à leur motivation et à leur image d'eux-mêmes. La pédagogie mathématique, telle qu'on la retrouve souvent à l'école, met aussi l'accent sur le fait de trouver « la » solution de « la » bonne manière. Cela est peu motivant et n'est guère engageant pour l'enfant. Bkouche et al. en 1991 (cités par Van nieuwenhoven, 2010) écrivent d'ailleurs que « ce qui est important, ce n'est pas de connaître la solution mais d'être capable de la trouver soi-même et de se construire

ainsi une image de soi positive et valorisante par rapport aux mathématiques. » Enfin ce rapport négatif peut aussi être construit dans un contexte où l'enfant est empli de diverses préoccupations ou manque de confiance en lui. Il ne sera pas capable de s'abstraire suffisamment pour aborder la tâche, ce qui l'amènera à commettre des erreurs, oublier des détails. L'enchaînement des échecs ébranle la confiance en soi et cela peut aller jusqu'à l'anxiété face à une tâche mathématique.

3.1.4.2. Affects et apprentissages

« Des recherches ont montré que les processus affectifs peuvent interférer, inhiber, perturber ou au contraire soutenir le processus d'apprentissage en général » (Van nieuwenhoven, 2010) Un enfant qui manque de confiance en lui ou ayant des difficultés à entrer dans ce type de tâches sera donc facilement en souffrance dans ces apprentissages. Les enfants pris en charge en orthophonie pour des difficultés dans le domaine logico-mathématique ont d'ailleurs très souvent un vécu extrêmement difficile vis-à-vis de ces tâches. Cela peut aller du manque de confiance en soi à une véritable anxiété. Lafortune, 1995 (rapporté par Van nieuwenhoven, 2010) décrit quatre types de réaction :

- L'abandon de la tentative de résolution du problème ;
- Apprentissage par cœur de toutes les notions et procédures, mais sans savoir les expliquer, et sans savoir faire de lien entre les différents concepts ;
- Réalisation des exercices par l'application de procédures mais sans chercher à comprendre
- Retentissement sur la vie quotidienne de l'image négative de leur capacité à réussir en mathématiques : échec dans d'autres disciplines, difficulté à aller vers les autres ou à accepter des tâches importantes dans un groupe...

En somme, cette dimension affective doit absolument être prise en compte afin d'éviter que les images négatives des mathématiques et de l'enfant lui-même ne nuisent aux processus cognitifs des apprentissages.

3.2. Extrinsèques au sujet

3.2.1. L'aspect conceptuel

Dans *Les chemins du nombre*, Fayol (1991) rapporte que certains auteurs ont pensé que la difficulté des problèmes provenait non pas de l'opération à effectuer,

mais des caractéristiques conceptuelles des problèmes. Cela a abouti à différentes typologies des problèmes. A partir de ces typologies, des expériences ont été menées et ont permis de déterminer que certains types de problèmes sont plus facilement résolus par les jeunes enfants que d'autres. Ainsi, les problèmes de type transformation sont les plus faciles à résoudre pour les enfants, et ceux de type comparaison sont les plus difficiles. En fonction du type de problème, les procédures mises en place par les enfants changent, et cela sans identification du type de problème. On remarque que les enfants les plus jeunes simulent les actions décrites dans l'énoncé pour résoudre le problème. Aussi la possibilité de simuler les actes du problème augmente la facilité à le résoudre. De là découle que la nature de l'inconnue est très importante : rechercher l'état final est plus facile que de rechercher l'état initial dans une transformation, car la recherche de l'état initial est impossible à modéliser en actes (la chronologie n'est pas respectée).

3.2.2. Caractéristiques langagières du problème

Les énoncés de problèmes sont des textes spécifiques, qui ont un lexique et une syntaxe propres. Les mots utilisés renferment un sens particulier qu'il faut découvrir pour trouver les opérations à effectuer. Des mots rencontrés chaque jour par l'enfant prennent ici un sens implicite qui est privilégié, par exemple « le **et** [...] perdant sa valeur discursive et accompagnant une énumération, est un indice d'addition » (Decour, 1993). Ou encore des mots tels que « somme, total, tout, plus que, ... » ou même des verbes comme « ajouter, donner, acheter, gagner, rendre, dépenser, ... » sont des indices qui vont permettre à l'enfant de se représenter la situation-problème et de choisir les procédures adaptées. Mais ces mots-indices peuvent également être pièges et ne pas indiquer l'opération qui correspond généralement à ce mot. Par exemple :

« Dans une casserole, Marie met 2 carottes. Ensuite, elle ajoute des tomates. Il y a maintenant 5 légumes dans la casserole. Combien de tomates Marie-a-t-elle ajoutées ? ».

Dans cet énoncé on retrouve deux fois le terme d'ajout mais l'opération à effectuer n'est pas une addition alors que c'est, dans l'esprit des enfants, l'opération qui est implicitement reliée à ce verbe. On constate également la présence d'indices temporels tels que « ensuite, maintenant » qui indiquent l'ordre des actions, et dont la compréhension est nécessaire pour la représentation chronologique de l'énoncé.

La syntaxe est extrêmement simplifiée, il n'y a généralement pas de redondance ou de paraphrase, le style est épuré. Ce qui diverge grandement du langage conversationnel ou même du discours de la maîtresse en classe qui, à grands renforts d'images, de redondances... fait passer le sens de ce qu'elle explique sous diverses formes.

Ainsi, les problèmes sont des textes qui s'éloignent fortement du type de langage rencontré quotidiennement et connu des enfants, qui peuvent donc être déstabilisés par ce style inhabituel qui peut engendrer des incompréhensions.

3.2.3. Les modalités de présentation

Les problèmes sont le plus souvent présentés sous forme de courts textes contenant les données et une question à laquelle il faudra trouver la réponse. Mais ils peuvent aussi être proposés dans d'autres modalités, sous forme de dessin par exemple. Les énoncés écrits peuvent également être accompagnés de schémas ou d'images représentant la situation. Fagnant et Vlassis (2010) ont montré que la présence de schémas prédéfinis ou de dessins avait un effet positif sur la résolution du problème. On comprend alors que la difficulté d'un problème varie en fonction de sa modalité de présentation – la présentation sous forme de texte augmentant la difficulté. En effet, toute aide à la représentation mentale de la situation-problème permet une meilleure compréhension de l'énoncé.

Aussi, entrent en jeu dans les modalités de présentation du problème deux éléments capitaux qui viennent soutenir la compréhension de l'énoncé et la représentation mentale de la situation et ainsi alléger la difficulté de la tâche : l'ordre d'introduction des données et la place de la question.

Fayol (1991) rapporte les résultats des expériences de Rosenthal et Resnick (1974) : un problème dont l'ordre de présentation des données respecte la chronologie des événements de la situation-problème est plus facile à résoudre. L'enfant n'a pas besoin d'effectuer une sériation temporelle des événements et la résolution du problème s'en trouve facilitée.

La place de la question est aussi une variable que l'on peut contrôler pour moduler la difficulté de la tâche. Il est en effet communément admis que placer la question en début d'énoncé améliore les performances en résolution de problème. Thévenot, Barouillet et Fayol (2004) donnent deux raisons pour expliquer ce fait qui a été mis en évidence dans de nombreuses expériences. Tout d'abord, placer la

question en début d'énoncé offrirait la possibilité de réaliser les calculs en cours de lecture pour les problèmes dont la formulation induit clairement les relations entre les données. Les problèmes seraient alors résolus par la construction en mémoire de travail d'une représentation de la situation-problème. Enfin « la question en tête d'énoncé semble (...) jouer un rôle proche de celui du titre dans la compréhension de texte en guidant la prise d'information et son encodage » (Thévenot, Barouillet et Fayol, 2004).

4. Faciliter la résolution de problèmes

Des difficultés de la résolution de problèmes que nous venons d'observer, nous pouvons tirer des clés en facilitant la résolution. Mais les aides que nous pouvons apporter doivent être maîtrisées. Aussi nous commencerons par définir des principes de l'aide à la résolution de problèmes et ensuite seulement nous listerons ces aides. Pour terminer, nous nous attacherons à mettre en évidence l'apport de la manipulation car celle-ci est au cœur de notre travail.

4.1. Principes généraux des aides

Nous avons déjà mis en évidence le fait que la compréhension du problème, et donc toutes les étapes qui en découlent, « reste dépendante des possibilités dont dispose l'enfant à se représenter la situation problème » (Ménissier, 2011). Les aides que le pédagogue apporte doivent donc se situer au niveau de la représentation et aider à la construction de celle-ci. Julo (2002) définit 2 objectifs des aides :

- permettre l'invention d'une procédure de résolution, car trouver soi-même la solution apporte de nombreux bénéfices en termes d'apprentissages et de compréhension
- induire une évolution des schémas de problèmes : quand l'aide apportée n'est pas suffisante pour trouver la solution, l'aidant doit expliquer comment il fallait penser le problème – et non pas axer sur les aspects procéduraux – dans le but de constituer une expérience avec tel schéma de problème. Julo (2002) se place pour cela dans le cadre de la théorie des schémas, où ces derniers sont des formes d'organisation en mémoire sémantique des problèmes que l'on a déjà rencontrés.

Julo (2002) détermine ensuite trois critères des aides. Celles-ci ne doivent pas donner d'indices sur la solution au problème, elles ne doivent pas orienter vers une procédure, ni suggérer une modélisation du problème. Il indique malgré tout que ces trois critères de la « bonne » aide sont souvent transgressés car ils ne sont pas simples à mettre en place.

Enfin, Fagnant (2000) insiste sur le fait que l'enfant ne comprend le symbolisme mathématique que si celui-ci est relié à des actions sur des objets du monde réel. Elle met ainsi en évidence l'idée qu'une bonne aide doit être porteuse de sens pour que l'enfant puisse s'approprier les savoirs.

4.2. Les aides

Pour aider l'enfant en difficulté face à un problème, on peut lui proposer:

- un contexte détendu,
- un énoncé dont les termes lexicaux sont connus de l'enfant,
- de placer la question en début d'énoncé, et de la reformuler pour s'assurer de ce que l'on recherche bien la même inconnue,
- de l'aider à se représenter la situation grâce au dialogue, au dessin, à la manipulation, et ce notamment pour mettre en évidence les relations entre les données et la chronologie des événements.

4.3. L'apport de la manipulation

Il est communément admis que manipuler favorise le développement des potentialités intellectuelles de l'enfant. Aussi, nous commencerons par rappeler de quelle manière celle-ci est liée au développement de l'intelligence. Nous l'envisagerons ensuite dans la perspective de notre travail sur la résolution de problèmes afin de préciser dans quelle mesure elle constitue une aide précieuse.

4.3.1. Définition

Dictionnaire d'orthophonie (2004) : « en orthophonie, le terme de « manipulation » est employé pour décrire, d'une part les actions du très jeune enfant, lorsqu'il expérimente et découvre les lois physiques sur la propriété des objets en jouant, d'autre part - dans le domaine des rééducations logico-mathématiques –

dès que l'on met l'enfant en situation de faire des actions sur les objets réels (des manipulations) pour lui permettre d'en extraire des connaissances et des lois généralisables. »

Manipuler est donc en lien avec le jeu de l'enfant, or « le jeu est l'activité essentielle, spécifique de la période de l'enfance ; (...) il est étroitement lié à l'évolution des compétences psychomotrices, intellectuelles, affectives, de créativité et de socialisation » (Lacombe, 2012). Le jeu – et donc la manipulation - permet ainsi de réaliser des apprentissages. L'exercice orthophonique prend justement appui sur le jeu pour aider l'enfant à construire et à organiser ses connaissances. Dans le domaine logico-mathématique, le jeu en orthophonie prend souvent la forme d'éléments à manipuler.

4.3.2. Manipulation et développement psychomoteur

4.3.2.1. Les conditions nécessaires à la manipulation

Les conditions nécessaires à la manipulation en tant qu'activité motrice sont :

- absence de handicap moteur touchant les membres supérieurs
- de bonnes habiletés manuelles
- de bonnes capacités visuelles
- une bonne coordination visuo-manuelle

4.3.2.2. Manipulation et développement de l'intelligence

L'apprentissage « se fait par l'expérimentation et par l'entraînement (c'est-à-dire par la répétition de l'expérience) qui laissent des traces dans le corps. L'expérience est mémorisée puis transposée dans d'autres actions, d'autres situations (Lacombe, 2012) »

Lacombe, 2012, rappelle que Piaget définit quatre stades du développement de l'intelligence au travers desquels l'enfant passe peu à peu d'une intelligence pratique, issue de l'expérience concrète, à une intelligence « opératoire formelle », où l'enfant accède aux raisonnements abstraits.

Lacombe (2012) conclut ainsi que « le développement cognitif (...) consiste en une mentalisation progressive de l'action, d'où l'importance capitale des actions sensori-motrices proposées à l'enfant. ». Manipuler constitue donc une activité

capitale qui permet à l'enfant de développer sa pensée depuis des choses très concrètes jusqu'à des objets abstraits du réel.

4.3.3. Manipulation et résolution de problèmes

4.3.3.1. La pédagogie en mathématiques

Malgré les connaissances sur la nécessité des stimulations sensori-motrices pour les apprentissages des enfants, « les activités d'apprentissage scolaire se basent souvent sur l'arithmétique et la formalisation. Les activités concrètes y sont le plus souvent artificielles et donc non significatives pour les apprenants » (Van Nieuwenhoven, 2010).

Relevant cette contradiction entre l'école classique et les connaissances sur la manière dont l'enfant acquiert de nouvelles compétences, de nombreuses pédagogies se sont développées, qui laissent une place importante à la manipulation au sein de l'école. La pédagogie Freinet par exemple donne une place majeure au « tâtonnement expérimental ». Il s'agit de procéder par approximations successives pour apprendre : l'enfant, en tâtonnant, vit l'expérience et la stocke en mémoire. C'est donc l'enfant qui génère sa connaissance, ce qui correspond à la manière dont, naturellement, nous réalisons des apprentissages.

Aujourd'hui, l'expérience a à nouveau sa place à l'école. « Elle est en effet de plus en plus valorisée au sein de l'enseignement scolaire comme le montre la promotion des pratiques pédagogiques prônant le recours à l'expérience et à l'expérimentation comme source des apprentissages », notent Zeitler, Guérin et Barbier (2012).

4.3.3.2. Les apports de la manipulation

Nous les avons déjà mentionnées, les aides externes constituent de véritables stratégies de résolution de problème. Ces aides externes sont les doigts et les objets à manipuler. Elles permettent de représenter physiquement les termes du problème et ainsi de procéder au comptage pour trouver le résultat. Ce sont des stratégies moins matures. Fayol (2012) écrit d'ailleurs que « ces manipulations ne constituent pas des opérations mais des simulations. » Mais ces simulations sont capitales dans le développement de l'enfant : d'abord physiques puis mentales, elles permettent de mieux se représenter la situation. D'ailleurs, les enfants peinent longtemps à

résoudre les problèmes que l'on peut difficilement simuler, comme par exemple les problèmes de type transformation où l'on recherche l'état initial. On peut donc aussi conclure que manipuler aide à se représenter la situation-problème dans sa chronologie.

La manipulation d'objets permet aussi d'alléger la charge cognitive en mémoire de travail. Or les enfants en difficulté dans les apprentissages mathématiques ont fort souvent un empan mnésique réduit. Manipuler peut donc les aider en évitant la surcharge cognitive.

Elle peut aider à comprendre le sens des opérations en rendant pleinement visibles les opérations d'ajouts, de retrait, etc. que l'on applique aux collections.

Enfin, la manipulation permet aussi à l'observateur de se faire une idée du fonctionnement cognitif de l'enfant, ce qui aide ensuite à ajuster les interventions et recours proposés. Notons ici l'importance de verbaliser et de faire verbaliser par l'enfant ce qui se passe sous nos yeux. En effet, quand l'enfant parvient à expliquer correctement ce qu'il fait, c'est que sa représentation mentale et que la connaissance conceptuelle qui sous-tendent sa réponse sont construites. A l'observateur de savoir l'interroger et faire émerger ces concepts.

Ces manipulations deviendront opérations véritables quand le traitement symbolique se libérera des contraintes des situations.

5. Conclusion

Nous avons vu que le problème mathématique est une tâche complexe qui met en jeu de multiples compétences (langagières, logiques, mathématiques...) et ressources cognitives. De là, les difficultés rencontrées par les enfants peuvent avoir différentes origines et il n'est pas toujours simple de les identifier. Celles-ci peuvent être propres à l'enfant (compétences, aspect psychoaffectif...) ou au problème lui-même (type, facteurs langagiers, place de la question...). Les représentations qu'ont les enfants des problèmes sont de surcroît bien souvent scolaires et privées de sens : il s'agit d'un exercice qui existe indépendamment du monde extérieur et de sa logique. Pour le résoudre il y a une seule procédure, un seul résultat chiffré.

Pourtant cet exercice est pratiqué quotidiennement à l'école et les pédagogues estiment qu'il est un des lieux où l'apprentissage se forme le mieux.

Comment alors concilier l'exigence d'un apprentissage structuré et celle d'un apprentissage où l'enfant serait acteur et générerait lui-même le sens ?

Les pédagogues ont cherché des réponses à cette question et il semble alors que la résolution de problèmes peut être facilitée par un certain nombre de moyens que nous avons expliqués (adaptation au niveau langagier de l'enfant, gestion des aides proposées, manipulation...). Ces moyens de facilitation sont particulièrement précieux pour les orthophonistes qui prennent de plus en plus en charge d'enfants pour des difficultés d'ordre logico-mathématique. Ceux-ci sont très demandeurs de matériel leur permettant d'aider l'enfant à résoudre les problèmes. Ce travail se situe en grande partie au niveau des premières étapes de résolution puisque c'est là qu'il s'agit véritablement de comprendre l'énoncé et ce qu'on doit chercher. La planification des stratégies et l'exécution des calculs découlent de ces premières étapes que l'on sait difficiles pour les enfants.

A la lumière de ces observations, nous avons souhaité proposer un matériel pédagogique pour améliorer la compréhension de problèmes additifs des enfants de CE1-CE2. Ces niveaux scolaires sont ceux où les problèmes se complexifient : de nombreux types sont abordés, les données numériques impliquées grandissent, les opérations sont plus diverses. Jouer au niveau des mécanismes de base nous a paru nécessaire pour les enfants en difficulté dans ces niveaux. Cela permettrait à l'enfant de développer des stratégies et des représentations qui l'aideraient à résoudre plusieurs situations faisant appel aux mêmes mécanismes. Mais également de limiter leur appréhension des problèmes mathématiques.

Nos hypothèses pour ce travail sont donc :

1. Notre matériel, qui se veut ludique, varié et progressif va-t-il améliorer la compréhension de problèmes et plus particulièrement de problèmes additifs ?
2. L'enfant va-t-il développer des stratégies et des représentations qui vont l'aider à résoudre les problèmes proposés puis des problèmes plus complexes ?
3. L'enfant va-t-il mettre en place des représentations mentales lui permettant de se détacher petit à petit du concret pour résoudre des problèmes ?
4. L'appréhension face aux problèmes va-t-elle s'estomper ?

Sujets, matériel et méthode

1. État des lieux du matériel existant

Afin d'évaluer la pertinence de créer un matériel de manipulation visant l'amélioration de la compréhension de problèmes, mais aussi dans le but de guider notre création, nous avons procédé à un tour d'horizon de ce qui se faisait déjà.

Nous prenons ici volontairement le parti de ne pas nous attarder sur les manuels proposant un travail progressif de la résolution de problèmes, car ces matériels ne sont pas spécifiquement orthophoniques et sont bien souvent accessibles aux enseignants ou encore aux parents. De plus, ils sont très souvent « scolaires » dans leur présentation : l'énoncé de problème suivi d'une ou plusieurs questions et parfois un dessin accompagnateur. Nous choisissons de privilégier les matériels se présentant sous une forme ludique.

Nous présenterons le matériel existant par maison d'édition. Certaines d'entre elles ne sont pas spécifiquement orthophoniques mais restent spécialisées dans l'édition de matériels pédagogiques à destination des professionnels de l'éducation et de la rééducation.

1.1. Educaland

1.1.1. Dominomath

Dominomath, de C.Boutard, est un « jeu de dominos pour acquérir le lexique mathématique et la compréhension et résolution des problèmes » d'après le site d'Educaland. L'aspect ludique est garanti par la forme du jeu de dominos. Certaines cartes s'approchent de notre projet puisque ce sont celles qui travaillent sur le sens de l'addition et de la soustraction sur des données numériques inférieures à 10 ou à 20. C'est donc un matériel progressif : augmentation de la magnitude des données numériques mais aussi plus grande élaboration des énoncés de problèmes au niveau du vocabulaire mathématique utilisé. Les problèmes sont de tous les types.

1.1.2. Problèmes en images

Créé par L. Brive, « ce matériel permet de travailler le langage mathématique, le calcul, le raisonnement logico-mathématique, la compréhension de consignes » (site de Mot-a-Mot). Il se présente sous la forme de grandes images accompagnées de fiches questions qui visent à analyser le mieux possible la situation. Le point

central est donc la compréhension des énoncés en lien avec une situation. Ce matériel s'adresse à des enfants à partir du CE1 et ne propose pas de progression.

1.2. Éditions Pédagogiques du Grand Cerf

1.2.1. Énoncés

Ce matériel créé par A. Lacomblez est un « jeu d'attention et de langage sur la précision de lecture d'énoncés mathématiques » d'après le site de l'éditeur. Il se présente sous forme d'un jeu de plateau. L'enfant devra répondre à différents types de questions faisant réfléchir sur la langue dans des problèmes relevant des mathématiques et du bon sens. Ce matériel est centré sur la compréhension des énoncés verbaux de tous types, avec toutes les opérations, mais ne propose ni progression ni manipulation. Il s'adresse à des enfants de 9 ans et plus.

1.2.2. Parler Math 1

Ce matériel a lui aussi été créé par A. Lacomblez. Ce jeu de plateau comporte plusieurs types de cartes dont l'objectif n'est pas la résolution de problèmes en elle-même, mais l'analyse des énoncés et leur compréhension. La différence avec le matériel précédemment présenté est que celui-ci se centre plus sur les mathématiques : vocabulaire mathématique, sens des opérations, numération, lecture de problèmes, et structures logiques. Il est possible de le proposer à des enfants à partir de 8 ans.

1.3. Passe-Temps

1.3.1. Comprendre la résolution de problèmes

M.-P. Boutin propose ici un matériel sous forme de loto, où l'enfant doit associer une carte réponse à chaque problème de sa planche. L'objectif est alors de comprendre la situation-problème et de sélectionner les informations pertinentes de l'énoncé. S'adressant aux enfants de cycle 2, il propose des problèmes de types rencontrés dans ces niveaux scolaires sans progression.

1.3.2. Résolu

Créé par Anne Lafay, ce matériel est un ensemble 5 jeux (Courons, Cultivons, Respirons, Buvons, Parlons) qui travaille la résolution de problèmes. Les problèmes sont répartis parmi ces jeux selon le type d'opération, la place de l'inconnu ou les structures mathématiques travaillées. Selon l'éditeur, le matériel permet de : Choisir l'opération adéquate pour résoudre ce type de problème, développer le vocabulaire mathématique, travailler les faits arithmétiques et les procédures de calcul des quatre opérations. Chaque problème est présenté sous-forme de carte et le jeu comporte également des cartes réponses ainsi qu'une échelle sur laquelle le pion avance à chaque problème réussi.

1.4. L'atelier de l'oiseau magique

1.4.1. Manip' & Maths

Ce matériel, créé par Émilie Rustan, a pour objectif d'améliorer la compréhension de problèmes en rendant des situations abstraites plus réalistes par le biais de la manipulation d'images. Le jeu comporte 12 thèmes, pour chaque thème il y a 6 problèmes répartis en 2 sous-thèmes, chaque sous-thème comprenant 3 niveaux de difficultés. Il comporte également des cartes réponses, pour que l'enfant puisse s'auto-corriger. Les problèmes sont de types additif et soustractif. Ce matériel s'adresse à des enfants de 6 à 8ans.

1.4.2. 1ers pas en problèmes

Préambule à *100% Problèmes*, ce matériel cible la représentation mentale des situations-problèmes et ce via une présentation dans les modalités textuelle et visuelle imagée. L'aspect ludique est assuré par sa forme de jeu de plateau. Différents types de problèmes sont proposés mais sans différences de niveaux.

1.4.3. 100% Problèmes

Ce matériel, qui se présente sous la forme d'un jeu de plateau, a pour objectifs, d'après le site de l'éditeur, de : « résoudre des problèmes, appréhender le sens des opérations ; comprendre les différents termes mathématiques ; maîtriser la compréhension de termes fréquents et leurs synonymes »

Par le biais de différentes cartes, il se centre ainsi sur la compréhension du problème et de ses différentes composantes. Ici aussi l'on trouve différents types de problèmes sans niveaux de difficulté déterminés. Il s'adresse à des enfants âgés d'au moins huit ans.

1.5. Ortho Édition

1.5.1. Les comptes de la forêt

Créé par V. Cordel, ce matériel ludique a pour intérêt essentiel, d'après l'éditeur, de « permettre à l'enfant de construire des représentations mentales grâce au champ lexical des contes et ainsi de mieux manipuler les données utiles pour la résolution de problèmes. » Les problèmes nécessitent le recours à l'addition, la soustraction et à la multiplication. Ce matériel, progressif, contient trois niveaux de difficulté. C'est un matériel très adaptable puisque l'on peut en moduler la durée en fonction de l'objectif à atteindre, et sélectionner les cartes qui nous intéressent en fonction de chaque enfant. Ce matériel s'adresse à des enfants à partir de 7 ans.

1.5.2. Point d'interrogation 1 et 2

Ce logiciel, créé par A. Ménissier, est un générateur de problèmes qui a été élaboré, selon l'auteur, en prenant compte de :

- « - la structure sémantique des problèmes
- l'ordre d'introduction des données
- l'emplacement de la question
- l'emploi de termes linguistiques spécifiques
- le temps des verbes utilisés
- la pertinence des informations à traiter. »

L'orthophoniste peut contrôler la place de l'inconnue, le type de problème et le niveau de difficulté. La partie 1 correspond aux problèmes additifs et soustractifs, la partie 2 aux problèmes multiplicatifs. Le logiciel permet donc au praticien de proposer au patient des problèmes adaptés à ses compétences.

Conclusion

Il ressort de ce tour d'horizon non exhaustif, que plusieurs matériels s'attachent à la compréhension de problèmes. On observe différentes façons de se centrer sur le sujet. Beaucoup passent par ce que l'on pourrait appeler « le méta problème » en

proposant des réflexions sur les données, les questions, les énoncés impossibles, etc. Mais peu d'entre eux visent à vraiment faire comprendre les procédures de résolution : la plupart entraînent des compétences scolaires. De plus, seul Manip&maths passe par la manipulation en vue de créer une représentation concrète de la situation problème mais il n'y a pas de progression de la manipulation, on reste sur une représentation en 2D figurative. Par ailleurs, les matériels progressifs se font rares malgré parfois la définition de différents niveaux de jeux. La progression ne se fait jamais en fonction de la typologie des problèmes.

C'est à la lumière de ces conclusions que nous avons élaboré notre matériel. Nous allons maintenant le présenter.

2. Enigmanip' : présentation et création

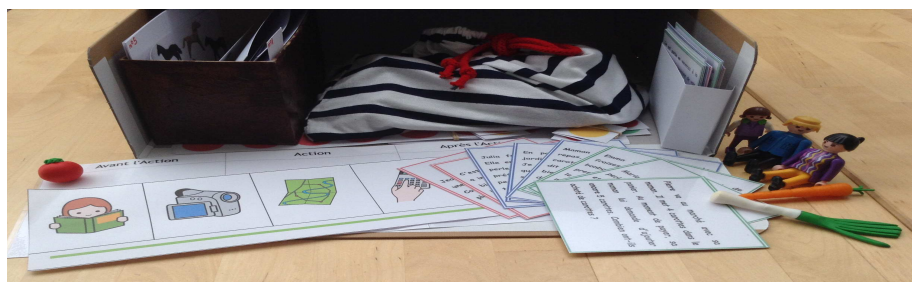
2.1. Présentation

2.1.1. Choix du titre et objectifs

Notre matériel a pour objectif de travailler la résolution de problèmes additifs par le biais de la manipulation. La tranche d'âge visée est celle des enfants de CE1-CE2. Il nous tenait à cœur de sortir le problème de son cadre « scolaire » et de le rendre intéressant pour les enfants en difficulté dans ce type d'exercice. Pour cela nous avons choisi d'appeler nos problèmes des énigmes. Pour rendre la résolution d'énigmes attrayante et plus aisée pour les enfants nous avons donc créé des supports de manipulation. Le nom de matériel qui allie donc résolution d'énigmes et manipulation a été vite trouvé : Enigmanip'.

2.1.2. Contenu

Ce matériel contient :



- ✓ 29 cartes énigmes

- ✓ 3 sachets avec des objets à manipuler : animaux, légumes, humains, objets (perles, chaises)
- ✓ des photos des objets
- ✓ des photos de jetons
- ✓ 3 types d'aide : frise étapes de résolution, frise chronologique, fiche lexicale (Annexe 7)



La frise étapes de résolution

Avant l'Action	Action	Après l'Action

La frise chronologique

- ✓ 1 coffre à trésor et 30 pièces
- ✓ une notice d'utilisation (annexe 8)

Des photos du matériel sont disponibles en annexe 1 (p.A4).

2.1.3. Mode d'emploi

Présentation

But du jeu : Constituer le plus gros trésor de pièces d'or possible en répondant à des énigmes. L'utilisation du terme d'énigme et non du mot « problème » évite de bloquer l'enfant dans des représentations scolaires. A chaque énigme réussie, l'enfant gagne une pièce du trésor qu'il range dans son coffre.

Présentation des aides : Dans sa quête, l'enfant trouvera différentes aides. La première, est **la frise étapes de résolution**. Chaque pictogramme reprend une des étapes de la résolution de problèmes décrites par Ménissier (2011) : la traduction du problème, l'intégration, la planification, l'exécution des calculs et le rétro-contrôle du résultat. Les deux autres aides sont introduites au cours de la description de la frise étapes de résolution. Attention : la frise chronologique ne vaut que pour les

problèmes de type transformation, puisque ceux-ci impliquent un déroulement temporel. Nous conseillons de détailler chaque pictogramme de la façon suivante :

- *La fille qui lit* est là pour te rappeler qu'il faut bien lire et bien comprendre tous les mots de l'énigme. S'il y a des mots que tu ne connais pas, une page du dictionnaire est là pour t'aider. Montrer alors **la fiche lexique**.
- *La caméra* signifie que tu dois faire le film de ce qui se passe dans l'énigme avec les différents objets que je te donnerai. Parfois tu auras besoin d'utiliser **la frise chronologique** pour faire le film. Monter la frise et l'expliquer.
- *La carte* vient te rappeler que tu dois choisir comment tu vas faire pour résoudre l'énigme.
- *La calculatrice* veut dire que tu dois ensuite faire les calculs.
- *La loupe* est là pour que tu n'oublies pas de vérifier que tu as bien trouvé le bon résultat.

Ordre des énigmes

La progression d'Enigmanip' se fait en trois phases de manipulation : objets en 3D, photos de ces objets puis photos de jetons. 5 énigmes transfert se font sans matériel manipulable.

Les cartes de la première phase sont numérotées de 1 à 8 ; celles de la deuxième phase de 1b à 8b ; celles de la troisième phase de 1c à 8c. On passe d'un type de manipulation à l'autre dès que l'on a terminé tous les problèmes d'une phase. Il est bien sûr possible de revenir ponctuellement à une phase antérieure pour expliquer un concept, ou si l'enfant est en difficulté avec des problèmes de niveaux supérieurs.

Les problèmes sont répartis en 3 niveaux de difficulté, déterminés d'après la typologie des problèmes additifs proposée par Vergnaud mais aussi d'après les compétences attendues au CE1 et CE2. L'ordre proposé est le suivant :

Niveau 1 (cartes vertes):

- Transformation : recherche de l'état final
- Transformation : recherche de la transformation
- Composition : recherche du tout

Niveau 2 (cartes bleues) :

- Composition : recherche de la partie
- Composition de transformations : recherche de l'état final

- Comparaison : recherche de l'un des membres

Niveau 3 (cartes rouges) :

- Transformation : recherche de l'état initial
- Comparaison : recherche de la comparaison

Matériel pour chaque énigme

A chaque énigme son matériel. Les objets proposés comprennent souvent des éléments non pertinents. Pour les deuxième et troisième phases, il est intéressant d'observer ce que sélectionne l'enfant : cela permet d'obtenir des indications sur son raisonnement et sur la manière dont il procède.

Manipulation d'objets en 3D :

Personnages et objets

- 15 Playmobils©
- 11 chaises

Animaux

- 7 lapins
- 10 chevaux

Perles

- 13 perles bleues
- 12 perles jaunes

Légumes

- 12 carottes
- 4 poireaux
- 6 tomates
- 3 poivrons

Bonbons

- 12 fraises Tagada

Manipulation de photos d'objets :

n°	Matériel
1b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 2 moutons, 6 lapins, 1 poulain, 2 chevaux, 1 cochon, 1 vache, 1 chèvre • groupe de 5 lapins • groupe avec 2 chevaux, 1 vache, 1 poulain, 1 chèvre • groupe avec 2 moutons, 1 vache, 1 chèvre, 1 poulain, 1 cheval, 1 cochon
2b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 5 chapeaux blancs, 3 chapeaux jaunes, 4 chapeaux noirs, 5 chapeaux rouges • groupe de 4 chapeaux noirs • groupe de 5 chapeaux rouges • groupe de 3 chapeaux jaunes
3b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 10 perles bleues, 14 perles jaunes • groupes de 2 : 4 jaunes, 2 bleus • groupes de 3 : 3 bleus, 2 jaunes • groupe de 9 perles bleues sur deux lignes • groupe de 9 perles bleues dispersées

	<ul style="list-style-type: none"> • groupe de 7 perles jaunes sur deux lignes • groupe de 7 perles jaunes dispersées • groupe de 12 perles jaunes dispersées • groupe de 3 perles jaunes et 6 perles bleues • groupe de 7 perles jaunes et 9 perles bleues sur deux lignes
4b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 4 moutons, 7 chevaux, 1 vache, 1 veau, 1 chèvre • groupe avec 4 moutons, 1 vache, 1 veau, 1 chèvre • groupe avec 7 chevaux
5b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 3 feutres • groupes de 2 : 3 • 1 groupe de 3 • 1 groupe de 4 • 1 groupe de 5
6b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 4 filles • 2 groupes de 2 • 2 groupes de 3 • 1 groupe de 4 • 1 groupe de 6
7b et 8b	<ul style="list-style-type: none"> • unités : 2 poireaux, 3 poivrons, 4 carottes, 5 tomates • 1 groupe de 2 tomates • 1 groupe de 2 poivrons • 1 groupe de 2 poireaux • 1 groupe avec 1 tomate et 1 poivron • 2 groupes de 3 tomates • 1 groupe de 3 carottes • 1 groupe de 3 poivrons • 1 groupe avec 2 carottes et 1 poivron • 1 groupe de 4 tomates • 1 groupe de 6 tomates

Tableau n°3 : matériel par problème pour la phase de manipulation de photos d'objets

Manipulation de photos de jetons : proposer toutes les photos à chaque énigme.

- 15 unités
- 5 groupes de 2 jetons
- 4 groupes de 3 jetons
- 6 groupes de 4 jetons
- 2 groupes de 5 jetons
- 3 groupes de 6 jetons
- 2 groupes de 8 jetons
- 2 groupes de 9 jetons

2.2. Création

Nous nous sommes fixé des objectifs pour créer Enigmanip'. Nous voulions que notre matériel soit ludique, progressif, et centré sur les mécanismes de compréhension de problèmes.

2.2.1. Un matériel ludique sous forme d'énigmes

2.2.1.1. Une quête au trésor

Soucieuses de proposer un matériel ludique pour apaiser l'angoisse des enfants face aux problèmes, nous avons préalablement pensé à introduire un plateau de jeu. Celui-ci aurait présenté l'avantage de permettre à l'enfant de visualiser sa progression mais cela aurait occupé trop d'espace sur la table étant donné la présence nécessaire du matériel de manipulation. Aussi nous avons préféré opter pour une forme plus simple : l'enfant part en quête d'un trésor. Pour cela, il possède un petit coffre à trésor dans lequel il range les pièces d'or qu'il gagne chaque fois qu'il résout une énigme. Le gain des pièces d'or permet de visualiser la progression et le patient voit son trésor augmenter au fur et à mesure, ce qui est très valorisant pour lui. Ce thème général de la quête au trésor est bien connu et très apprécié par les enfants. De nombreux matériels existants choisissent d'ailleurs ce thème pour les stimuler.

2.2.1.2. Des thèmes qui parlent aux enfants

Nous avons à cœur de choisir des situations proches du quotidien des enfants. En effet, dans l'objectif de faire comprendre les mécanismes de la résolution d'un problème, et de travailler pour cela tout particulièrement sur les représentations mentales, il nous paraissait capital de rester dans le domaine du réel concret plutôt que dans des thèmes faisant plus appel à l'imagination. De fait, cela permet de s'ancrer dans la logique, le bon sens et l'expérience et évite les situations où l'imaginaire vient résoudre le problème. Aussi nos thèmes sont liés à des situations que les enfants ont pu vivre régulièrement telles que la préparation d'un plat à base de légumes (soupe, ratatouille, salade), l'organisation d'un anniversaire, les sorties et activités scolaires, ou encore la confection de bijoux en perles. Le thème de la ferme même s'il ne fait pas partie du « quotidien » de la plupart des enfants est un thème très souvent abordé dans les histoires, les dessins animés...

Le choix des thèmes a été fait également en fonction des possibilités que nous avons du point de vue du matériel manipulable : des thèmes trop variés nous auraient contraintes à augmenter considérablement le nombre d'objets et nous auraient entraînées vers des éléments non représentables.

2.2.1.3. Du matériel attractif

Le matériel choisi est composé d'objets du commerce et d'objets créés par nos soins en pâte fimo. Nous avons pris garde d'utiliser des objets relativement connus comme les Playmobils© parce qu'ils offrent l'avantage d'être très appréciés par les enfants mais aussi parce qu'ils proposent une grande variété d'objets (personnages, chapeaux, chaises, animaux...).

Nous avons créé une partie du matériel pour plusieurs raisons. Tout d'abord, nous souhaitons avoir une grande quantité de matériel manipulable, or cela n'était pas possible avec les objets du commerce. En effet, les lots de légumes dans le commerce ne proposent que quelques éléments de chaque type de légume, ce qui n'était pas suffisant pour nos besoins. De plus, nous souhaitons du matériel qui ne provienne pas des rayons « petite enfance » puisque nous nous adressons à des enfants plus âgés. Il nous a donc paru plus adapté de les motiver avec du matériel non infantin. Enfin, en les confectionnant, nous avons pu choisir la taille des objets. La dernière raison est d'ordre pratique : les objets du commerce sont bien souvent gros et encombrants. L'espace de manipulation lors de l'utilisation du matériel devait rester clair et dégagé, sachant qu'en plus des objets il y aurait aussi trois aides, un coffre, et une carte énigme.

Le matériel est donc varié, coloré et essentiellement composé de jouets ou de représentations de jouets ce qui place l'enfant dans un contexte de jeu favorable à son investissement.

2.2.2. Un matériel progressif

Nous avons vu que le matériel existant proposait souvent des niveaux mais pas forcément de progression par étapes. Nous avons donc choisi d'envisager différentes étapes de manipulation au sein desquelles se trouvent trois niveaux de problèmes.

2.2.2.1. Les types de problèmes

Comme nous avons pu le constater (cf 1.3.2. Programmes scolaires du CE1-CE2) les enfants en milieu de CE1 ont déjà abordé la majorité des types de problèmes additifs, et le programme de CE2 reprend les mêmes types.

La population ciblée par notre matériel étant des enfants de CE1-CE2, nous avons donc choisi de créer des problèmes de tous les types abordés depuis la

grande section jusqu'au CE2 et de créer 3 niveaux de difficultés, identifiables par un code couleur, en fonction du niveau scolaire et du moment de l'année dans lesquels ils étaient abordés. Le niveau 1 correspond aux types de problèmes abordés en Grande Section de Maternelle et au CP : le niveau 2 à ceux que l'on aborde en début et milieu de CE1 ; le niveau 3, à ceux abordés vers la fin de l'année de CE1. Les problèmes du niveau 3 sont ceux qui sont les plus difficiles sur le plan conceptuel car ils sont difficilement représentables, comme nous l'avons vu en première partie.

2.2.2.2. De la 3D figurative à la 2D non figurative

La progression que nous avons choisie est la suivante :

- manipulation d'objets en 3D,
- manipulation de photos des objets (2D figurative),
- manipulation de photos de jetons (2D non figurative).

L'objectif de cette progression est de matérialiser dans un premier temps les situations-problèmes, pour ensuite amener l'enfant à détacher son raisonnement du concret et à mentaliser petit à petit la chronologie des actions, ce qui permet une meilleure organisation du raisonnement. Passer de l'une à l'autre manipulation permet aussi d'éviter que l'enfant ne s'enlise dans une seule représentation : l'enfant peut ainsi constater qu'on peut représenter une même situation sous différentes formes. C'est pour cela que les photos d'objets et de jetons proposées sont soit des unités, soit des groupes. Cela donne en outre des indications au thérapeute quant à la conservation du nombre, à son utilisation et aux équivalences.

2.2.3. Un matériel centré sur les mécanismes de compréhension du problème

2.2.3.1. Création des énoncés de problèmes

Problèmes avec manipulation

Nous avons préalablement choisi de générer des problèmes à l'aide du logiciel Point d'interrogation de Ménissier, cependant, nous avons constaté que nombre des problèmes générés contenaient le plus souvent soit des quantités continues, que nous avons exclues faute de pouvoir manipuler ces quantités, soit la manipulation d'argent que nous avons également exclue : les patients pourraient ne pas avoir encore construit la base 10 et se trouver en grande en grande difficulté sur ce type

de problèmes. Nous avons donc créé chaque problème en sélectionnant un thème selon les objets à manipuler en notre possession et en contrôlant que la question soit à la fin de l'énoncé. Même si la question placée en début d'énoncé est une aide pour l'enfant, nous avons estimé que cette présentation était trop rare en milieu scolaire et ne permettrait pas un transfert adapté dans les apprentissages.

Nous avons volontairement mis des données aux quantités peu importantes pour que la manipulation s'en trouve facilitée, de plus, l'intérêt principal de notre matériel résidant dans la compréhension du problème et non pas la résolution purement arithmétique, insérer des calculs sur les grands nombres nous a semblé inutile.

Nous vous présentons donc à présent quelques problèmes, classés selon leur niveau de difficultés (l'ensemble des cartes problèmes est consultable aux annexes A2, A3 et A4, p.A7, A8, A9) :

Niveau	Type	Exemple
Niveau 1	TRANSFORMATION : <i>recherche de l'état final</i>	Pierre va au marché avec sa maman. Il met 4 carottes dans le panier. Au moment de payer, sa maman lui demande d'ajouter encore 5 carottes. Combien ont-ils acheté de carottes ?
	COMPOSITION : <i>recherche du tout</i>	Pour le spectacle de la fête de l'école, tout le monde doit porter un chapeau. La maîtresse a réuni 4 chapeaux noirs, 3 chapeaux blancs, 5 chapeaux rouges et 3 chapeaux jaunes. Combien de chapeaux y a-t-il en tout ?
	TRANSFORMATION : <i>recherche de la transformation</i>	Tom aide sa maman à préparer une salade de tomates. Elle lui donne d'abord 3 tomates à couper. Mais il n'y en a pas assez pour tout le monde : elle lui en donne encore quelques unes à couper. Tom a donc coupé 7 tomates. Combien sa maman en avait-elle ajoutées ?
Niveau 2	COMPOSITION : <i>recherche d'une des parties</i>	La classe de Léa va au cinéma aujourd'hui. Les premiers arrivés s'assoient dans la première rangée et les dix retardataires s'assoient dans la deuxième rangée. Les 22 élèves sont installés. Le film commence. Combien y a-t-il d'enfants assis dans la première rangée ?
	COMPOSITION DE TRANSFORMATIONS :	En partant à l'école, dans mon jardin, j'aperçois 2 petits lapins.

	<i>recherche de la transformation composée</i>	Je m'arrête pour les regarder quand soudain 1 autre lapin s'approche d'eux. Puis trois autres les rejoignent. Combien y a-t-il de lapins dans mon jardin ?
	COMPARAISON : <i>recherche d'un des membres</i>	Amélie va bientôt fêter son anniversaire. Sa maman lui dit : « l'année dernière, tu avais invité 6 copines. Comme tu es plus grande, cette année tu as le droit d'inviter 3 copines de plus. » Combien de copines Amélie va-t-elle pouvoir inviter à son anniversaire ?
Niveau 3	TRANSFORMATION : <i>recherche de l'état initial</i>	Julien achète 7 chevaux pour sa ferme. Il en a 13 maintenant. Combien en avait-il au début ?
	COMPARAISON : <i>recherche de la comparaison</i>	Aurélié prépare une ratatouille. Elle met 3 poivrons dedans. Sa maman lui dit : « il faut mettre 3 tomates de plus que de poivrons dans la ratatouille. » Combien de tomates Aurélié doit-elle ajouter ?

Tableau n°4 : Exemples de problèmes par niveaux et par types

Problèmes de transfert

Pour compléter notre matériel nous avons créé 5 problèmes de transfert dans le but d'observer la compréhension de l'enfant sans le matériel de manipulation. Ces problèmes reprennent uniquement les types des niveaux 2 et 3 car les problèmes du niveau 1 sont censés être bien maîtrisés depuis le CP. Nos problèmes de transfert comportent aussi des données numériques non pertinentes. Ainsi, l'enfant devra sélectionner les éléments qui lui sont réellement nécessaires pour la résolution et construire sa représentation mentale sans prendre en compte ces données. Voici un exemple de problème (l'ensemble des problèmes de transfert est disponible en annexe A5, p. A10) :

Caroline et Marion achètent des bonbons à la boulangerie. Un bonbon coûte 10 centimes. Caroline achète 4 bonbons et Marion achète 3 bonbons de plus que Caroline.

Combien de bonbons Marion a-t-elle achetés?

2.2.3.2. La manipulation

La manipulation telle que nous l'avons pensée pour Enigmanip' n'existe pas dans les matériels actuellement disponibles à la vente. En effet, elle fait ici partie intégrante de l'élaboration de la représentation mentale du problème. Nous l'avons vu en première partie, la manipulation constitue un réel soutien dans l'élaboration de la représentation mentale de la situation et du raisonnement. Par cet aspect central dans notre travail, Enigmanip' se situe véritablement au niveau des mécanismes de la compréhension du problème.

Les trois niveaux de manipulation visent à accompagner l'enfant dans sa prise d'autonomie vis à vis du concret manipulable. Aussi la transition entre les différentes phases de manipulation est importante : pour la manipulation en 2D figurative nous avons créé des cartes sur lesquelles figurent des photos des objets utilisés précédemment lors de la manipulation 3D. Il nous a paru pertinent de prendre des photos de ces objets plutôt que de choisir d'autres images, pour que l'enfant fasse un lien avec la manipulation précédente. Nous avons créé des cartes « unités » sur lesquelles figurent un seul objet et des cartes « groupes » sur lesquelles figurent plusieurs objets. Il y a au moins une carte « groupe » sur laquelle figurent exactement les objets dont l'enfant a besoin pour sa manipulation. Il conviendra d'observer si l'enfant se saisit de ces cartes-là ou s'il prend chaque carte unité pour former le groupe.

Nous avons procédé de même pour la manipulation de photos de jetons : nous avons créé à la fois des cartes unités et des cartes groupe pour observer si l'enfant va vers une stratégie plus économique ou non. Nous proposons la même série de jetons pour tous les problèmes.

Tous ces objets vont permettre à l'enfant de représenter concrètement les données et les actions du problème dans le but de mettre au point ses stratégies de résolution.

2.2.3.3. Les aides

Nous accompagnons la manipulation d'autres supports : la frise étapes de résolution, la frise chronologique, et la fiche lexicale.

Frise des étapes de résolution

Partant du constat que les enfants, après lecture d'un problème, ont tendance à ne plus voir que les chiffres de l'énoncé et à vouloir foncer vers le calcul, nous avons décidé de leur imposer un mode opératoire suivant les différentes étapes de résolution d'un problème. Pour rendre ces différentes étapes compréhensibles pour eux, nous avons imaginé une frise, où un pictogramme représenterait chaque étape. Nous avons utilisé des pictogrammes de la base de données en libre accès ARASAAC. Pour chaque étape nous avons sélectionné une image qui nous semblait englober la notion que nous souhaitions faire passer aux enfants à savoir :

- ✓ *traduction* → il s'agit de bien lire l'énoncé, de repérer les mots difficiles et de les expliciter s'il y a lieu, et de repérer le déroulement de « l'histoire », les acteurs et les actions décrites. A travers cette étape, nous avons également insisté sur le repérage de la question. Le pictogramme de la fillette qui lit représente donc bien cette étape dans laquelle il convient d'être très attentif à l'aspect langagier du problème.
- ✓ *Intégration* → Cette étape, centrale dans notre matériel, est représentée par une caméra. Ce pictogramme indique que nous allons « tourner un film » à partir de cet énoncé.
- ✓ *Planification* → le choix de la carte nous a semblé pertinent. En effet, lors de cette étape il faut choisir le chemin à prendre pour arriver à la solution. Il faut trouver l'opération à effectuer.
- ✓ *Exécution des calculs* → La calculette, instrument connu des enfants, représente parfaitement cette étape.
- ✓ *Rétro-contrôle du résultat* → La loupe indique que l'enfant doit vérifier que son résultat de calcul est plausible par rapport aux données, à la question posée. A cette étape, on demande également à l'enfant de produire une phrase réponse.

Frise chronologique

La représentation du déroulement du temps est très liée aux mathématiques. On voit d'ailleurs souvent des enfants ayant des difficultés dans les deux domaines. Pour guider les enfants dans leur perception temporelle de l'histoire, nous avons tenu à insérer une frise chronologique. Celle-ci est composée de trois cases : avant l'action, action, après l'action. Présentée lors du premier contact avec le matériel, elle

est utilisée systématiquement dans le cadre de problèmes de type transformation. Il convient dans un premier temps d'attendre de voir si l'enfant va l'utiliser de lui-même. S'il s'en saisit, il est important de lui demander de justifier de son utilisation. Si l'enfant ne s'y rapporte pas, il faut lui imposer de disposer ses objets sur les différentes cases, toujours en guidant et en verbalisant.

Fiche lexique

Dans la mesure où nous allons proposer des énoncés, nous voulions limiter autant que possible les incompréhensions liées au vocabulaire ou à la syntaxe utilisés. Nous avons donc créé une fiche lexique. Cette « page de dictionnaire » (Annexe A7, P. A17) doit être utilisée à l'étape de traduction du problème pour que l'enfant consulte au besoin la définition de mots qu'il ne connaît pas. Elle regroupe les définitions de verbes à caractère opératoire (acheter, ajouter, enlever..), de vocabulaire mathématique (de plus, plus...) ainsi que du lexique qui pourrait ne pas être connu des enfants (contenir, apercevoir, écurie, ratatouille..).

Le recours à cette fiche doit être systématique lorsque l'enfant ne connaît pas un mot. Il lit la définition et nous lui demandons s'il en a compris le sens et au besoin nous reformulons pour que l'enfant accède au sens. Si jamais le mot inconnu n'est pas répertorié sur la fiche nous l'expliquons verbalement à l'enfant.

Conclusion

Suite à la création du matériel, nous avons élaboré un emballage attrayant et nommé notre jeu « Enigmanip' ». La boîte de jeu contient donc tous les éléments décrits précédemment ainsi qu'une notice d'utilisation disponible en annexe (Annexe A8, p. A18) qui reprend un inventaire détaillé des objets et des aides et l'explication des différents niveaux . La notice contient également la description d'une séance-type qui correspond à la façon dont nous avons utilisé le matériel lors de notre expérimentation que nous allons présenter dans la partie suivante.

3. Expérimentation du matériel

3.1. Recueil de la population

La phase de tests a duré environ 2h30 réparties sur plusieurs séances soit d'une heure, soit de 30 minutes selon les disponibilités des patients. Nous avons au préalable défini des critères de sélection de nos patients en fonction des objectifs du matériel et des capacités nécessaires à son utilisation. Nous avons rencontré les patients qui ont participé à notre expérimentation par le biais d'orthophonistes contactées par petite annonce et par le biais de notre directeur de mémoire. Quatre orthophonistes avaient répondu.

Nous avons rédigé à l'attention des parents un courrier reprenant les grandes lignes de notre étude et pour expliquer le déroulement de l'expérimentation (Annexe A10, p. A29). Nous avons également fait remplir aux parents un formulaire de consentement nous autorisant à intervenir auprès de leurs enfants dans le cadre de notre étude (Annexe A11, p. A30).

Quatre orthophonistes avaient donc répondu à notre annonce, nous permettant de rencontrer sept patients (cinq sur la région lilloise, deux sur la région lyonnaise). Nous souhaitons recueillir entre 10 et 12 patients pour avoir un échantillon assez large. Une dizaine de patients permettrait de généraliser nos observations et d'uniformiser nos résultats.

3.1.1. Critères d'inclusion

- Patients suivis en orthophonie pour troubles logico-mathématiques depuis au moins 6 mois. La prise en charge orthophonique aura déjà permis à l'enfant de progresser dans certains domaines et notre matériel viendra en renforcement de la rééducation entamée.
- En classe de CE1 ou CE2 car les patients suivis en logico-mathématiques rencontrent de grandes difficultés sur ce type d'exercices, notre matériel vise à intervenir précocement pour favoriser la création de représentations qui leur permettront de résoudre des problèmes plus complexes par la suite. Les enfants ayant doublé sont acceptés car notre matériel travaille les bases de la résolution de problèmes. Ce sont ces bases qui, fréquemment, ne sont pas installées chez un enfant doublant. Notre matériel peut donc être bénéfique pour ce type de patients.

- Enfants capables de :
 - ✓ dénombrer des objets au moins jusqu'à 25.
 - ✓ comparer des nombres entre eux
 - ✓ lire des nombres arabes
 - ✓ résoudre des opérations arithmétiques de type additif
 Ces critères sont nécessaires pour que l'enfant puisse manipuler le matériel et effectuer les calculs requis.
- En grande difficulté en résolution de problèmes avec support verbal.

3.1.2. Critères d'exclusion

- Trouble de la compréhension orale car l'enfant doit être capable de comprendre l'accompagnement oral et les échanges oraux en situation de jeu.
- Trouble de la compréhension écrite car une bonne compréhension écrite est nécessaire pour lire l'énoncé de problème.
- Déficience intellectuelle
- Trouble psycho-affectif
- Déficit sensoriel

3.1.3. Tests utilisés

Nous avons donc testé chez les patients concernés : la compréhension orale, la compréhension écrite, les compétences numériques, les structures logiques et la compréhension de problèmes. Pour cela nous avons utilisé les tests suivants : Kikou 3-8, BALE, TEDI-MATH. Nous avons également évalué qualitativement les structures logiques. L'ensemble de ces épreuves est présenté en annexe A12 (p. A31).

3.2. Présentation des patients

Voici un tableau récapitulatif des patients testés. Dans un souci d'anonymat, les prénoms ont été changés.

Nom	Sexe	Âge	Classe	Enigmanip'
Cléa	F	7 ans 3	CE1	oui
Léa	F	7 ans 3	CE1	oui
Laura	F	8 ans 10	CE1 R	oui

Ariane	F	8 ans 2	CE2	oui
Brice	M	8 ans 4	CE2	oui
Anita	F	8 ans 8	CE2	oui
Angélique	F	9 ans 4	CE2 R	non

Tableau n°5 : Tableau récapitulatif des patients testés / R : redoublement

Au total, sept patients ont été testés, et six ont été retenus pour utiliser Enigmanip'.

Nous allons désormais vous présenter tous ces patients en décrivant les résultats obtenus aux tests. Ces résultats sont exprimés en percentile, c'est-à-dire que nous comparons le score du patient testé à la population d'étalonnage. Cette population correspond à un certain nombre d'enfants de même âge ou de même niveau de classe selon les tests. Ci-après, l'explication des différentes notations en percentiles :

- P100 / MAX : Le patient obtient un score supérieur ou égal à 100% des enfants de la population d'étalonnage. Bonne performance.
- P50 / MED : Le patient obtient un score supérieur ou égal à 50% des enfants de la population d'étalonnage. Performance correcte.
- P25 / Q1 : Le patient obtient un score inférieur ou égal à 75% des enfants de la population d'étalonnage. Performance légèrement en dessous de la moyenne.
- P10 : Le patient obtient un score inférieur ou égal à 90% des enfants de la population d'étalonnage. Performance faible.

Les résultats chiffrés que chaque enfant a obtenus aux tests se trouvent en Annexe A13 (p. A40). Nous ne détaillerons ici que nos observations cliniques et nos conclusions.

3.2.1. Cléa

Date de naissance : **29/09/2007**

Age : **7ans 3mois**

Classe : **CE1**

Cléa est actuellement scolarisée en classe de CE1 et suivie en orthophonie pour des difficultés de raisonnement logico-mathématique depuis 8mois. Elle a un jeune frère. Une prise en charge orthophonique avait été mise en place au CP pour

des difficultés à entrer dans l'écrit mais les compétences de Cléa dans ce domaine se sont bien améliorées et la rééducation s'est arrêtée. Elle n'a pas d'antécédents médicaux particuliers et les acquisitions de la petite enfance se sont faites dans la norme. Cléa est une enfant enthousiaste et appliquée mais qui se laisse facilement distraire.

Cléa a une compréhension orale et écrite dans la norme. On note que l'évocation suite à l'écoute d'un texte est difficile pour elle. Cette difficulté semble liée à des capacités mnésiques un peu faibles. Cependant sa compréhension globale d'un récit ne semble pas entravée. Son profil au TEDIMATH est assez hétérogène : elle parvient bien à dénombrer des quantités, mais elle se situe dans la norme faible par rapport aux enfants de son âge en ce qui concerne la comparaison de nombres, la lecture et les additions. On note que les erreurs commises portaient principalement sur les grands nombres, il semble donc que le système en base 10 ne soit pas complètement acquis. Cela ne pose pas de problème particulier quant à l'utilisation du matériel, étant donné que nous travaillons sur de petites quantités, qu'elle maîtrise très bien. Elle se trouve dans la zone pathologique aux problèmes avec énoncé verbal.

Elle répond donc aux critères que nous avons fixés. Les tests ont été faits au domicile de la famille.

3.2.2. Léa

Date de naissance : **27/10/2007**

Age : **7 ans 3 mois**

Classe : **CE1**

Léa est la dernière d'une fratrie de quatre enfants. Actuellement en classe de CE1, Léa est suivie en orthophonie depuis le CP pour des difficultés d'entrée dans le langage écrit. A l'école, cela va aujourd'hui beaucoup mieux. Des difficultés en maths ont cependant été relevées et font l'objet d'une prise en charge orthophonique depuis mai 2014.

Léa n'a pas d'antécédents médicaux et son développement depuis la naissance s'est déroulé sans élément notable.

Léa est une petite fille dynamique et agréable, mais très impulsive et qui se laisse distraire par les éléments perturbateurs : il faut la recadrer régulièrement si l'on veut conserver son attention.

Léa a une compréhension orale qui se situe au-dessus de la norme des enfants de son âge. Ses difficultés en langage écrit se sont bien résorbées, et elle obtient un score la situant dans la norme haute en compréhension écrite. Enfin, Léa sait dénombrer et comparer des nombres dans les modalités arabe et orale. Elle est aussi performante aux additions simples, épreuve pour laquelle nous notons une certaine lenteur et l'utilisation de la stratégie du comptage à partir du plus grand des membres de l'opération. Les additions lacunaires sont également réussies. Elle commet une erreur en lecture de nombre (« 800 » est lu « quatre vingt cent »). Les opérations avec support imagé sont réussies mais nous remarquons qu'elle utilise systématiquement une stratégie de comptage des éléments de l'image. Enfin, elle réussit cinq problèmes ce qui la situe au percentile 29, soit à la limite de la zone faible.

Léa correspond donc à nos critères. Les tests ont été faits au domicile de la famille.

3.2.3. Laura

Date de naissance : **13/03/2006**

Age : **8 ans 10 mois**

Classe : **CE1 (redoublement)**

Laura est la dernière d'une fratrie de deux enfants. Laura a de grosses difficultés à l'école. C'est d'ailleurs son deuxième CE1. Elle est adressée en orthophonie en juin 2014 pour des difficultés en mathématiques mais elle avait aussi été suivie auparavant pour des difficultés en langage écrit (confusions auditives) chez un autre praticien.

Laura n'a pas d'antécédents médicaux et son développement depuis la naissance s'est déroulé sans élément notable.

C'est une petite fille agréable et vive, mais qui manque énormément de confiance en elle vis-à-vis des apprentissages, ce qui se manifeste par une certaine passivité et une attitude de retrait face à la difficulté, et ce même lorsqu'elle sait comment faire.

Laura a donc un niveau de compréhension syntaxique orale et écrite dans la norme. Sa mémoire à court terme auditivo-verbale semble être fragile comme le montre la seconde épreuve du Kikou. On remarque au cours du Kikou que la question « quand ? » n'est pas comprise puisqu'elle fournit une réponse spatiale, et

ce même quand nous proposons la reformulation « à quel moment ? ». Elle correspond à nos critères d'inclusion aussi au niveau du TEDI-MATH. En effet, elle possède de bonnes capacités de dénombrement, elle a une bonne représentation de la magnitude des nombres, et elle est capable de les lire à voix haute sans erreur. Elle se situe dans la norme faible pour les additions simples : les items échoués le sont car elle compte dans sa tête pour trouver le résultat. Elle ne fait donc pas appel à des faits arithmétiques constitués en mémoire à long terme et est donc aussi très lente. Laura se situe dans la zone pathologique pour ce qui est des problèmes. Elle procède encore par comptage.

Laura entre donc dans nos critères d'étude. Les tests ont été faits au domicile de la famille.

3.2.4. Ariane

Date de naissance : **22 novembre 2006**

Age : **8ans 2mois**

Classe : **CE2**

Ariane est actuellement scolarisée en classe de CE2, et suivie en orthophonie pour des difficultés de raisonnement logico-mathématiques depuis 6mois. Elle fait partie d'une fratrie de 4 enfants, elle a un grand frère et deux frères cadets, l'un des deux est suivi en orthophonie pour des difficultés de langage oral. Elle n'a pas d'antécédents médicaux particuliers. Les acquisitions de la petite enfance se sont faites dans la norme. Ses résultats scolaires sont dans la moyenne.

Ariane est une enfant sérieuse et appliquée, elle a été très coopérante tout au long du bilan.

Ariane a une compréhension orale et écrite de phrases dans la norme. Cependant, sa mémoire auditivo-verbale est un peu faible bien que non pathologique. Elle est capable de dénombrer des quantités, de comparer des nombres entre eux ; elle sait également lire des nombres arabes et résoudre des additions simples et lacunaires. Elle se situe dans la zone pathologique pour la résolution de problèmes avec énoncé verbal.

Ariane a donc réuni donc tous les critères pour participer à notre expérimentation. Les tests ont été réalisés au domicile de la famille.

3.2.5. Brice

Date de naissance : **09/09/2006**

Age : **8 ans 4 mois**

Classe : **CE2**

Brice est le cadet d'une fratrie de deux enfants. Il a été suivi en orthophonie d'abord pour des difficultés de langage écrit qui se sont correctement résorbées. Les difficultés en mathématiques sont prises en charge depuis septembre 2014. Le travail a d'abord visé la base 10 qui est maintenant acquise, et se centre aujourd'hui sur la compréhension de problèmes. Son orthophoniste pointe tout particulièrement des difficultés de mise en mots de la manière dont il procède, ainsi qu'avec la réversibilité de l'addition. A l'école, Brice n'est pas en difficulté, sauf en mathématiques.

Brice est un garçon très agréable, avec une tendance à vouloir tout faire très vite et donc à trop se précipiter. Il éprouve des difficultés à expliquer les choses mais persévère malgré tout.

Brice correspond aux critères que nous avons définis. En effet, sa compréhension orale est très performante et il est dans la norme en compréhension écrite. Le TEDI-MATH montre de bonnes capacités pour ce qui est du dénombrement, de la comparaison de nombres arabes et oraux, ainsi que pour la lecture de nombres. Les additions simples sont en revanche difficiles, avec un score dans la norme faible, et les additions lacunaires très difficiles malgré le fait qu'il s'agisse de petites quantités. Il réussit 6 problèmes sur 8 ce qui le situe dans la norme faible.

Les tests ont été faits au domicile de la famille.

3.2.6. Anita

Date de naissance : **14/06/2006**

Age : **8 ans 8 mois**

Classe : **CE2**

Anita est scolarisée en CE2. Elle a une grande sœur. Elle est issue d'une famille d'agriculteurs. Elle est suivie en orthophonie depuis janvier 2014 pour des difficultés en langage écrit (compréhension) et en mathématiques.

C'est une petite fille attachante qui souffre d'un énorme manque de confiance en elle. Elle ne reste pas passive pour autant face à la difficulté.

Anita a une compréhension orale dans la norme, avec une mémoire auditivo-verbale à court terme un peu faible si l'on en croit la deuxième épreuve du Kikou. Sa compréhension écrite de phrases entre tout juste dans nos critères. Au TEDI-MATH, elle réussit sans difficulté les épreuves de dénombrement, de comparaison de nombres, de lecture de nombres et d'additions lacunaires. Les additions simples sont en revanche dans la norme faible. Elle applique la stratégie de comptage minimum qui consiste à compter à partir du plus grand des membres au lieu de faire appel à des faits arithmétiques, et de là viennent les erreurs. Elle montre de faibles performances aux problèmes avec un score la situant dans la zone pathologique.

Anita correspond à nos critères d'étude. Les tests ont été faits au domicile de la famille.

3.2.7. Angélique

Date de naissance : **15/10/2005**

Age : **9 ans 4 mois**

Classe : **CE2 (redoublement)**

Angélique n'a pas correspondu à nos critères de travail et ce pour plusieurs raisons :

- nous l'avons testée avec le Kikou, qui est étalonné pour une tranche d'âge inférieure à la sienne. Pour autant, les scores ne dépassent pas la norme et mettent en évidence de réelles difficultés dès que la mémorisation est impliquée.
- Au TEDI-MATH, ses scores de dénombrement (12/13) et en comparaison de nombres oraux la situent en dessous du seuil de pathologie. A l'épreuve d'opérations arithmétiques avec support imagé, qui n'est normalement proposée qu'aux CP, elle obtient 5/6 car elle produit une erreur de dénombrement. En revanche, elle réussit parfaitement les problèmes ce qui va directement à l'encontre des critères que nous avons définis

3.3. Protocole expérimental

3.3.1. Durée et fréquence

Nous avons choisi de fixer 8 séances de 30 minutes pour l'expérimentation du matériel. Nous avons estimé qu'une moyenne de 3 problèmes par séance était réalisable (24 problèmes en tout). Dans la mesure du possible, nous avons effectué une séance par semaine, deux pendant les périodes de vacances quand les patients étaient disponibles.

3.3.2. Présentation du matériel à l'enfant

Le matériel est présenté comme la quête du plus gros trésor possible. Pour gagner des pièces du trésor, l'enfant doit résoudre des énigmes. A chaque énigme résolue, il remporte une pièce d'or pour son coffre à trésor.

Pour aider l'enfant à résoudre les énigmes, lui présenter la frise des étapes de résolution. Elle sert à lui rappeler tout ce à quoi il faut penser quand on cherche la solution d'un problème.

1. Demander à l'enfant de décrire les images, et s'il a une idée de ce à quoi cette frise peut servir.
2. Reprendre la frise depuis le début et expliquer à quoi elle sert ainsi qu'à quoi correspond chaque image.
 - a) Au moment d'expliquer l'utilité du dictionnaire, lui présenter la fiche lexicale comme une page de ce dictionnaire.
 - b) Au moment d'expliquer le rôle de la caméra, lui présenter la frise chronologique. Lui demander s'il peut deviner à quoi sert cette frise, puis reprendre l'explication : « pour certaines énigmes, cette frise va t'aider à réaliser ton film. Là il y a ce qu'on a au début, puis ce qui se passe, et enfin ce que l'on a à la fin. »
 - c) Terminer de présenter les différentes images et leur rôle.

3.3.3. Procédure systématique :

A chaque problème l'enfant devra répondre à une série de questions systématiques :

- Que se passe-t-il dans cette énigme ? Raconte-moi cette histoire.
- Quelle est la question ? Que dois-tu chercher ?

- (pour les problèmes type Transformation) : Qu'est-ce qu'on a au début ? Qu'est-ce qui se passe ? Qu'est-ce qu'on a à la fin ?
- Quelle opération as-tu fait ?
- Si tu devais faire une phrase pour répondre à la question, que dirais-tu ?

3.3.4. Déroulement d'une séance type

L'enfant lit la carte problème (à haute voix ou dans sa tête) puis il raconte l'histoire et répond aux éventuelles questions que l'orthophoniste lui pose, si besoin est de préciser la compréhension de l'histoire. L'enfant indique ensuite quelle est la question.

Présenter le matériel de manipulation correspondant à la carte problème. Remarquons que le matériel présenté comprend toujours plus d'objets que ceux dont l'enfant a besoin pour résoudre le problème, ainsi que des objets non pertinents.

Dans le cas où l'enfant résout le problème sans objets, le féliciter et lui demander de montrer son film avec les objets (et avec la frise chronologique si elle est nécessaire).

- a) Si la manipulation est correcte l'enfant indique l'opération qu'il a faite et élabore oralement une phrase-réponse.
- b) Si la manipulation est incorrecte, lui demander de raconter à nouveau l'histoire en faisant le film avec les objets.

Pour la phase de manipulation avec les photos de jetons, tout le matériel manipulable est déjà sur la table à la lecture de la carte énigme.

3.3.5. Les aides

A chaque début de séance, l'enfant doit rappeler à quoi sert la frise des étapes de résolution, et ce dans le but d'intégrer progressivement ce fonctionnement. L'orthophoniste s'y réfère à de nombreuses reprises pour guider la résolution de problème.

Pour chaque problème, toutes les aides sont sur la table.

La frise chronologique est utilisée systématiquement pour les problèmes de type transformation. Il convient dans un premier temps d'attendre de voir si l'enfant va l'utiliser de lui-même – auquel cas, il est important de lui demander pourquoi il faut

l'utiliser. Si l'enfant ne s'y rapporte pas, il faut lui imposer de disposer ses objets sur les différentes cases.

3.3.6. Progression

La progression adoptée est celle décrite dans la partie dans laquelle nous avons présenté le matériel. Lorsque tous les problèmes d'une phase sont finis, nous passons à la phase d'après. Si un problème met l'enfant en trop grande difficulté, nous pouvons utiliser les objets de la phase de manipulation d'objets en 3D.

Résultats

L'expérimentation du matériel devait se dérouler sur 8 séances. Avec certains patients, celles-ci n'ont pas suffi à tester l'ensemble du jeu ; avec d'autres cette durée a été suffisante. Nous souhaitons démarrer l'expérimentation en janvier, mais la recherche de patients ayant été difficile, cela n'a été possible qu'avec certains d'entre eux. Nous n'avons donc pas pu mener à terme l'utilisation du matériel avec l'ensemble des patients. Nous avons terminé la phase expérimentale fin mars.

Nous allons présenter ci-après tout d'abord le déroulement général de l'expérimentation, puis nous rendrons compte de nos observations sur chaque enfant au cours des différentes séances. Enfin nous présenterons les remarques des orthophonistes qui ont pu observer les séances.

1. Déroulement général

	Nombre de problèmes résolus par séance								Séances ajoutées		Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cléa	3	3	2	4	3	1	4	2	2	5T	29
Léa	4	4	3	3							14
Laura	4	2	3	4	2	1	3	5			24
Ariane	4	3	3	4	2	3	3	2	5T		29
Brice	5	0	4	3	3						15
Anita	6	4	5	1	4	3	1	5T			29

Tableau n°6 : Nombre de problèmes résolus par chaque enfant par séance.

Légende :

- : séance réalisée chez l'orthophoniste
- 5T : abréviation pour les 5 problèmes de transfert

2. Déroulement individuel

L'annexe A6 présente la réussite de chaque enfant par type de problème et par phase et de manipulation (p. A11), ainsi qu'un tableau récapitulatif par enfant et par séance les types de problèmes résolus successivement (p. A13).

2.1. Cléa

Nous avons effectué 10 séances de 30 minutes avec Cléa pour expérimenter le jeu. Les séances se sont déroulées au domicile de la famille, de mi-janvier à fin mars.

Cléa a tout de suite adhéré au jeu, elle a beaucoup apprécié le matériel en 3D. Elle exprimait son enthousiasme et se mettait volontiers dans l'activité à la vue des objets à manipuler. Cependant, c'est une enfant qui se laisse facilement distraire, la présence de « jouets » a donc parfois perturbé son attention. L'accompagnement oral et la frise étapes ont permis de recadrer son attention et de stimuler sa réflexion. En effet, lors des premières séances, Cléa sélectionnait correctement les éléments de manipulation et les dénombrait pour trouver un résultat, mais sans aucun raisonnement ou justification. Cette façon de procéder a bien évolué au fil de l'expérimentation. Elle a appréhendé les problèmes de façon moins précipitée et a respecté chaque étape de résolution. Le passage de la phase 3D à la phase 2D figurative a été bien accepté, la curiosité de l'enfant faisant qu'elle voulait toujours voir de nouvelles choses. La phase 3 (jetons) a quelque peu lassé Cléa, très attachée à l'aspect ludique. Au cours des phases 2D, Cléa n'a pas mis en place de procédure systématique concernant la sélection des items : c'est-à-dire qu'elle a sélectionné indifféremment soit des cartes unités soit des cartes groupes. La fiche lexicale n'a pas servi, Cléa répondait systématiquement qu'elle avait tout compris.

Pour les problèmes faisant appel à la réversibilité de l'addition, il a été impossible pour Cléa de déceler cette subtilité. En effet, elle passait systématiquement par l'addition et n'a pas su changer de point de vue pour passer à la soustraction, même avec indiçage.

Les problèmes de comparaison ont été très difficiles pour elle, il a fallu sortir du cadre du matériel pour lui expliquer systématiquement la notion de « de plus que ». Cette notion n'était toujours pas acquise à la fin des séances. Pour ces problèmes-là, il a été nécessaire de repasser à de la manipulation 3D pour expliquer la notion.

D'une manière générale, il a été difficile de cerner quand Cléa avait réellement compris le problème car elle avait des difficultés à exprimer sa pensée et à justifier ses actions et manipulations. Cependant, elle s'est toujours montrée enthousiaste à l'idée de résoudre les énigmes et était à chaque fois ravie de gagner une pièce d'or.

Les problèmes de transfert ont été très bien résolus, Cléa n'a jamais pris en compte un élément non pertinent bien qu'elle ne sache pas justifier pourquoi elle

laissait de côté telle ou telle donnée. La manipulation n'a pas été nécessaire ni demandée par l'enfant.

2.2. Léa

Faute de temps et de disponibilités, seules quatre séances ont été réalisées avec Léa, dont une chez son orthophoniste. De manière générale, Léa n'a pas rencontré beaucoup de difficultés face aux problèmes proposés, à l'exception du 6 et du 7. Le n°6, en particulier, a nécessité la manipulation du matériel hors contexte du problème afin de lui faire comprendre la notion de « de plus que ». A l'issue de ce travail, elle semblait l'avoir comprise. Ses justifications étaient très claires ce qui a facilement permis de juger sa compréhension des énoncés. Elle a quasiment systématiquement dénombré les objets pour trouver le résultat. Elle n'a pas fait appel à la réversibilité de l'addition pour les problèmes où celle-ci pouvait être utilisée, ni spontanément, ni avec l'aide proposée.

La frise chronologique a été correctement investie et comprise. En revanche, nous n'avons pas utilisé la fiche lexicale. Elle n'a pas intégré la frise des étapes de résolution malgré le fait que nous y avons fait de fréquents retours. Léa a continué de se précipiter à faire un calcul avec les nombres de l'énoncé. L'accompagnement oral, et notamment le fait de raconter l'histoire, lui a permis presque systématiquement de mieux se représenter la situation, et donc de mettre en place la stratégie adaptée.

Le passage à la deuxième phase a déplu à Léa car il ne s'agissait plus de jouets mais d'images. Pour cette phase, elle a choisi à chaque fois les images « groupes » qui reprenaient les données de l'énoncé. Quitter la 3D donc n'a pas semblé lui poser de difficultés autres que la perte de l'aspect ludique.

Léa s'est montrée très agitée pendant les séances, sans quoi nous aurions avancé beaucoup plus vite. Elle jouait avec les objets à manipuler ou avec ceux présents dans le bureau où nous étions et il a fallu la recadrer constamment. Elle semblait peu intéressée par le matériel 2D. Pourtant, elle a spontanément dit l'avoir apprécié.

2.3. Laura

Nous avons réalisé huit séances avec Laura, ce qui nous a permis de travailler tous les problèmes, sauf ceux de transfert. Laura a exprimé avoir apprécié d'utiliser le matériel. Le coffre à trésor lui a vraiment plu. De même, elle a aimé les objets à manipuler (avec une préférence pour les phases 1 et 3).

Manquant de confiance en elle, elle s'est souvent montrée assez passive, se cachant derrière des « je ne sais pas » même quand résoudre le problème ne lui posait pas de difficulté. Il a fallu la guider constamment, et en cela, le cadre de questions, ainsi que la frise des étapes de résolution lui ont été d'une grande aide. Elle a fini par raconter spontanément l'histoire, mais a encore besoin d'un guide, et d'oser faire des essais. Ses représentations étaient très vivantes et elle a souvent ajouté du contexte, quitte à en faire de véritables saynètes. Elle a principalement justifié ses choix par le biais de la manipulation qu'elle commentait. Le passage de la 3D à la 2D s'est fait sans difficulté, même si Laura a dit qu'elle préférait les jouets.

Nous avons utilisé la fiche lexicale pour la notion de « de plus que » mais c'est la manipulation hors contexte du problème qui l'a aidée à comprendre. La notion n'est malgré cela pas encore acquise et il a fallu revenir à la manipulation en 3D des perles pour l'aider à résoudre les problèmes suivants du même type.

La frise chronologique n'a pas été bien comprise, même si, à la dernière séance, son utilisation a semblé plus intuitive. Les notions de « avant » et de « après » n'étant pas fixées, elle a peu eu recours toute seule à la frise : malgré les explications, il lui est fréquemment arrivé de dire que la case « après l'action » représentait le début du problème.

Laura a presque toujours dénombré les objets pour trouver les résultats. Elle est toujours passée par l'addition, même pour les problèmes où l'on pouvait utiliser la réversibilité. Pour la phase de manipulation de photos d'objets, elle a pris indifféremment des groupes ou des unités, en fonction de ce qui se présente à son regard. En revanche, avec les jetons, elle a choisi des groupes en fonction des faits arithmétiques qu'elle connaît. Pour ces deux dernières phases, elle a matérialisé les personnages à chaque fois avec soit un objet, soit une photo de jeton.

2.4. Ariane

Nous avons effectué 9 séances de 30 minutes avec Ariane au cabinet de l'orthophoniste qui la suit.

Ariane est une enfant vive et curieuse, qui s'exprime bien. Tout au long de l'expérimentation elle a montré la volonté d'expliquer ce qu'elle faisait très précisément. La frise étapes a été très vite intégrée et Ariane a bien respecté chaque étape. L'accompagnement oral a permis à Ariane d'organiser son raisonnement et d'en faciliter l'expression. La frise chronologique n'était pas toujours utilisée à bon escient : Ariane s'en est servie comme cadre spatial pour les problèmes de composition. Dans les problèmes de transformation avec recherche de l'état initial, elle n'a pas toujours réussi de prime abord à organiser les objets sur la frise. En effet, laisser la première case vide car c'est celle que l'on recherche n'était pas du tout évident. Elle tenait peu compte des intitulés des cases (« avant l'action ; action ; après l'action »).

La fiche lexicale a été peu utilisée et les mots inconnus (bons points, fraises Tagada, retardataires) n'étaient pas toujours référencés.

Les transitions entre chaque phase ont été bien acceptées. Ariane avait compris que ce changement s'effectuait quand elle avait réussi tous les problèmes d'une phase et se sentait valorisée par ce passage au niveau « supérieur ».

Au cours des phases 2D, Ariane a toujours sélectionné les cartes groupes pour manipuler.

La notion de « de plus que » a dû être expliquée en manipulant du matériel 3D même lors des phases 2D, et a été globalement comprise mais reste à être étayée.

Pour les problèmes faisant appel à la réversibilité de l'addition, Ariane a perçu que l'on pouvait faire un calcul différent mais n'a pas su exprimer que c'était une soustraction. Avec indiçage, elle a été capable quelques fois de trouver la soustraction à effectuer.

Ariane a bien investi le matériel, le coffre à trésor lui a beaucoup plu. Elle a tout de même demandé ce qu'elle gagnait à la fin, le fait d'obtenir « le plus gros trésor possible » ne semblant pas la satisfaire.

Les problèmes de transfert ont été résolus assez facilement. Cependant, sa première intention était toujours de prendre en compte toutes les données, y compris les non-pertinentes. Elle n'a pas demandé à manipuler mais a par contre demandé à

pouvoir dessiner la situation. Cette initiative l'a aidée à plusieurs reprises à remarquer ses erreurs.

2.5. Brice

Seules cinq séances ont pu être réalisées avec Brice, faute de temps et de disponibilités. Ces séances ont été effectuées au domicile, en présence de sa mère. La dernière a été faite chez son orthophoniste. Brice était au début réfractaire à l'idée de travailler les problèmes de mathématiques, domaine dans lequel il se trouve en grande difficulté. Heureusement, il a tout de suite accroché au matériel 3D, au fait de devoir représenter les histoires, et au coffre à trésor. La surprise des Fraises Tagada à manipuler l'a aussi aidé à se détendre vis-à-vis du travail à effectuer.

La frise étapes a été une aide réelle puisqu'elle a permis à Brice de moins se précipiter dans le calcul et de suivre les différentes étapes de résolution. Toutefois, après une interruption de deux semaines à cause des vacances scolaires, Brice a montré à nouveau cette tendance à la précipitation. La fiche lexique a été utilisée pour « de plus que » mais elle n'a pas suffi, et nous avons passé une séance entière à manipuler les perles pour lui permettre d'accéder à la notion. Celle-ci nous semble avoir été comprise car, revenant sur le problème n°6 à la séance suivante, Brice a réussi à l'appliquer. La frise chronologique a été correctement utilisée, même s'il a au début voulu l'utiliser pour les problèmes de type composition.

Brice a rencontré énormément de difficultés à expliquer ses choix et actions. Ceux-ci étaient pourtant souvent corrects. En cela, le cadre de questions s'est révélé très utile, notamment la question de la phrase-réponse. La manipulation mise en place avec les objets en 3D a été très investie, avec ajout de contexte verbal et spatialisation des données. La manipulation des photos d'objets a moins donné lieu à tout ce contexte, et Brice a eu besoin de sélectionner des unités et de les dénombrer. La 2D figurative a semblé lui poser plus de difficultés, en ce qu'il a moins réussi à expliquer verbalement ses manipulations. Il n'y a cependant pas eu besoin de repasser au matériel 3D.

Pour les problèmes de type transformation - recherche de l'état initial, Brice a été incapable de saisir le concept de réversibilité de l'addition.

Globalement, il a bien investi le matériel alors même qu'il était réfractaire à l'idée de travailler les mathématiques. La manipulation lui a servi d'appui dans l'élaboration de son raisonnement, et la frise étapes lui a permis d'aborder plus

sereinement les problèmes, malgré l'abandon des bonnes habitudes après interruption.

2.6. Anita

Huit séances ont été effectuées avec Anita, dont une chez son orthophoniste. Cela nous a laissé le temps de résoudre les 24 cartes-énigmes ainsi que les 5 problèmes de transfert.

Anita s'est montrée très appliquée dans le travail. Elle a beaucoup aimé les matériels en 3D, et les problèmes autour du thème de la ferme. Elle a verbalisé le fait qu'elle trouvait plus difficile de résoudre les problèmes avec le matériel de la deuxième phase, mais n'a rien dit quant à celui de la troisième phase. Elle a de suite apprécié le coffre à trésor.

Si la fiche lexicale n'a pas été utilisée, les autres aides ont été correctement investies. La frise chronologique, après une mise en route laborieuse où elle était utilisée aussi pour les problèmes de composition, a été bien comprise, et à la fin, Anita pouvait justifier son utilisation. La frise étapes a été très efficace : rapidement mémorisée, Anita a scrupuleusement respecté les étapes, notamment aux problèmes de transfert, alors qu'elle n'avait pas la frise sous les yeux.

La manipulation n'a pas pris la forme de saynètes comme avec d'autres enfants. Elle lui a principalement servi d'appui pour mieux visualiser les données et leurs rôles, et pour vérifier ses calculs. La manipulation des perles lui a permis de se familiariser avec la notion de « de plus que » mais les problèmes de transfert ont montré que celle-ci n'était pas encore tout à fait stable. Il n'y a pour autant pas eu besoin de repasser au matériel 3D. Pour les phases 2 et 3, Anita, a choisi indifféremment des groupes et des unités en fonction de ce qui se présentait à elle. Elle est parvenue à expliquer clairement sa procédure après manipulation, et à dire quelle opération elle avait effectuée. Pour trouver les résultats, elle a le plus souvent fait les calculs de tête et vérifié ensuite par le dénombrement. Elle a su utiliser spontanément la réversibilité de l'addition.

Aux problèmes de transfert, Anita a bien compris que les données non pertinentes ne devaient pas être prises en compte pour la résolution des problèmes. Elle a réussi sans difficulté les problèmes de type composition – recherche de la partie, composition de transformation – recherche de l'état final, et de type comparaison – recherche de la comparaison. La recherche de l'état initial est

échouée elle aussi à cause du double problème de sériation temporelle et d'inclusion (les poulains sont des chevaux). Anita n'a pas exprimé le besoin de manipuler pour ces problèmes, mais nous l'avons incitée à se servir du dessin lorsqu'elle s'est trouvée en difficulté. Cela lui a permis de clarifier certaines situations mais pas nécessairement de résoudre le problème.

3. Conclusions

3.1. Observations qualitatives sur la difficulté des problèmes

Il apparaît que les problèmes les plus réussis ont été ceux de type :

- transformation - recherche de l'état final,
- composition - recherche du tout,
- composition de transformations - recherche de l'état final,
- comparaison - recherche de la comparaison.

En effet pour ceux-ci, l'histoire a très souvent été bien comprise et la stratégie à adopter bien choisie et clairement expliquée au travers de la manipulation et de l'échange. A l'inverse, les problèmes les plus difficiles ont été ceux de type :

- comparaison – recherche d'un des membres comparés,
- transformation – recherche de l'état initial.

Les autres types de problèmes ont donné lieu à des performances variables d'un enfant à l'autre. Ces observations vont dans le sens de ce que nous avons lu dans la littérature : plus un problème est représentable, plus il est aisé à résoudre par la manipulation (voir paragraphe 4.3.3.2). En revanche, la progression des niveaux de problèmes que nous avons choisis, selon l'ordre dans lequel ceux-ci sont vus en classe (voir paragraphe 1.3.2), ne semble pas aller croissant dans la difficulté : les problèmes de comparaison – recherche de la comparaison ont été plus faciles que les problèmes comparaison – recherche d'un des membres comparés.

Si la difficulté des problèmes est due en partie à leur type, c'est-à-dire à leur aspect conceptuel, certaines erreurs produites par les enfants ont trouvé leur source ailleurs :

- ✓ Erreurs dans la récupération d'un fait arithmétique.

- ✓ Inclusion non construite : certains problèmes ont une structure d'inclusion sous-jacente. Dans le n°4 par exemple, il faut comprendre que tous les éléments « légumes » font partie du tout « soupe » pour trouver le résultat. Aussi Brice par exemple exclut-il les poireaux des autres légumes et ainsi se trompe pour calculer le nombre de tomates. Cette erreur a été vite corrigée par le fait de lui avoir demandé de raconter l'histoire à nouveau, et en insistant sur ce qu'il y avait dans la soupe.
- ✓ Sérialité temporelle difficile : La séquentialité des événements a posé des difficultés, notamment quand l'inconnue à rechercher se trouve au début de l'histoire. Aussi au problème n°7b, il a été difficile de comprendre que si Julie met deux poireaux avec le reste des légumes, c'est que « le reste des légumes » était là avant.
- ✓ Erreur de lecture : au problème n°5, plusieurs enfants ont lu « d'eux » comme « deux », ce qui faussait le calcul.
- ✓ Méconnaissance de termes mathématiques : les problèmes n°6, 6b et 6c nécessitent la compréhension de « de plus que ». Cette notion a dû être expliquée en passant tout d'abord par la fiche lexicale qui n'a pas suffi, et ensuite par la manipulation hors problème des perles, afin de mettre en évidence la différence entre « ajouter 4 » et « 4 de plus que », ainsi qu'entre « combien en tout ? » et « combien y en a-t-il de plus que ? ». Ce travail hors contexte a porté ses fruits, sans pour autant avoir stabilisé définitivement la notion. En effet, le n°6c a été très difficilement résolu. Laura par exemple ne parvient pas à se fixer sur qui a mangé le plus de bonbons.

3.2. Autres observations

La manipulation d'objets en 3D a souvent pris la forme de saynètes où l'histoire était reprise dans le temps et dans l'espace. Par exemple, pour le problème n°8, les enfants ont délimité un espace pré et un espace écurie. Elle a véritablement été un apport pour l'élaboration de la représentation mentale de la situation en étayant l'histoire racontée oralement par les enfants (qui ont en fait fréquemment relu la carte problème pour raconter l'histoire). Laura par exemple, a ajouté tout un contexte au problème n°7 : Basile va fêter ses 6 ans, ses copains sont pour l'instant chez eux ou

sur la route, Basile installe les chaises en rond comme pour jouer aux chaises musicales...

L'observation des choix des enfants pour les étapes de manipulation en 2D ne s'est pas révélée très fructueuse. En effet, la plupart du temps, ils ont choisi les premiers éléments qui correspondaient à leur recherche, sans forcément se poser la question de savoir si un bloc plus grand n'aurait pas été plus économique et plus pratique. Il a malgré tout été parfois capital de repasser par les petites unités pour permettre à l'enfant de résoudre le problème. Notons aussi que nous n'avions pas prévu pour ces phases de représenter les personnages des histoires, et que Léa et Laura par exemple ont matérialisé leur présence soit en utilisant le coffre à trésor pour la phase 2, soit avec un jeton unité pour la phase 3.

Nous plaçant du côté de l'addition, nous avons accepté les procédures additives au niveau de la manipulation même lorsque la stratégie la plus mature est d'adopter une procédure soustractive, comme pour les problèmes où l'on recherche l'état initial ou la transformation. Il est apparu que pour certains enfants, Brice notamment, la réversibilité de l'addition n'était pas acquise et a été impossible à réaliser. Tant que les données étaient assignées au bon rôle et que la manipulation reprenait correctement l'histoire, nous avons accepté comme réussies les énigmes.

4. Observations des orthophonistes

Nous avons réalisé quelques séances en présence des orthophonistes. Lors de ces séances, nous leur avons remis un exemplaire de la notice d'utilisation du matériel, mais c'est nous qui avons utilisé le matériel avec l'enfant. Nous avons remis à chaque orthophoniste une grille d'observation (Annexe A9, P. A23) à remplir afin de nous faire part de leur avis sur la qualité de notre matériel. Nous avons donc recueilli 3 grilles dans lesquelles nous retrouvons les points suivants :

- 3/4 orthophonistes ont trouvé la progression de l'ordre des problèmes tout a fait adaptée. 1/4 n'avait pas d'avis.
- 3/4 ont jugé le mélange des types de problème pertinent car cela permet de ne pas figer l'enfant dans un seul type de procédure. 1/4 aurait préféré de traiter les problèmes type par type.
- 4/4 orthophonistes ont trouvé pertinent de commencer par des problèmes plus faciles pour familiariser l'enfant avec le matériel, avec la procédure qui suit les

- étapes de résolution, et pour vérifier que l'enfant comprend bien la situation-problème.
- 1/4 n'a pas trouvé certains problèmes trop faciles mais a estimé qu'il était du devoir du thérapeute de sélectionner les problèmes en fonction des objectifs pour l'enfant. Les autres n'avaient pas d'avis.
 - 4/4 ont estimé intéressant de trouver des problèmes plus difficiles (type transformation recherche de la transformation et de l'état initial).
 - 4/4 ont jugé la progression de la manipulation pertinente et adaptée ainsi que les objets attrayants et pratiques, à l'exception des fraises Tagada (pour 1/4).
 - 2/4 ont trouvé que l'idée de la fiche lexicale était bonne mais qu'elle était difficile à utiliser car il est plus facile d'expliquer oralement un mot à l'enfant. 1/4 a aussi jugé que son utilisation était malaisée car « les enfants se rendent rarement compte de leur incompréhension ». 1/4 a affirmé que parfois une fiche lexicale « ne suffit pas à ce que l'enfant comprenne réellement (différence entre de plus et de plus que). » 1/4 a jugé les définitions mal écrites mais en reconnaissant « qu'il est difficile de donner une définition de de plus que. 1/4 enfin l'a estimée inutile pour certains mots.
 - 4/4 ont jugé que la frise chronologique constituait une aide réelle à la compréhension, mais 2/4 ont ajouté qu'il faudrait expliquer de façon plus poussée la nécessité ou non de son utilisation.
 - 3/4 ont trouvé la frise étapes très utile car elle permet à l'enfant de mettre en place une routine de résolution, mais aussi parce qu'elle guide l'enfant. 1/4 a ajouté que les images sont explicites. 1/4 n'avait pas d'avis.
 - 3/4 ont estimé le lexique des problèmes bien choisi car il est « simple et permet de se concentrer sur le problème. » 1/4 a suggéré d'adapter le lexique à chaque enfant.
 - 2/4 ont jugé dommage de ne pas avoir de problèmes avec des données numériques plus grandes pour vérifier que les grands nombres n'entravent pas la compréhension et la mise en place de procédures de résolution. Mais également pour « éviter que le résultat trouvé par dénombrement [n] influence le raisonnement ». 2/4 ont trouvé que les données numériques étaient bien choisies.

- 4/4 ont trouvé que l'aspect ludique était bien respecté à travers le coffre à trésor et la manipulation, car cela changeait du cadre scolaire. 1/4 indique cependant qu'il faudrait une récompense finale en plus du coffre à trésor.
- 4/4 ont estimé que les questions étaient pertinentes et permettaient à l'enfant de cheminer sans trop l'orienter, bien qu'il faille veiller à ne pas induire notre manière de procéder.
- 2/4 ont jugé que le rythme des questions laissait à l'enfant la place nécessaire à la construction de sa réflexion. 1/4 a jugé qu'il était nécessaire de laisser à l'enfant des temps de réponse et de réflexion plus longs pour lui permettre de construire son raisonnement. 1/4 n'avait pas d'avis.
- 4/4 envisageraient de réutiliser ce matériel dans sa pratique professionnelle.

5. Conclusion

Dans l'ensemble, notre matériel a été bien reçu par les enfants et leurs orthophonistes. Les objets en 3D et le coffre à trésor notamment ont rencontré un vif succès.

L'utilisation du matériel a été trop brève et a concerné trop peu d'enfants pour pouvoir objectiver une amélioration des performances en résolution de problèmes. Toutefois, nous avons pu noter l'effet positif de notre frise étapes de résolution et du cadre de questions que nous avons déterminé. L'expérimentation nous a également permis d'observer ce qui était inutile ou mal construit dans notre matériel.

Nos observations, celles des orthophonistes et les réactions des enfants nous ont donc amenées à remettre en question certains de nos choix. Nous allons présenter les critiques et modifications à envisager dans la partie suivante.

Discussion

La synthèse de nos propres observations ainsi que celles des orthophonistes nous a permis de cerner les points forts et les points faibles de notre matériel ainsi que la pertinence ou non de notre intervention. A la lumière de ces observations, nous allons donc à présent discuter les choix que nous avons faits et proposer des améliorations que nous pourrions mettre en place afin de rendre notre matériel plus adapté. Enfin, nous discuterons nos hypothèses de départ en regard de toutes ces observations.

1. Recueil de la population

1.1. Nombre de patients

Peu d'orthophonistes ont répondu à notre annonce. Nous avons pu ainsi constater que la prise en charge d'enfants rencontrant des difficultés d'ordre logico-mathématique est encore trop peu répandue. De plus, les orthophonistes prenant en charge ce type de pathologie ont assez peu de patients dans ce domaine, ce qui a réduit nos possibilités de trouver des patients correspondants à nos critères.

En effet, la plupart des orthophonistes que nous avons contactés nous ont répondu que les enfants de CE1-CE2 suivis pour des troubles logico-mathématiques n'« en étaient pas là ». Ces enfants étaient souvent trop en difficulté dans l'acquisition de la notion de nombre et dans la construction des structures logiques, pour qu'il soit pertinent d'aborder les problèmes avec eux. Le nombre de sujets dans notre expérimentation s'en est donc trouvé réduit.

1.2. Choix des tests

1.2.1. TEDI-MATH

Nous avons choisi de faire passer l'épreuve de problèmes du TEDI-MATH pour sélectionner les patients obtenant un score pathologique à cette épreuve. Celle-ci présentait l'intérêt d'être standardisée et donc de nous fournir des normes. Cependant, nous aurions voulu pouvoir nous appuyer sur un « niveau de départ » et avoir une idée des compétences de l'enfant sur chaque type de problème. Cela nous aurait en effet permis d'adapter au mieux notre accompagnement oral et de lui présenter des problèmes qui correspondent précisément à son niveau. Or l'épreuve

du TEDI-MATH ne contient pas tous les types de problèmes. Ainsi, les informations recueillies lors de cette épreuve n'ont pas permis d'évaluer le niveau des enfants sur tous les types de problèmes, et malheureusement, un tel test n'existe pas encore.

1.2.2. Épreuves logiques

Ces épreuves, bien que ne constituant pas un critère de sélection, ont été analysées principalement de manière qualitative. Il aurait été intéressant de tester plus précisément ces notions afin de mieux anticiper les difficultés rencontrées par les enfants lors de l'expérimentation (défaut d'inclusion pour les problèmes de combinaison, difficulté dans les relations pour les problèmes de comparaison ou encore les sériations temporelles pour les problèmes de transformation).

2. Expérimentation et résultats

2.1. Validité des résultats

La phase expérimentale, faute de temps, n'a pu être menée à terme avec tous les patients. Ainsi, il est difficile d'objectiver un effet réel sur les compétences des enfants en compréhension de problèmes. Il aurait été intéressant de réaliser un post-test pour obtenir un résultat quantitatif permettant de comparer les performances de l'enfant en compréhension de problèmes, avant et après l'expérimentation. Cela n'a pas été possible car le pré-test et le post-test auraient été réalisés à environ deux mois d'intervalle et avec les mêmes épreuves. Or le résultat du post-test n'est valable que s'il est réalisé minimum six mois après le pré-test.

Pour évaluer l'efficacité du matériel nous aurions également pu comparer les performances de nos patients à celles d'un groupe contrôle. Cela aurait été intéressant pour cerner les besoins spécifiques des enfants en difficulté logico-mathématique en regard des besoins du groupe contrôle.

2.2. Rôle du thérapeute

L'accompagnement oral a été essentiel tout au long de l'expérimentation. Tout d'abord pour rappeler chaque étape, ensuite pour amener l'enfant à construire son raisonnement. Les questions que nous avons posées systématiquement ont été

jugées pertinentes pour accompagner l'enfant. Cependant, pour la question « Peux-tu me raconter l'histoire, ce qu'il se passe dans cette énigme ? » beaucoup d'enfants se sont contentés de relire partiellement l'énoncé. Il serait intéressant de poser cette question en cachant la carte, cela permettrait de mieux juger de la compréhension globale de l'énoncé.

Par ailleurs, nous avons beaucoup plus échangé avec l'enfant au-delà des questions systématiques. En effet, la manipulation de certains enfants était parfois hasardeuse, il convenait donc de recentrer leur attention sur la nature de l'inconnue ou sur les données à utiliser. Le rôle de l'orthophoniste dans le cadre de notre jeu est d'amener l'enfant à construire son raisonnement en se basant sur la manipulation. Ainsi, nous demandions régulièrement à l'enfant de justifier ce qu'il faisait ou exprimait. Ce n'était pas aisé pour tous les enfants. En effet, certains ont beaucoup de mal à justifier leurs choix de procédures ou à expliquer pourquoi ils prennent tels ou tels objets. En cela, il est difficile d'évaluer l'efficacité de notre matériel car s'assurer de la bonne compréhension de l'enfant passe aussi par sa capacité à exprimer sa pensée. La demande d'une phrase réponse était un indicateur pertinent, bien que non suffisant, pour évaluer la compréhension de ce qui était demandé dans l'énigme.

2.3. Progression du matériel

2.3.1. Évolution de la manipulation

Les étapes de manipulation que nous avons définies sont loin d'être exhaustives. En effet, nous pourrions introduire d'autres étapes permettant une mentalisation encore plus progressive. Nous pourrions par exemple proposer une étape qui précède la manipulation en 2D figurative au cours de laquelle l'enfant devrait choisir la bonne représentation-problème parmi 3 ou 4 possibilités. Il devrait bien sûr justifier son choix. Cela permettrait à l'enfant d'avoir au préalable un modèle d'utilisation des cartes 2D.

Ou encore, avant de passer à la manipulation en 2D non-figurative (qui demande un bon niveau d'abstraction), nous pourrions passer par une étape de manipulation en 3D non-figurative. Cela demanderait malgré tout un certain niveau de représentation mentale mais la manipulation d'éléments en 3D reste plus concrète que la 2D.

Nous pourrions également, à la suite de la manipulation 2D non-figurative, introduire une étape dans laquelle l'enfant devrait lui-même dessiner un schéma de la situation-problème. La création complète de sa représentation serait un aboutissement intéressant de ce matériel qui permettrait un transfert bien plus concret dans les apprentissages scolaires.

2.3.2. Typologie des problèmes

Nous avons choisi de faire des niveaux de problèmes non homogènes quant à leur type (voir 2.1.3). Les enfants sont donc passés d'un type à un autre à chaque fois qu'ils changeaient de problème. Nous avons opté pour cette progression afin de ne pas figer l'enfant dans un mode de procédure en lui proposant de faire d'abord tous les problèmes de type transformation-recherche de l'état final, puis tous les problèmes de type transformation – recherche de la transformation, et ainsi de suite en passant à chaque fois par les trois phases de manipulation.

Toutefois, un des orthophonistes à qui nous avons montré notre matériel a exprimé qu'il aurait préféré une progression par type justement, et ce pour plusieurs raisons. D'abord, les matériels du commerce proposent déjà un certain nombre de problèmes mélangés au niveau du type. Nous avons en effet vu qu'aucun des matériels que nous avons exploré ne proposait un travail progressif balisé. Les problèmes y sont bien souvent mélangés sans que l'ordre dans lequel les cartes sont tirées ne permette d'organiser une progression dans la difficulté. Nous avons choisi au contraire de ne pas laisser le hasard décider de l'ordre des problèmes et de fixer, par la forme de notre matériel, une progression stable dans la difficulté. Ce cadre est un véritable apport si l'on veut travailler les mécanismes de compréhension et de représentation des problèmes.

Ensuite, l'argument a été avancé de ce que les enfants s'y retrouveraient plus facilement s'ils travaillaient spécifiquement sur un type de problème, puis sur un autre et ainsi de suite. Cela reviendrait à faire comprendre à l'enfant le schéma de problème face auquel il se trouve. L'enfant élaborerait un modèle de la situation problème qui l'amènerait petit à petit à former des modèles mathématiques : c'est-à-dire des schémas de problèmes à compléter avec les bonnes données. Or, de nombreuses études de pédagogie ont montré que lui proposer des schémas de problèmes avant qu'il n'ait construit les siens ne fonctionne pas. « Tout travail systématique sur les procédures d'un champ de problèmes met en place une

procédure standard » (Castella, Mercier, 1995). Cette ritualisation de la procédure enkyste l'apprentissage et bloque ainsi la formation de nouvelles connaissances. Cela n'est pas souhaitable dans la mesure où les enfants « réagissent [déjà] de manière stéréotypée et artificielle sans faire appel à leurs connaissances de la vie réelle » lorsqu'ils sont face à un problème (Fagnant et al., 2003). Dès lors, nous avons choisi d'éviter cet enfermement dans une procédure en mélangeant les types et sous-types de problèmes.

Notre matériel est cependant flexible, et le praticien a la possibilité d'organiser les problèmes autrement en fonction des besoins de la rééducation et de sa manière de travailler. Il est effectivement possible d'imaginer de commencer par tous les problèmes de type combinaison, puis tous ceux de type transformation, et enfin tous ceux de type comparaison. Cela présenterait l'intérêt de peut-être mieux comprendre pourquoi utiliser la frise chronologique avec les problèmes de transformation et pas avec les autres, et peut-être aussi de mieux stabiliser la compréhension et la manipulation autour du terme « de plus que ».

Dans tous les cas, nos résultats ont montré que la progression dans la difficulté que nous avons choisie n'est pas correcte. Nous devons alors repenser l'ordre pour que les problèmes les plus difficiles soient effectivement résolus en dernier.

2.4. Critiques et améliorations du matériel

2.4.1. Points forts

2.4.1.1. Succès du coffre à trésor

Le coffre à trésor a été très apprécié des enfants, recevoir la pièce était chaque fois un temps valorisant pour l'enfant. Cependant, une fois le jeu terminé et le « plus gros trésor possible » enfin constitué, il aurait mieux valu avoir un objet concret à donner à l'enfant en guise de récompense, par exemple échanger son gros trésor contre un objet précieux (couronne, lingot d'or, etc...). L'acquisition de cet objet représenterait un but plus concret à atteindre. Nous pourrions également envisager de troquer un certain nombre de pièces (par exemple 3 pièces car nous avons estimé en moyenne à 3 le nombre de problèmes effectués en une séance) contre un objet. Cela relancerait plus régulièrement la motivation de l'enfant.

2.4.1.2. La manipulation : un véritable appui

La manipulation, peu importe la modalité, a été un véritable appui pour amener les enfants à la compréhension des problèmes. Tous les enfants se sont pris au jeu de la représentation et ont mis les énigmes en scène. Il a été intéressant de constater que certains enfants avaient absolument besoin de représenter les personnages (dans les phases de manipulation 2D), bien que ceux-ci ne constituent pas des données nécessaires à la résolution. La mise en scène des personnages était importante dans leur représentation mentale, ces enfants-là ont donc encore besoin de s'appuyer sur du concret. Nous n'avions malheureusement pas prévu les photos de personnages pour la manipulation 2D figurative, il conviendra de les ajouter.

2.4.1.3. Manipulation d'objets en 3D

Les objets que nous avons créés ont rencontré un franc succès, l'attrait des enfants pour le jeu a été immédiat grâce à ce matériel. Les objets du commerce que nous avons utilisés (Playmobils©) n'étant pas neutres, il aurait été souhaitable de créer nous-mêmes les figurines d'animaux ou de personnages. Cette création n'a malheureusement pas été possible faute de moyens et de temps. La création de l'ensemble des objets aurait également donné à notre matériel un style propre et une unité ce qui aurait probablement renforcé l'aspect attrayant. L'utilisation des fraises Tagada© en guise de matériel est une fantaisie que nous nous sommes permises pour mettre en confiance à l'égard du jeu les enfants participant à notre travail. Cependant, les aliments sont des éléments qui ne rentrent pas dans l'aspect pratique et diffusable du matériel, il conviendra de les remplacer par des bonbons factices.

2.4.1.4. La frise étapes de résolution

La frise étapes a été un support très utile pour faire intégrer à l'enfant une routine de résolution. Le but en soi de cette frise n'était pas forcément que les enfants s'y réfèrent d'eux-mêmes. C'est l'orthophoniste qui incite l'enfant à « bien relire » puis « à faire le film » puis à « choisir l'opération » etc... tout en montrant à chaque fois le pictogramme qui correspond. Le thérapeute indique chaque étape pour baliser le raisonnement de l'enfant. Cette aide représente un guide qui a permis aux enfants d'appréhender sereinement les énigmes, chaque étape étant clairement

définie. La majeure partie d'entre eux ont été capables systématiquement de rappeler chaque étape et de s'y conformer. Cet apprentissage implicite sera peut-être transféré dans la résolution de problèmes scolaires. Nous pouvons en effet l'espérer au vu des performances aux problèmes de transfert : les quelques patients les ayant essayés ont gardé cette routine de résolution.

L'étape la plus difficile à exécuter a été le rétro-contrôle du résultat. Les enfants, en difficulté pour accéder à un raisonnement clair, n'arrivent pas à prendre du recul sur ce qu'ils ont fait. Cette étape a donc été souvent mise de côté, hormis la demande d'une phrase réponse. Il faudrait peut-être, pour marquer l'importance de ce rétro-contrôle, proposer des « cartes-réponses » sous forme de schémas. Cela inviterait l'enfant à comparer sa production à celle de la carte-réponse et de prendre du recul par rapport à son raisonnement.

2.4.2. Points à travailler

2.4.2.1. Aspect figé de la procédure

L'aspect ludique du matériel a été assuré par le matériel de manipulation et le coffre à trésor, en revanche, le cadre d'utilisation du jeu n'était pas toujours très ludique. En effet, nous avons dû définir un protocole avec un accompagnement oral et des recours systématiques aux aides afin de cadrer notre expérimentation. Cet aspect répétitif, qui était volontaire, visait à instaurer des routines de procédures. Cela a pu être parfois lassant pour les enfants. Cependant, le matériel de manipulation et les thèmes changeant régulièrement, l'enthousiasme des enfants est resté jusqu'au bout.

Notre matériel peut de toute façon être utilisé de la manière qui convient au thérapeute, en effet, l'accompagnement oral que nous proposons est une piste d'utilisation. Nous sommes nous-mêmes parfois sorties du cadre du matériel pour expliquer des notions compliquées (« de plus que »). La richesse de notre matériel, bien que demandant un respect de certaines procédures, est qu'il est adaptable à chaque enfant et à chaque thérapeute.

2.4.2.2. La fiche lexique

La fiche lexique n'a pas été utile aux enfants. Aucun n'y a trouvé un réel intérêt et y recourir n'a pas fait partie des réflexes acquis par l'enfant. Différents facteurs

peuvent expliquer cela. En premier lieu le fait que la plupart des enfants n'ont pas conscience de leur incompréhension : quand on demande à l'enfant s'il a compris tous les mots il répond systématiquement « oui ». Ce n'est qu'en le questionnant sur des mots que nous supposons difficiles que l'enfant admet ne pas connaître tel ou tel terme. Par ailleurs, la construction de notre fiche lexique n'a pu être exhaustive. Ainsi, certains mots incompris n'étaient pas répertoriés, le recours à la fiche devenait de fait inutile. De plus, l'explication orale, en conversation est bien plus aisée à comprendre pour l'enfant que lorsqu'il lit une définition.

Nous envisageons donc de supprimer cette aide. Nous n'allons cependant pas abandonner l'idée d'insister sur l'étape de traduction du problème. Nous pourrions proposer les cartes problèmes avec les mots difficiles en italique et dire à l'enfant que ces mots sont parfois difficiles à comprendre et que nous voulons qu'il nous les explique. Cela inciterait l'enfant à prêter attention au vocabulaire et cela nous permettrait de mieux contrôler la compréhension du lexique.

2.4.2.3. La frise chronologique

La frise chronologique constitue un véritable appui quant à la compréhension des problèmes de type transformation. Cependant, justifier de son utilisation n'était pas toujours évident pour les enfants. Certains n'ont pas pris en compte les intitulés des cases « Avant l'action » « Action » « Après l'action » et s'en sont servi comme cadre spatial pour les problèmes de type composition. Pour les problèmes de type transformation, la chronologie n'a pas toujours été respectée : il a été très difficile pour les enfants de laisser la première case vide (quand on recherche l'état initial), ainsi ils ont ainsi omis complètement la chronologie et placé les objets correspondants à l'« Action » dès la première case. Enfin, pour les problèmes de type composition de transformations, les enfants ont souvent voulu mettre une des actions dans la case action, et la suivante dans la case après l'action. Nous aurions dû prévoir un matériel propre à ces problèmes pour que leur représentation soit plus exacte.

Il faudrait dans un premier temps introduire une activité courte à l'aide de quelques histoires en images pour représenter la sériation temporelle. Nous pourrions ensuite montrer concrètement à l'enfant l'intérêt de cette frise en utilisant un exemple de problème très simple (exemple : « Marie a 2 bonbons. Paul lui en donne 3. Combien Marie a-t-elle de bonbons ? »). Puis faire varier la place de

l'inconnue pour montrer tous les possibles à l'enfant. Ces différentes étapes constitueraient une « préparation » à la compréhension et à l'utilisation de la frise chronologique dans le cas des problèmes de type transformation.

De plus, pour les problèmes d'autres types, notamment ceux de type combinaison, nous envisageons de créer des planches avec différentes cases, uniquement pour délimiter l'espace de manipulation qui semble nécessaire aux enfants pour se représenter la situation-problème.

2.4.3. Rédaction des problèmes

2.4.3.1. Aspect linguistique

Nous avons constaté que certains problèmes ont été difficilement résolus pour différentes raisons, tout d'abord du point de vue des connaissances lexicales. Les mots « fraises Tagada© », « écurie », « ratatouille », « bons points » et « retardataires » n'étaient pas toujours connus des enfants. Il conviendra de les expliquer systématiquement. Nous avons constaté qu'une fois le vocabulaire expliqué, les enfants accèdent à la compréhension globale de l'énoncé (sauf s'il y a d'autres difficultés dans l'énoncé). Ce constat montre que l'étape de traduction du problème doit toujours être mise en lumière mais pas forcément de la manière dont nous l'avons fait avec la fiche lexique.

Sur le plan syntaxique, la compréhension de « de plus que » a été très compliquée pour tous les enfants. Cette notion a nécessité d'être expliquée en dehors du cadre du matériel, à l'aide d'objets et de manipulation. Il a fallu également pour certains enfants montrer la différence orthographique entre « deux » et « de » car plusieurs ont compris qu'il fallait faire « +2 » car ils lisaient « deux plus que » et non « de plus que ». Il aurait sans doute fallu faire passer une épreuve de transcodage de nombres écrits en toutes lettres au préalable pour prévoir ce genre de difficultés. Il serait donc intéressant de créer une courte activité expliquant la notion de « de plus que » avant d'aborder les problèmes de type comparaison. Par ailleurs, un des problèmes de comparaison contient une erreur de rédaction (Phase manipulation 3D, problème n°5, cf Annexe A2, P. A7) qui a engendré une difficulté supplémentaire : il est possible de comprendre que la fillette met des perles jaunes puis à nouveau 4 perles jaunes, nous aurions dû écrire « elle ajoute 4 perles jaunes de plus que de bleues ».

2.4.3.2. Implicite

La gestion de l'implicite a parfois posé problème également. En effet, de nombreux enfants ont des difficultés à percevoir le « sens caché » de certaines tournures de phrases. Par exemple, dans le problème n°4 de la manipulation en 2D figurative, il était difficile de comprendre que sur les 14 animaux il y avait 1 vache, 1 veau, 1 chèvre, 4 moutons ET un certain nombre de chevaux qu'il fallait trouver. Nous pourrions reformuler ce problème afin d'éviter les confusions. Dans le problème n°7 de la même phase, il y a eu également des difficultés par rapport à la chronologie de l'énoncé qui ne respectait pas précisément la chronologie des événements. Il faudrait préciser explicitement au début du problème qu'il y a déjà des légumes dans la casserole.

2.4.3.3. Petites numérosités

Le fait que nous ayons choisi de mettre uniquement des petites numérosités a été discuté par les orthophonistes qui ont observé le matériel. En effet, certains enfants ont dénombré directement les objets manipulés sans passer par une opération au sens strict du terme. De ce fait, les enfants s'appuient uniquement sur le perceptif et auront du mal à généraliser aux grands nombres. Nous pourrions envisager une phase de transfert dans laquelle nous proposerions des problèmes avec de grands nombres, la manipulation pourrait se faire à l'aide de cartes représentant des dizaines et des unités. Cette étape demanderait que l'enfant maîtrise les principes de la numération.

2.4.3.4. La place de la question

Nous avons précisé que placer la question en début d'énoncé était une aide pour l'enfant mais que nous avons choisi de nous approcher de ce que l'enfant rencontrait le plus en classe. A savoir des problèmes dans lesquels la question se trouve à la fin. Ce choix s'est fait dans le but d'accroître les possibilités de transfert en milieu scolaire. Cependant, il aurait été judicieux de proposer nos problèmes en plaçant la question au début afin d'automatiser la sélection de données à partir de la question. Cela constituerait une aide supplémentaire sur laquelle l'enfant pourrait s'appuyer ensuite. En effet, il apprendrait que la question permet la gestion des données. Il irait donc peut-être directement lire la question dans des problèmes où

elle se trouverait à la fin. Nous aurions donc pu proposer tous nos problèmes avec la question au début et envisager une phase de transfert dans laquelle la question aurait été placée à la fin.

3. Discussion des hypothèses

Nous allons donc à présent rappeler chacune de nos hypothèses de départ et en analyser la validation ou non grâce à l'utilisation du matériel.

Hypothèse 1 : Notre matériel, qui se veut ludique, varié et progressif va-t-il améliorer la compréhension de problèmes et plus particulièrement de problèmes additifs ?

Nous avons pu constater que notre matériel s'est effectivement révélé ludique, varié et progressif. L'utilisation du jeu auprès des enfants en difficulté logico-mathématique a montré que la compréhension de problèmes s'en trouvait améliorée dans divers aspects. En effet, les enfants ont petit à petit appréhendé les problèmes de façon plus posée et réfléchie grâce à la frise étapes. Les justifications des enfants quant à la sélection des données et de la recherche de l'inconnue se sont améliorées au fur et à mesure de l'expérimentation. De plus, les problèmes de comparaison utilisant la notion de « de plus que » ont été relativement compris par les enfants, même s'ils demeurent difficiles. Cependant, nous ne pouvons présenter des résultats objectifs faute de post-test, la validation de cette hypothèse est donc à relativiser.

Hypothèse 2 : L'enfant va-t-il développer des stratégies et des représentations qui vont l'aider à résoudre les problèmes proposés puis des problèmes plus complexes ?

La construction de représentations a été bien investie par les patients : ceux-ci ont utilisé à bon escient la manipulation pour comprendre les problèmes proposés. Les enfants ont mis en place des stratégies de résolution grâce à l'automatisation des procédures, constatée au cours de l'expérimentation. Nous avons pu observer que les enfants confrontés aux problèmes de transfert ont imaginé des saynètes pour comprendre chaque problème, réinvestissant les procédures et stratégies acquises au cours du jeu. Toutefois, notre expérimentation a duré trop peu de temps et a concerné trop peu d'enfants pour pouvoir objectiver cette hypothèse.

Hypothèse 3 : L'enfant va-t-il mettre en place des représentations mentales lui permettant de se détacher petit à petit du concret pour résoudre des problèmes ?

La phase de manipulation en 2D non-figurative n'a pas mis les enfants plus en échec, nous pouvons donc dire que l'abstraction des objets manipulés n'a pas été un frein à la construction de représentations mentales. Ainsi le passage par différentes phases de manipulation a effectivement permis à certains enfants de se détacher du concret pour construire leurs représentations mentales. L'absence d'objets manipulables lors de la phase de transfert n'a pas perturbé la compréhension des problèmes résolus. Cela montre que la construction de représentations mentales a été possible sans matériel de manipulation. Il est cependant difficile de déterminer si ces représentations mentales abstraites du concret manipulable ont pu émerger ou être stabilisées grâce à notre matériel. Il aurait fallu pouvoir juger en pré et en post-test de la qualité des représentations mentales de l'enfant ou encore observer cela qualitativement au travers de diverses phases de mentalisation des représentations (voir paragraphe 2.3.1).

Hypothèse 4 : L'appréhension face aux problèmes va-t-elle s'estomper ?

L'aspect ludique de notre matériel et la quête du trésor ont permis aux enfants de se détacher des appréhensions habituelles face aux problèmes. Sortir cet exercice du cadre scolaire a permis de lever les craintes des enfants sur cette activité qui, dans le cadre de notre jeu, s'est avérée amusante. L'appréhension des enfants concernés par notre expérimentation s'est effectivement estompée, mais nous ne pouvons valider objectivement notre hypothèse au vu du nombre réduit de participants. En outre, il aurait fallu pouvoir objectiver cet effet positif du matériel au moyen par exemple d'un questionnaire remis à l'enfant et à sa famille avant et à l'issue de la phase d'expérimentation.

Conclusion

Nous avons donc créé un matériel selon les objectifs que nous avons fixés à savoir : proposer un jeu ludique, progressif et varié qui permette à l'enfant d'appréhender les situations problèmes en manipulant afin de construire son raisonnement. Pour expérimenter ce matériel nous avons sélectionné 6 enfants préalablement testés sur les différents domaines que nous avons choisis. La phase d'expérimentation nous a permis de dégager les points forts et les points faibles de notre matériel. Cela nous a également permis de prendre du recul par rapport à notre création et de vérifier nos hypothèses de départ.

En effet, l'un des points forts du matériel est son aspect ludique : les enfants ont été conquis par le matériel manipulable et l'enrobage du jeu (quête d'un trésor). Ainsi, cet aspect a rendu les enfants enclins à résoudre des problèmes et à investir cette activité normalement rébarbative pour eux.

L'un des autres points forts de notre matériel est sa diversité. En effet, les thèmes des problèmes ainsi que les types ont permis de ne pas figer l'enfant dans un type de procédure. Les enfants ont ainsi davantage intégré une trame de résolution pour tous les types de problèmes qu'un schéma spécifique à chaque type. Et ce également grâce à la « frise étapes » qui a été une aide précieuse.

Par ailleurs, nous avons constaté que la progression de la manipulation a permis aux enfants de construire petit à petit leurs représentations mentales. Il est avéré que proposer un matériel progressif est essentiel pour aider les patients en difficulté. Mais l'effet de cette progression est difficilement observable sur une si petite population et un laps de temps aussi court. Il aurait été préférable d'ajouter des étapes intermédiaires et d'observer l'impact du matériel sur une expérimentation plus longue.

Cette expérience a été très enrichissante et nous a permis de développer un nouveau regard sur la création de notre matériel : des éléments qui nous ont paru essentiels au départ se sont révélés finalement inutiles ou trop difficiles pour les patients. L'adaptation du matériel mais également celle du thérapeute sont des éléments très importants dans la prise en charge orthophonique. Ainsi, notre matériel doit être encore modifié et adapté pour permettre de répondre aux besoins du plus grand nombre de patients. De plus, les échanges avec les patients et les orthophonistes tout au long de cette expérimentation ont affiné notre regard clinique et amélioré nos compétences dans l'accompagnement des enfants en difficulté.

Notre matériel, une fois modifié en fonction des remarques précédentes, pourrait donc s'inscrire comme complément à la prise en charge d'enfants en difficulté logico-mathématique. En effet, ce type de rééducation se doit d'aller au-delà de la construction des structures logiques ou des apprentissages purement numériques. La mise en situation de toutes ces acquisitions est souvent source de difficulté pour les patients, ainsi il est nécessaire d'aborder la compréhension de problèmes en parallèle pour permettre un meilleur investissement des acquis.

Bibliographie

- American Psychological Association. (2013). *DSM 5*. Arlington, VA : American Psychological Association. P.66-67
- ANGLADE C., RABOU C. (2014). *Troubles logico-mathématiques et aménagements pédagogiques : Protocole d'analyse de facilitations en résolution de problèmes chez les collégiens*. Mémoire d'orthophonie. Lille
- BAFFREY-DUMONT V. (1996). Résolution de problèmes arithmétiques par des enfants de huit ans. *Revue des sciences de l'éducation*. Vol. XXII. N°2. P.321-343.
- BRIN-HENRY F., COURRIER C., LEDERLE E., MASY V. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie*, Isbergues : Ortho Edition
- DECOUR C. (1993). « Approche linguistique des énoncés ou "donne ta langue au chat..." » *In* : BACQUET M. *Le tour du problème*. Montreuil : Editions du Papyrus. P.71-93
- CASTELLA C., MERCIER A. (1995-1996). Peut-on enseigner des méthodes ? Comment les élèves apprennent-ils des méthodes ? *Petit x*.N°41. P.5-25.
- DECOUR C. (1993). « Approche linguistique des énoncés ou "donne ta langue au chat..." » *In* : BACQUET M. *Le tour du problème*. Montreuil : Editions du Papyrus. P.71-93
- DEMONTY I., FAGNANT A. (2012). « Les différentes fonctions de la résolution de problèmes sont-elles présentes dans l'enseignement primaire en communauté française de Belgique ? » *In* : DORIER J.-L., COUTAT S. (2012). *Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21e siècle – Actes du colloque EMF2012*. Genève : Université de Genève. P.1752–1760.
- FAGNANT A., DEMONTY I., LEJONG M. (2003). La résolution de problèmes : un processus complexe de « modélisation mathématique ». *Bulletin d'informations pédagogiques*. N°54. P.29-39.
- FAGNANT A. (2000). La compréhension des opérations additives et soustractives au travers de la résolution de problèmes arithmétiques : présentation des axes directeurs d'une thèse de doctorat en cours de préparation. *Cahiers du service de pédagogie expérimentale*. 3-4. P.117-132
- FAGNANT A., VLASSIS J. (2010), Résolution de problèmes et représentations : construction de dessins libres ou utilisation de schémas prédéfinis ? *Actes du congrès de l'actualité de la recherche en éducation et en formation*, Université de Genève
- FAYOL M. (1991). « Du nombre à son utilisation : la résolution de problèmes additifs » *In* : BIDEAUD J., MELJAC C. *Les chemins du nombre*. Lille : Presses universitaires de Lille. P. 259-270
- FAYOL M. (2012). *L'acquisition du nombre*. Paris : PUF
- FLORIN A. (2000). *Le développement du langage*. Paris. Dunod, Les Topos

- GEARY D.C. (2005). « Les troubles d'apprentissage en arithmétique : rôle de la mémoire de travail et des connaissances conceptuelles ». In : NOEL M.-P. (2005). *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant*. Marseille : Solal. P.169-191.
- JULO J. (2002). Des apprentissages spécifiques pour la résolution de problèmes ? *Grand N*. 69. P.31-52
- LACOMBE J. (2012). *Le développement de l'enfant de la naissance à 7 ans*. Louvain-la-neuve : De Boeck Éducation.
- LE NY J-F. (2005). *Comment l'esprit produit du sens*. Editions Odile Jacob
- MENISSIER A. (2011). « Analyser, comprendre et travailler les problèmes arithmétiques » In : HABIB M. *Calcul et dyscalculies : des modèles à la rééducation*. Elsevier Masson. P.79-129
- NOEL M.-P. (2005). *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant*. Marseille : Solal
- NOEL M.-P. (2011). « La dyscalculie développementale : déficits cognitifs sous-jacents et bases neurofonctionnelles » In : HABIB M. *Calcul et dyscalculies : des modèles à la rééducation*. Elsevier Masson. P.29-44.
- NOËL M.-P., & ROUSSELLE L. (2011). Developmental changes in the profiles of dyscalculia : an explanation based on a double exact-and-approximate number representation model. *Frontiers in Human Neuroscience*. Vol 5. 165.
- PIAGET J., SZEMINSKA A. (1967), *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- PLUVINAGE F. (1992-1993). Didactique de la résolution de problèmes. *Petit x*. 32. P.5-24
- POUJOL G. (1993) « Les origines du problème » In :BACQUET M. *Le tour du problème*. Montreuil : Editions du Papyrus. P.23
- RICHARD J-F. (1990). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris. Armand Collin.
- ROSSI J-P. (2009). *Psychologie de la compréhension du langage*. Editions De Boeck Universités.
- THEVENOT C., BAROUILLET P., FAYOL M. (2004). « Représentation mentale et procédures de résolution de problèmes arithmétiques : l'effet du placement de la question » *L'année psychologique*. Vol. 104. n°4. P.683-699.
- VAN NIEUWENHOVEN C., DE VRIENT S. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et supports d'intervention*. Marseille : Solal
- VERGNAUD (1989) Psychologie du développement cognitif et didactique des Mathématiques. *Petit x*. 22. p.51-69

ZEITLER A., GUÉRIN J., BARBIER J.-M. (2012). La construction de l'expérience. *Recherche et formation*. 70.

Ac-dijon.fr. http://ia89.ac-dijon.fr/docs/refondation/pmqc_progression_problemes.pdf
[consulté le 7/11/14]

Educaland <http://www.educaland.com/fr/a-a1000001389-edc1000000018/article.html>
[consulté le 11/02/15]

Ecpa.fr <http://www.ecpa.fr/orthophonie/test.asp?id=1633> [consulté le 01/04/15]

Grand-cerf.com <http://www.grand-cerf.com/pages/autres-mathRG.html> [consulté le 11/02/15]

Editions du Grand Cerf Blog de Christelle Fiévet commerciale Nord-PdC partiel
<http://grandcerfnord.com/2014/03/22/enonces/> [consulté le 11/02/15]

Mot-a-Mot.com <http://www.mot-a-mot.com/problemes-en-images-p2941.html#>
[consulté le 14/02/15]

Atelier de l'oiseau magique <http://www.oiseau-magique.com/pj/so.html#jmaths>
[consulté le 10/02/15]

Orthoedition.com <http://www.orthoedition.com/materiel/les-comptes-de-la-foret-873.html> [consulté le 17/03/15]

oecd.org <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/pisa-2012-results-overview-FR.pdf>
[consulté le 20/03/2015]

Liste des annexes

Annexe n°1 : Photos du matériel

Annexe n°2 : Cartes problèmes : Manipulation 3D

Annexe n°3 : Cartes problèmes : Manipulation 2D figurative

Annexe n°4 : Cartes problèmes : manipulation 2D non-figurative

Annexe n°5 : Problèmes de transfert

Annexe n°6 : Échecs et réussites aux problèmes par enfant

Annexe n°7 : Fiche Lexique

Annexe n°8 : Notice d'utilisation

Annexe n°9 : Grille d'observation

Annexe n°10 : Note d'information aux parents

Annexe n°11 : Formulaire de consentement parental

Annexe n°12 : Présentation des tests

Annexe n°13 : Résultats des patients testés