UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN OUTAOUAIS

LA CRÉATION D'UN MATÉRIEL DIDACTIQUE POUR AIDER LES ÉLÈVES EN DIFFICULTÉ AU 2E CYCLE DU PRIMAIRE À MIEUX COMPRENDRE LES PROBLÈMES MATHÉMATIQUES.

PAR

PASCALE FORTIN

ESSAI PRÉSENTÉ AU

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN ÉDUCATION

JUILLET 2020

Sommaire

Cet essai de maitrise professionnelle met en lumière une problématique vécue, soit la difficulté de mes élèves suivis en orthopédagogie à comprendre les problèmes mathématiques simples, de même que le projet de recherche-développement (Harvey et Loiselle, 2009; Paillé, 2007) ayant comme objectifs de m'outiller face à cette problématique et de créer un matériel didactique pouvant venir en aide à ces élèves. La création du matériel didactique s'appuie sur les travaux portant sur les modèles mentaux (Denis, 1982), les représentations graphiques (Polotskaia, 2017) et la métacognition (Focant et Grégoire, 2005; Houdement, 2011), la zone de développement proximale (Cheyne et Tarulli, 2005; Vygotsky, 1997/1926) et l'approche relationnelle (Polotskaia, 2017). Le matériel créé a ensuite été évalué par trois expertes et j'en ai fait une mise à l'essai avec deux élèves de troisième année. Les données recueillies ont été analysées et triangulées et ont permis de modifier le matériel afin d'en améliorer la qualité. Les entrevues semi-dirigées avec les expertes ont permis de valider que le matériel didactique a le potentiel d'aider les élèves en difficulté à développer leur raisonnement mathématique et à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Un retour sur mes objectifs et un bilan de mes apprentissages sont également présentés.

Remerciements

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont accompagnée de près ou de loin lors de mon parcours à la maitrise.

Tout d'abord, je remercie Elena Polotskaia, ma tutrice, pour son accompagnement du début à la fin de ce projet. Je la remercie pour sa grande disponibilité et nos nombreux échanges qui m'ont permis d'avancer et de cheminer comme orthopédagogue. Je suis tellement heureuse d'avoir fait autant d'apprentissages dans le domaine de la didactique des mathématiques. Merci à Andréanne Gélinas-Proulx qui m'a si bien accompagnée le temps d'une session avec toute sa douceur et ses mots d'encouragements.

Je remercie profondément Chantal, Suzie et Jessyca pour leur générosité en temps et leurs précieux commentaires. Sans vous, ce projet n'aurait pas pu se réaliser. Je remercie également Josée pour son ouverture à l'égard de ce projet dans son école et les belles discussions que nous avons eues pendant que nos chemins se sont croisés à cette école.

Merci à Nadia pour son bénévolat, Laura pour sa générosité et son énergie toujours positive ainsi qu'Elyse pour son écoute inconditionnelle pendant tant d'années. Je remercie également mes parents de m'avoir donné les ailes me permettant d'entreprendre tous les projets qui se trouvent sur ma route.

Je dédie cet essai à la mémoire de Diana Wright qui a démontré tant d'intérêt à ce projet de recherche qui m'a également encouragée dans tout ce que j'ai entrepris.

Finalement, merci à mes élèves pour leur curiosité et leur belle joie de vivre. C'est grâce à eux et pour eux que j'ai entrepris cette maitrise.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Depuis quatre ans, je travaille comme enseignante orthopédagogue au primaire. Lors de mes interventions, je constate que mes élèves rencontrent énormément de difficulté à comprendre et à résoudre des problèmes mathématiques simples. Pourtant, selon Verschaffel et De Corte (2005), les mathématiques représentent des outils nécessaires et utiles dans plusieurs domaines du monde réel et les problèmes mathématiques permettent aux élèves de développer leur capacité à appliquer les mathématiques au quotidien. Outre le fait que je constate que mes élèves ont beaucoup de difficulté à comprendre et à résoudre des problèmes mathématiques, mon choix s'est arrêté sur cette discipline, puisque j'estime qu'il y a un manque d'outils dans cette sphère d'intervention.

Dans le premier chapitre de cet essai, j'explique ma problématique personnelle ainsi que la problématique générale liée à l'enjeu de la résolution de problèmes mathématiques simples en contexte orthopédagogique. J'y présente aussi ma question de recherche et mes objectifs d'apprentissage généraux pour ce projet de maitrise. Le deuxième chapitre détaille les concepts théoriques qui ont guidé l'élaboration du matériel didactique. Ensuite, pour assurer la rigueur de la démarche d'élaboration de ce matériel et du processus de ma formation professionnelle, le troisième chapitre explique les choix méthodologiques. Le quatrième chapitre présente une synthèse du matériel didactique créé et une analyse critique des résultats de recherche. Finalement, le dernier chapitre présente un bilan de mes apprentissages réalisés dans les cours de la concentration en orthopédagogie du programme de maitrise en éducation et grâce à mon projet de recherche.

1. Chapitre I : Problématique

Selon Verschaffel et De Corte (2005), les problèmes mathématiques contribuent au développement de la mémoire de travail, de l'organisation des connaissances, du raisonnement mathématique et des stratégies métacognitives des élèves. Cependant, je constate que mes élèves en orthopédagogie ont de la difficulté à résoudre des problèmes mathématiques, plus particulièrement à comprendre les relations entre les nombres et choisir les bonnes opérations mathématiques. Plusieurs chercheurs font le même constat, certains ajoutant même que les difficultés rencontrées par ces élèves peuvent susciter de l'anxiété chez eux (Focant, 2003; Freiman et Savard, 2014; Morin, 2011; Theis et al., 2014; van Garderen, 2006). De plus, je sens un manque de ressources pour accompagner mes élèves. Fontaine (cité par l'Office des professions du Québec, 2014, p. 46) confirme qu'il y a « peu d'outils disponibles pour l'intervention orthopédagogie en mathématiques ». Il est nécessaire d'utiliser du matériel didactique adapté aux besoins des élèves ainsi qu'à leur âge (Myre Bisaillon et Rousseau, 2008). L'utilisation d'un matériel didactique destiné aux élèves plus jeunes qu'eux nuirait à l'estime de soi de ces derniers. C'est dans le but de mieux aider les élèves à résoudre les problèmes mathématiques que je souhaite améliorer ma pratique et créer un matériel d'intervention approprié aux besoins des élèves en difficulté du 2^{e} cycle selon leur âge (8 à 10 ans).

1.1 La démarche de prévention et d'intervention graduée de la Commission scolaire des Portages-de-l'Outaouais (CSPO)

À la CSPO, une démarche de prévention et d'intervention est proposée pour répondre aux besoins des élèves ayant des difficultés d'apprentissage (2016, voir appendice A). Cette démarche est basée sur les travaux de Mellard, McKnight et Woods (2009) qui ont étudié le modèle de la réponse à l'intervention (RÀI). Les élèves en difficulté ne répondent pas aux interventions en classe au palier universel (interventions destinées à l'ensemble des élèves), contrairement à 80 % des élèves. Ils nécessitent donc une intervention au deuxième (15 % des élèves) ou au troisième palier (5 % des élèves). En tant qu'orthopédagogue, mon rôle est d'intervenir aux deuxième et troisième paliers. Ces paliers nécessitent une fréquence (nombre de séances par semaine), une durée (nombre de semaines d'intervention) et une intensité déterminées (durée de chaque séance, nombre d'élèves par groupe). Cette démarche présente des exemples d'applications pour venir en aide aux élèves selon les différents paliers d'intervention. Cependant, ces pistes d'intervention sont très génériques, tels que « intervenir sur les apprentissages fondamentaux, un domaine ou une notion » (CSPO, 2016). Ce document n'offre pas de pistes d'intervention spécifiques à la problématique de la compréhension des problèmes mathématiques simples, me laissant donc devant un vide à combler. En effet, je me demande comment travailler la compréhension des problèmes mathématiques simples afin de favoriser le développement de son raisonnement mathématique. Quel contenu, c'est-à-dire quel type de problèmes, est à privilégier et dans quel ordre? Quelles méthodes d'interventions sont à privilégier? Par exemple, quelles questions puis-je poser à mes élèves afin de favoriser leur compréhension? Dans quel ordre devrais-je poser ces questions? Toutes mes questions sont sans réponse et je tente d'y remédier dans le cadre de ce projet de recherche.

1.2 Les problèmes mathématiques simples et le raisonnement mathématique

Je tente de trouver des pistes de solutions pour mieux intervenir auprès des élèves en difficulté lors de résolutions de problèmes écrits simples. Par « problèmes écrits », je comprends les énoncés formulés en langage naturel et comportant une question ou une tâche à effectuer.

Ceux-ci requièrent une analyse mathématique pour trouver la solution. Les problèmes simples peuvent habituellement être résolus par une opération mathématique.

J'ai fait ce choix parce que les élèves avec lesquels je travaille ont de la difficulté à résoudre ce type de problèmes et parce que la résolution de problèmes peut stimuler le développement du raisonnement mathématique chez l'élève (Polotskaia, 2017). Ainsi, j'estime qu'il serait plus avantageux de développer des outils pour soutenir la résolution des problèmes simples plutôt que des problèmes complexes, puisque la compétence 2 (Raisonner à l'aide de concepts et de processus mathématiques) supporte le développement de la compétence 1 (Résoudre une situation-problème mathématique).

Le terme « raisonnement mathématique » est souvent utilisé dans la recherche sans être défini et ayant une multitude de sens (Jeannotte, 2015a). Ceci amène donc la nécessité de préciser ce terme dans le contexte de résolution de problèmes simples afin d'assurer une compréhension commune. La définition retenue est celle-ci : le raisonnement mathématique est « un processus de communication avec les autres ou avec soi-même qui permet d'inférer des énoncés à partir d'autres énoncés […] qui font partie du discours mathématique » (Jeannotte, 2015b, p. 121). Cette définition converge avec la définition du raisonnement de Raynal et Rieunier (2014) qui se lit comme suit : « activité mentale qui permet de produire par inférence des informations nouvelles à partir d'informations qui ne la contiennent pas explicitement, ou qui a pour but d'évaluer la qualité d'une proposition ou d'une argumentation » (p. 421).

1.3 Progression des apprentissages et Programme de formation de l'école québécoise

Dans la Progression des apprentissages (Ministère de l'Éducation, 2009), en ce qui concerne les problèmes mathématiques, on dénombre sept structures additives (transformation d'ajout, transformation de retrait, réunion, comparaison et les compositions de transformations positives, négatives ou mixtes) et neuf structures multiplicatives (disposition rectangulaire, addition répétée, produit cartésien, aire, volume, soustraction répétée, partage, contenance et comparaison). De l'importance est accordée à la compréhension des relations entre les données tel que le démontre cet extrait de la Progression des apprentissages (Ministère de l'Éducation, 2009) : « Pour se donner une bonne compréhension des opérations et de leurs divers sens dans des contextes variés, l'élève doit connaitre les relations entre les données et entre les opérations, choisir les bonnes opérations et les effectuer […] » (p. 9). Toutefois, tel que le rapporte Polotskaia (2017), la pratique de résolution de problèmes en classe s'appuie beaucoup sur la recherche des données numériques (« ce que je sais »), le repérage de la question du problème (« ce que je cherche ») et des mots-clés plutôt que sur l'analyse des relations entre les données, tel que demandé par la Progression des apprentissages. Mes propres observations suggèrent que lors de la recherche du « ce que je cherche », les élèves ont tendance à repérer la phrase ayant un point d'interrogation, sans nécessairement se pencher sur la compréhension de celle-ci. Lors de la recherche du « ce que je sais », les élèves ont tendance à repérer les nombres dans le texte et les associer à une donnée, toujours sans nécessairement se questionner par rapport au sens de ces nombres et aux relations entre eux. Concernant l'utilisation des mots-clés, cette approche peut mener à une surgénéralisation de l'utilisation de mots-clés et une grande difficulté à résoudre des problèmes où l'opération à effectuer ne correspond pas directement à l'action décrite dans l'histoire (Polotskaia, 2017; Thevenot, 2010). Par exemple, on retrouve le mot-clé

« de plus » dans l'histoire suivante où il faut pourtant faire une soustraction : « Pierre a 5 billes. Il a 3 billes de plus que Marie. Combien de billes Marie a-t-elle? » Je cherche donc une approche différente qui pourra mieux aider les élèves, particulièrement les élèves en difficulté, à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples.

Afin de pallier le manque d'outils destinés aux élèves suivis en orthopédagogie pour le développement du raisonnement mathématique au primaire, l'objectif final de mon projet de recherche est la création d'un matériel didactique visant à aider les élèves du 2e cycle du primaire suivis en orthopédagogie à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples dans le cadre de ma pratique. Ce matériel est composé de problèmes mathématiques construits en fonction de l'apprentissage de l'élève et du développement de son raisonnement mathématique. De plus, j'ai élaboré une méthode d'intervention allant de pair avec ces problèmes mathématiques, propice aux élèves en difficultés du 2e cycle du primaire qui ont besoin de soutien afin développer leur raisonnement mathématique.

1.4 Limite de mes connaissances et compétences

Un autre élément important de ma problématique est, au début de ma formation à la maitrise, mon manque de connaissance et de compétence, afin d'intervenir le plus judicieusement possible auprès des élèves qui présentent des difficultés à l'égard de la compréhension des problèmes mathématiques simples. Ayant fait ma formation initiale au baccalauréat en éducation préscolaire et en enseignement primaire, je n'étais pas spécialisée dans l'intervention efficace auprès d'élèves en difficulté. En effet, lorsque les élèves éprouvaient de la difficulté à comprendre un problème mathématique simple, j'étais très limitée dans mes choix d'interventions : encourager l'élève à relire le problème, à trouver le « ce que je cherche », à trouver des éléments qui peuvent l'aider dans la résolution du problème (« ce que je sais »), à voir s'il y a des mots-clés qui le peuvent pister ou encore à vérifier la logique de l'utilisation de chacune des quatre opérations de base (addition, soustraction, multiplication et division). J'encourageais les élèves à se concentrer sur les données des problèmes et les mots-clés. Mes interventions étaient centrées sur le choix et l'application d'une opération mathématique, sans toutefois savoir comment aider l'élève à faire ce choix. Toutes ces interventions n'aident pas l'élève à développer une compréhension approfondie du problème. À moyen ou à long terme, je ne voyais pas d'amélioration chez mes élèves lors de résolution de problèmes subséquents. Mes compétences orthodidactiques dans le domaine mathématique, plus particulièrement dans le cas du développement du raisonnement mathématique en contexte de résolution de problèmes simples, étaient donc largement lacunaires. Ainsi, je retiens comme objectif d'apprendre une autre méthode d'intervention plus probante et aidant davantage les élèves en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples, notamment en leur permettant de mieux comprendre les relations entre les données, tel que prescrit par la Progression des apprentissages (Ministère de l'Éducation, 2009).

Devant un manque de ressources, plusieurs enseignants et orthopédagogues créent du matériel aux fins d'utilisation avec leurs élèves. Pour trouver des exemples, nous n'avons qu'à penser aux boutiques en ligne dans lesquelles les enseignants peuvent vendre leurs produits à d'autres enseignants. Bien que ces produits puissent être visuellement attrayants et que leur conception peut être basée sur l'expérience du créateur, il n'en demeure pas moins que leur validité scientifique reste à être démontrée. De mon côté, l'approche traditionnelle utilisée en classe ne répond pas aux besoins de mes élèves et je constate un manque de ressources présentant des approches qui aident réellement les élèves à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Je me suis donc tournée vers la littérature scientifique afin de m'outiller et d'apprendre à créer un matériel didactique pour combler ce besoin. En effet, il me manquait également les savoirs nécessaires à la création d'un matériel didactique scientifiquement valide et donc ayant plus de potentiel d'aider les élèves à comprendre et à cheminer dans leurs apprentissages. Comme je souhaitais créer un matériel didactique pouvant être utilisé avec les élèves qui éprouvent des difficultés à résoudre des problèmes mathématiques simples, je devais d'abord m'approprier une méthode de création de matériel didactique valide.

1.5 Question de recherche et objectif d'apprentissage généraux

Pour conclure, tenant compte des éléments présentés dans ma problématique, j'amène la question de recherche suivante : Quels moyens peuvent être mis en place afin d'aider les élèves en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques?

Cette question de recherche vise à combler mon manque de connaissance en matière d'intervention en mathématiques, particulièrement lorsqu'il s'agit d'aider les élèves à comprendre les problèmes mathématiques simples. Les connaissances à chercher sont tant à l'égard du contenu, c'est-à-dire une collection de problèmes mathématiques appropriée, qu'à l'égard de la didactique, c'est-à-dire les interventions à privilégier pour mieux aider les élèves à comprendre les problèmes mathématiques simples.

Comme objectifs d'apprentissage additionnels, je vois :

1. Nourrir ma compréhension théorique au sujet de l'enseignement de la résolution de problèmes.

2. Apprendre comment créer un matériel didactique professionnel selon une méthode de création scientifique et le valider.
3. Développer un matériel didactique qui permet de travailler la résolution de problèmes mathématiques simples dans mon contexte orthopédagogique et dans une perspective du développement du raisonnement mathématique. Cet objectif vise à combler le manque de ressources disponibles sur le terrain.

2. Chapitre II. Cadre théorique

Cette section présentera les théories et concepts sous-jacents au matériel didactique que j'ai créé, soit les caractéristiques des élèves en difficulté selon divers auteurs, la théorie de la zone de développement proximal de Vygotsky, les concepts de modèles mentaux, de représentation graphique, ainsi que les stratégies métacognitives. Le paradigme relationnel peu connu au Québec dans lequel se situe le matériel didactique est également présenté, sans nécessairement présenter tous les détails de ce paradigme novateur, puisque l'objectif est de l'intégrer dans la construction du matériel didactique et non d'approfondir sur son explication.

2.1 Posture théorique

Tout d'abord, la théorie dans laquelle s'insère mon projet de recherche est la théorie du socioconstructivisme. Selon Legendre (2005, p. 1245) « le socioconstructivisme est une théorie de l'apprentissage qui insiste sur le rôle des interactions entre le sujet et son environnement dans le processus actif qui lui permet de développer ses connaissances sur le monde ». L'environnement mentionné inclut les autres personnes qui interagissent avec l'élève.

Un des concepts clés de cette théorie est la zone de développement proximal (ZDP) de Vygotsky. La ZDP est l'espace entre le niveau actuel de connaissances de l'élève (ce qu'il peut réaliser seul) et le niveau le plus élevé que l'élève peut atteindre avec un soutien adéquat de l'enseignant (Cheyne et Tarulli, 2005; Vygotsky, 1997/1926). Pour permettre à l'élève de travailler dans sa ZDP, l'enseignant doit modifier le milieu, incluant le milieu cognitif, et soutenir l'élève, sans toutefois lui donner les réponses. Ainsi, l'élève cheminera vers le niveau le plus élevé possible de connaissances, tout en vivant des réussites (Paour, Bailleux et Perret,

2009) et en augmentant sa confiance en soi. Selon Stott (2016), le travail dans la ZDP de l'élève assure une bonne différenciation pédagogique.

Une façon de soutenir l'élève dans sa ZDP est de pratiquer l'art de bien questionner l'élève (Cheyne et Tarulli, 2005; Vygotsky, 1997/1926). Le dialogue socratique est une stratégie qui consiste à questionner l'apprenant pour favoriser l'émergence d'idées et l'apprentissage de connaissances, plutôt que de lui donner des instructions ou des réponses (Whiteley, 2006). Le dialogue socratique peut aider les élèves « à établir des liens entre les idées et à acquérir une nouvelle compréhension alors qu'ils s'efforcent de trouver une solution qui a un sens pour eux. » (Ministère de l'Éducation de l'Ontario, 2011, p. 1). Les questions plus ouvertes et situées dans la ZDP de l'élève sont à privilégier. Par exemple, plutôt que de demander « As-tu vu des images dans ta tête? » ou encore « Quelle est ta solution? », on peut demander « Pourquoi as-tu choisi cette stratégie? ». Avec estompage, ces questions amènent les élèves à réfléchir de façon de plus en plus autonome. Le dialogue socratique permet d'organiser l'apprentissage comme un processus actif, comme le décrit Vygotsky (1997/1926) : « l'élève est actif, l'enseignant est actif et actif est le milieu entre eux » (traduction libre, p. 54). Dans ce qui suit, j'analyse les théories qui soutiennent l'organisation du milieu et le choix de questions spécifiques.

Le cadre théorique utilisé pour comprendre les problèmes mathématiques s'inscrit dans l'approche relationnelle. Celle-ci consiste en l'interprétation d'une situation (problème écrit) comme une relation entre des quantités afin d'ensuite déterminer l'opération à effectuer plutôt que de se baser uniquement sur les mots-clés (Davydov, 1982; Polotskaia, 2017). Bien que la Progression des apprentissages (Ministère de l'Éducation, 2009) suggère de nombreuses structures pour analyser les problèmes, l'approche relationnelle les regroupe en seulement deux relations additives (composition et comparaison) (Polotskaia, Gervais et Savard, 2019) et trois relations multiplicatives (composition, produit cartésien et comparaison) (Polotskaia, Savard et Fellus, 2019). Pour identifier une relation, on cherche les rôles des données plutôt que la sémantique qui les décrit (Polotskaia, 2017). Par exemple, les problèmes traditionnellement identifiés comme « problème d'ajout » ou « problème de retrait » et « partie-partie-tout » à cause des mots-clés utilisés (ex. : ajouter ou enlever), sont réunis dans la catégorie « relation additive de composition », car dans tous les cas on peut retrouver le total composé de parties. Polotskaia (2017) affirme que l'analyse des relations et la compréhension des rôles des données amènent les élèves à développer leur raisonnement mathématique, ce qui est l'objectif de l'intervention orthopédagogique ciblée. Les problèmes dont il est question dans cet essai sont des énoncés verbaux qui contiennent au départ une seule relation. Une fois que les élèves sont à l'aise avec les relations de base, celles-ci peuvent être combinées au sein d'une histoire plus complexe.

2.2 Les caractéristiques des élèves en difficulté en mathématique

Chez les élèves en difficulté, il existe de nombreuses caractéristiques observables qui peuvent contribuer aux difficultés dans leur apprentissage des mathématiques en général. J'ai choisi de cibler des caractéristiques communes à plusieurs de ces élèves.

Tout d'abord, les élèves en difficulté ont une mémoire de travail fragile ce qui affecte leur capacité de traitement (Gamo, Nogry et Sander, 2014). Goupil (2007) ajoute que ces élèves peuvent avoir des problèmes de mémoire à court ou à long terme. Ainsi, ils peuvent avoir de la difficulté à retenir les éléments des problèmes mathématiques qu'ils doivent résoudre.

Ensuite, les élèves peuvent avoir de la difficulté à organiser l'information (Gamo et al., 2014; Sousa, 2006) ou « à organiser ou à structurer les étapes nécessaires à la réalisation d'une tâche ou d'un problème » Goupil (2007, p. 48). Ainsi, planifier et organiser les étapes d'un problème à résoudre peut être très laborieux pour eux.

Les élèves en difficulté démontrent souvent des lacunes en ce qui concerne le raisonnement logique ou peinent à adopter une nouvelle perspective logique (Goupil, 2007). Gamo et al. (2014, p. 217) expliquent qu'ils démontrent « un manque de flexibilité dans l'interprétation du problème, un déficit relatif à l'intégration des différentes propositions de l'énoncé du problème en une représentation cohérente ». Souvent, ces élèves ont de la difficulté à voir les liens entre les données du problème et à choisir la bonne opération à effectuer (Polotskaia, Savard et Freiman, 2015).

Bien que la métacognition est une habileté essentielle à la résolution de problèmes (Houdement, 2011), des chercheurs (Focant et Grégoire, 2005; Goupil, 2007) constatent que les élèves en difficulté ont des stratégies métacognitives déficitaires.

Finalement, toutes ces caractéristiques observables et décrites dans la recherche peuvent empêcher les élèves à développer leur confiance en soi à l'égard des mathématiques, ce qui est selon Mighton (2007) une condition indispensable à l'apprentissage.

2.3 Comprendre des problèmes mathématiques

En plus des caractéristiques des élèves en difficulté qui peuvent rendre l'apprentissage plus laborieux, regardons de plus près les difficultés propres aux problèmes mathématiques. Dans le cas de problèmes verbaux, Laflamme (2009), distingue deux niveaux de compréhension.

La compréhension textuelle relève du traitement linguistique. La compréhension relationnelle fait appel à la pensée logico-mathématique de l'élève, à sa capacité à utiliser son raisonnement afin d'établir des relations entre les données (Laflamme, 2009; Radford, 1996). Bien qu'un minimum d'aisance en lecture soit nécessaire pour comprendre les histoires mathématiques, elle ne suffit pas à elle seule pour accéder à la compréhension relationnelle (Laflamme, 2009; Morin, 2011). Sans cette dernière, les élèves ont tendance à choisir aléatoirement une opération qu'ils exécutent sur des nombres sans porter attention au rôle des nombres dans l'histoire mathématique (Rhéaume et Oliveira, 2015).

2.4 Les modèles mentaux

Les modèles mentaux sont une représentation fonctionnelle de l'histoire mathématique préalable à la recherche de solution (Balleux, Goossens et Lucas, 2013; Denis, 1982). Les élèves qui performent moins bien en résolution de problèmes se font des images mentales représentant des objets, des personnages ou des images de l'histoire, alors que les élèves plus performants peuvent créer des modèles mentaux permettant de voir les relations entre les nombres (van Garderen, 2006). Amener les élèves en difficulté à se créer un modèle mental de la situation pourrait les aider à mieux la comprendre.

Les propriétés fonctionnelles des modèles mentaux font d'eux des outils intéressants pour la résolution de problèmes mathématiques. Puisque les modèles mentaux assurent un encodage synthétisé et fonctionnel de l'information, ils permettent d'alléger la charge mnémonique (Balleux et al., 2013). Ainsi, la création de modèles mentaux est un moyen de pallier la mémoire de travail fragile des élèves ciblés. De plus, le processus de construction de tels modèles permet de décortiquer, d'abstraire et d'organiser les éléments de la situation, en plus de déterminer l'importance et la signification des éléments du problème (Balleux et al., 2013; van Garderen, 2006), ce qui est nécessaire pour les élèves ciblés, puisqu'ils ont de la difficulté à organiser l'information. Grâce à la création de modèles mentaux, les élèves développent leur raisonnement mathématique en structurant leur pensée. À long terme, l'habileté de créer des modèles mentaux peut aider les élèves à cheminer dans leurs apprentissages avec plus d'aisance, ce qui est selon Vygotsky (1997/1926) un effet développemental de l'apprentissage.

2.5 Les représentations graphiques

Pour développer le raisonnement logique des élèves et pour faciliter leur compréhension des relations entre les données, Polotskaia et al. (2015) proposent l'enseignement et l'utilisation de représentations graphiques afin que les élèves puissent mieux voir les relations entre les données.

Selon Demonty, Fagnant et Legong (2013), une représentation graphique est « une organisation et une mise en relation des éléments essentiels à la résolution du problème » (p. 30). Les représentations graphiques obligent les élèves à sélectionner les quantités importantes et à établir les liens entre elles, facilitant la compréhension du problème (Balleux et al., 2013; Jeannotte, 2015b). Tout comme les modèles mentaux (Denis, 1982), les représentations graphiques permettent d'alléger la mémoire, libérant la charge cognitive et permettant de mobiliser l'énergie sur la résolution du problème (Balleux et al., 2013). Polotskaia (2010) propose une représentation graphique nommée « diagramme range-tout ». Ceux-ci permettent de « ranger » les objets décrits dans le problème sur une ou plusieurs lignes afin de voir les relations entre les quantités. La figure 1 présente un « diagramme range-tout » construit à partir du problème suivant (Polotskaia, 2010, p. 19) : « Mary avait quelques billes. Elle en a perdu 4. Elle en a maintenant 13. Combien de billes Mary avait-elle au début? ».

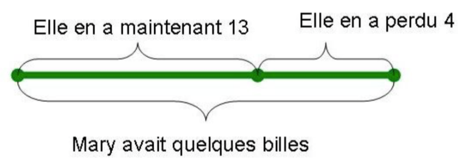

Figure 1. Exemple d'un diagramme range-tout, tiré de « Des représentations graphiques dans l'enseignement des mathématiques, deux jeux pour apprendre » (Polotskaia, 2010, p. 19)

Polotskaia, Freiman et Savard (2018) proposent de nombreuses façons de questionner l'élève pour l'aider à représenter un problème par un diagramme. L'utilisation des « diagrammes range-tout » s'insère donc bien dans le cadre théorique de Vygotsky, car elle permet de modifier le milieu de l'élève afin qu'il puisse cheminer dans la résolution de son problème.

2.6 Les stratégies métacognitives

La métacognition est la réflexion et la régulation conscientes de ses propres apprentissages et productions avant, pendant et après celles-ci (Leclercq et Poumay, 2003). Houdement (2011) croit que la métacognition pourrait être une connaissance cachée des élèves qui réussissent bien et avance que le développement des stratégies métacognitives est lié au développement du raisonnement logique. Ainsi, les élèves en difficulté pourraient bénéficier de l'apprentissage de telles stratégies.

Houdement (2011) parle d'inférences et de contrôles que peuvent utiliser les élèves pour valider leur démarche ou, au contraire, les inciter à amener des modifications dans le but de se corriger. Houdement (2011) catégorise ces inférences et contrôles selon leur nature. Ainsi, les stratégies métacognitives peuvent être de nature sémantique, pragmatique ou syntaxique. Les contrôles de nature sémantiques font référence au sens des mots-clés dans le problème. Les contrôles de nature pragmatique amènent les élèves à vérifier la logique de leur résultat dans le contexte de la situation donnée. Les contrôles de nature syntaxique font référence à une vérification des calculs arithmétiques, sans le contexte auquel les nombres sont associés.

Focant et Grégoire (2005), utilisent une autre classification selon les étapes de la tâche : les stratégies de détermination du but, de planification, de contrôle (elles-mêmes divisées en 4 types) et d'ajustement. La détermination du but consiste à déterminer l'élément recherché dans l'histoire. Les stratégies de planification amènent l'élève à anticiper les étapes à réaliser pour parvenir au but identifié. Les stratégies de contrôle (*monitoring*, contrôle de la poursuite du but, révision des étapes et vérification des résultats) amènent l'élève à vérifier s'il est sur la bonne voie et vérifier sa démarche. Les stratégies d'ajustement consistent à se corriger le cas échéant.

L'inclusion de questions métacognitives dans le dialogue socratique permet de modifier le milieu de l'élève afin qu'avec estompage, il développe sa capacité à réguler sa démarche pour comprendre et résoudre un problème (Vygotsky, 1997/1926).

2.7 Intégration des pistes de solutions

Il existe de nombreux liens entre les modèles mentaux, les représentations graphiques et la métacognition. La création d'un modèle mental permet à l'élève de vérifier s'il a compris ou non le problème (Balleux et al., 2013). Elle facilite aussi la création de représentations graphiques. À l'inverse, un élève qui a pris l'habitude de se construire des représentations graphiques aura plus de facilité à créer des modèles mentaux (Balleux et al., 2013). Finalement, les représentations graphiques servent de supports visuels à ses processus métacognitifs

(Balleux et al., 2013). Le tableau ci-dessous présente un résumé des caractéristiques des élèves en difficulté en mathématique, les pistes de solutions retenues ainsi que les liens entre elles.

Tableau 1

Liens entre les caractéristiques des élèves en difficulté en mathématique et les pistes de solutions apportées

Caractéristique des élèves en difficulté en mathématique	**Pistes de solutions**
Mémoire de travail fragile	- Les modèles mentaux et les représentations graphiques permettent un encodage supplémentaire de l'information ce qui permet d'alléger la mémoire de travail.
Difficulté à organiser l'information lors de nouveaux apprentissages	- La pratique de construction des modèles mentaux et des représentations graphiques permet de développer graduellement l'habileté à organiser l'information apprise en sélectionnant ce qui est important et en favorisant la perception des liens entre ces éléments.
Lacune en ce qui concerne le raisonnement logique	- Les représentations graphiques permettent aux élèves de voir les liens entre les nombres et facilitent le bon choix de l'opération mathématique à mobiliser. - Le développement des stratégies métacognitives soutient le développement du raisonnement logique.
Stratégies métacognitives déficitaires	- L'application des stratégies métacognitives peut favoriser leur développement.
Peu de confiance en soi/anxiété à l'égard des mathématiques	- Bien situer l'élève dans sa zone de développement proximal l'amènera à vivre des réussites et augmentera donc sa confiance en soi.

Voici à quoi peut ressembler l'intégration de ces trois concepts clés lors de l'analyse optimale de l'histoire mathématique suivante: « 10 pirates sont à la recherche de pièces d'or. Ils ont trouvé 146 pièces le vendredi, 298 pièces le samedi et d'autres pièces le dimanche. Sachant qu'ils ont trouvé 731 pièces d'or en tout, combien de pièces ont-ils trouvées le dimanche? » Premièrement, l'élève peut imaginer le total des pièces d'or en trois piles (modèle mental). Ensuite, il peut représenter les quatre quantités sous forme de lignes (figure 2) pour clarifier la relation additive entre elles (représentation graphique). Les piles vues précédemment dans le modèle mental ont été transformées en lignes. On voit toujours trois parties distinctes qui forment un tout. Le diagramme permet à l'élève de déduire les opérations mathématiques à effectuer (Savard et Polotskaia, 2014). Un contrôle métacognitif est nécessaire pour réaliser toutes ces étapes avec succès. Voici deux exemples de stratégies métacognitives utiles. En se demandant quel est le but, l'élève identifie la quantité inconnue dans son modèle mental et sa représentation graphique. En se demandant s'il y a des expressions mathématiques et leur sens dans le contexte de l'histoire, il est en recherche des relations entre les données.

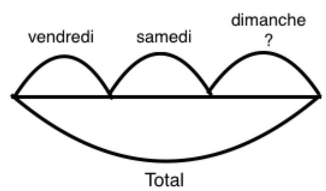

Figure 2. Exemple d'une représentation graphique

2.7 Question et objectifs spécifiques

Mes objectifs d'apprentissage spécifiques sont les suivants : apprendre comment incorporer les connaissances apportées par les travaux sur la zone de développement proximal, les modèles mentaux, les représentations graphiques et la métacognition dans la création d'un matériel didactique visant à aider les élèves à mieux comprendre les problèmes mathématiques. Ce matériel sera analysé à partir des catégories suivantes : les caractéristiques des élèves en difficultés discutées précédemment, la ZDP et l'art de questionner, les modèles mentaux, les représentations graphiques et la métacognition.

Ma question de recherche est : est-ce que le matériel didactique ainsi créé a le potentiel de favoriser l'émergence du raisonnement mathématique des élèves?

3. Chapitre III. Méthodologie

Ce chapitre présente la méthode utilisée pour élaborer le matériel didactique, en commençant avec la présentation globale de la méthodologie. S'enchainent ensuite les considérations éthiques, l'explication des étapes du projet et les limites de la recherche.

3.1 Méthodologie

L'objectif principal de cette recherche est de combler un manque de ressources en développant un matériel didactique qui permet de travailler la résolution de problèmes mathématiques simples en contexte orthopédagogique et dans une perspective de développement du raisonnement mathématique. Le matériel concerne les élèves du deuxième cycle par choix pragmatique : c'est à ce cycle que j'ai le plus d'expérience de travail.

La méthodologie d'une recherche-développement (Harvey et Loiselle, 2009; Paillé, 2007) a été retenue, car elle cadre bien avec le caractère pragmatique de mon projet. Afin de respecter l'ampleur d'un projet de recherche du profil M.Éd., j'ai opté pour une analyse par des experts au moyen d'entrevues semi-dirigées tel que suggéré par Paillé (2007), une mise à l'essai de petite taille et la triangulation de ces données, ce qui assure la scientificité et la validité de la création en question. La figure 3 présente l'organisation des étapes du projet.

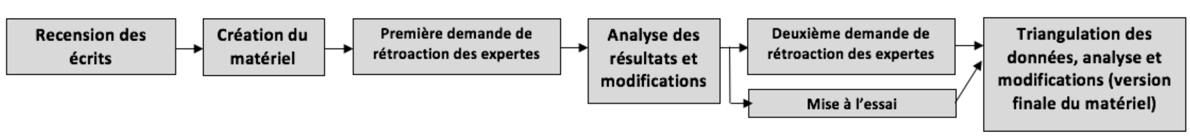

Figure 3. Organisation des étapes du projet de recherche

3.2 Considérations éthiques

En respect des normes éthiques en recherche impliquant des êtres humains, (l'Énoncé de politique des trois Conseils (2014)) la permission de réaliser le projet de recherche a été demandée à la direction de l'école concernée. Les formulaires de consentement (appendice B) ont été signés par les participantes expertes et par les parents des élèves participants.

3.3 Recension des écrits et création initiale du matériel didactique

Pour répondre à mon premier objectif de nourrir ma compréhension théorique au sujet de l'enseignement de la résolution de problème, l'étape de recension des écrits est essentielle. Lors de celle-ci, 44 ouvrages (articles scientifiques et livres) ont été étudiés au sujet des caractéristiques des élèves en difficulté et des pistes proposées pour répondre à leurs besoins dans le contexte de résolution de problèmes écrits. Cette étape du projet a permis de nourrir ma compréhension théorique au sujet de l'enseignement de la résolution de problèmes et d'amorcer la création du matériel didactique sur une base théorique solide. La théorie étudiée m'a amenée à la formulation des catégories à utiliser lors de l'analyse des données. Des lectures ont également été faites au sujet des différents processus de création valides possibles, me permettant d'une part d'élaborer la méthodologie ici présente et d'autre part d'apprendre à l'utiliser pour créer un matériel didactique scientifiquement valide (objectif 2).

3.4 Les rétroactions des expertes

Pour valider et améliorer le matériel didactique créé (en lien avec mon troisième objectif), deux demandes de rétroaction auprès des expertes ont été menées. Les participants-expertes, au nombre de trois, sont : deux conseillères pédagogiques, l'une en adaptation scolaire et l’autre en mathématique, et une enseignante-orthopédagogue. Le terme « experte » est utilisé pour désigner ces trois personnes, étant donné leur expérience et leur expertise dans le domaine.

L’entrevue en présentiel a été choisie par toutes les participantes lors de la première vague qui a eu lieu à l’automne 2019. La communication par courriel a été choisie par les participants lors de la deuxième vague qui a eue lieu à l’hiver 2020. L’une des participantes n’a pas pu participer à la seconde vague d’entrevues pour des raisons de santé. Les entrevues semi-dirigées en présentiel ont été enregistrées afin de permettre une meilleure analyse des propos recueillis.

À l’instar de Harvey (2007), une grille d’évaluation du matériel didactique (appendice C) a été créée en fonction du cadre théorique afin d’encadrer l’analyse des expertes. Pour répondre à ma question de recherche spécifique, à savoir, « le matériel didactique créé a-t-il le potentiel de favoriser le développement du raisonnement mathématique des élèves? », d’autres questions ont été ajoutées dans le questionnaire de l’entrevue (appendice D) en lien avec leur appréciation globale du matériel didactique, leurs suggestions d’amélioration et la question de l’efficacité potentielle du matériel pour l’apprentissage des élèves.

Les propos des différentes expertes ont été analysés en fonction des concepts clés retenus dans le cadre théorique et comparés entre eux (voir grilles d’analyse à l’appendice E). Les grilles d’analyse incluent les catégories qui proviennent du cadre théorique et il a été prévu qu’il puisse y avoir des catégories émergentes. La grille a été utilisée pour vérifier si certains propos sont contradictoires ou si au contraire les commentaires vont dans le même sens. Il n’y a pas eu beaucoup de propos divergents, enlevant donc la nécessité de prévoir un processus supplémentaire d’analyse de contradictions. Des discussions avec ma tutrice ont été suffisantes pour justifier les choix de modifications et ceci sera abordé plus profondément dans le chapitre « synthèse et analyse critique ».

3.5 Mise à l'essai

Étant donné que j'exerçais sur le terrain lors de la mise en œuvre de ce projet de recherche, j'ai utilisé le matériel créé pendant un bloc d'intervention de six semaines avec un groupe de deux élèves de troisième année, provenant de deux classes différentes de la même école. Ces élèves ont été sélectionnés parce qu'ils ont des difficultés persistantes en mathématiques, particulièrement en résolutions de problèmes. Au total, huit rencontres ont eu lieu en janvier et février 2020 et une élève était absente pour deux de ces rencontres. J'ai utilisé un journal de bord pour consigner ce qui a été difficile pour les élèves, ce qui les a aidés et toute autre observation pertinente à l'amélioration du matériel créé ainsi qu'à ma pratique. La mise à l'essai m'a permis de recueillir des observations en lien avec une utilisation concrète du matériel, contrairement à une utilisation hypothétique telle qu'il en est le cas avec les demandes de rétroaction des expertes. Les données provenant de la mise à l'essai ont été analysées à partir des mêmes catégories issues du cadre théorique que pour les données provenant des expertes, ce qui a permis la triangulation.

3.6 Analyse et triangulation des données

Pour assurer la validité scientifique du matériel conçu, en lien avec mon deuxième objectif, les données provenant des entrevues semi-dirigées avec les expertes et du journal de bord ont été triangulées. En cas de commentaires qui abondent dans le même sens, les modifications ont été apportées en ce sens. En cas de divergence, un choix a été fait et appuyé par la mise à l’essai et les théories retenues. Les grilles d’analyse se trouvent à l’appendice E. L’analyse croisée des données provenant des trois sources a permis d’apporter des modifications valides au matériel conçu et d’améliorer sa qualité.

4. Chapitre IV: Synthèse et analyse critique

L'analyse critique qui suit présente une synthèse des résultats de la recherche-développement menée ainsi que le matériel didactique créé. De plus, le matériel didactique est analysé au regard du contexte d'application et un retour est fait sur mes objectifs d'apprentissage tout au long du chapitre.

4.1 Présentation du matériel didactique créé

Le matériel didactique créé se veut à la fois une ressource d'intervention orthopédagogique pour aider les élèves en difficulté du 2^{e} cycle à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. En cohérence avec le cadre théorique, les modèles mentaux, les représentations graphiques et la métacognition sont les pistes de solutions utilisées pour y parvenir. Le guide est aussi vulgarisé de sorte que d'autres orthopédagogues puissent le comprendre et le mettre en pratique.

Le guide inclut plusieurs parties : une partie théorique, des interventions différenciées, une proposition de séquence d'intervention, des jeux de consolidation et des outils d'évaluation. Des aide-mémoires destinés aux élèves se trouvent également en annexe. Les paragraphes qui suivent décrivent brièvement chacune des parties du guide ainsi qu'une analyse de celles-ci au regard du contexte d'application.

4.1.1 La partie théorique du guide

La partie théorique est nécessaire, puisqu'elle permet aux utilisateurs de saisir les fondements théoriques sur lesquels est construit le matériel didactique. Elle présente donc les connaissances théoriques à posséder pour quiconque souhaite bien utiliser les pistes de solutions proposées. J'y explique l'approche sociocostructiviste de Vygotsky ainsi que les caractéristiques des élèves en difficulté et comment le matériel tient compte de celles-ci. Il est également à noter que j'y présente le paradigme relationnel dans lequel le guide se situe. Les pistes proposées et expliquées provenant du cadre théorique sont les modèles mentaux, les représentations graphiques et les stratégies métacognitives. Pour chacune de ces pistes, une explication est donnée afin de faciliter l'appropriation des éléments théoriques par le professionnel. Dans une perspective vygotskienne, des exemples sont donnés et des questions sont fournies afin que l'intervenant puisse les poser dans l'objectif d'amener l'élève à développer son raisonnement mathématique.

4.1.2 Les interventions différenciées

Dans cette partie du guide, des activités pratiques sont présentées pour chacune des pistes de solutions individuellement. En présentant d'abord des activités pratiques pour chacune des pistes de solutions, il est ainsi plus facile de différencier l'enseignement aux besoins spécifiques des élèves. Par exemple, pour développer la capacité des élèves à se créer des images mentales, des exercices de visualisation sont suggérés (voir pages 15 à 17 du guide). Elles ne sont pas mathématiques au départ et le deviennent de plus en plus en augmentant le niveau de complexité. Par exemple, la première tâche de visualisation amène l'élève à visualiser un objet. La tâche est ensuite complexifiée puisque l'élève doit imaginer un sujet mouvant. Finalement, des petites quantités sont ajoutées afin d'amener l'élève à visualiser des histoires mathématiques.

Pour ce qui est des représentations graphiques, une variété d'histoires mathématiques sont suggérées et classées par structures, selon la classification de Polotskaia, Gervais, et al. (2019) et de Polotskaia, Savard, et al. (2019) et décrite dans le cadre théorique (voir pages 17 à 27 du guide). Pour chacune de ces histoires, des variantes sont proposées : l'élément inconnu est changé ou plus d'un inconnu est présent afin que l'élève se concentre sur les relations plutôt que sur les nombres. En variant les structures mathématiques à partir d'une même histoire, cela permet de voir toutes les structures de la classification et cela permet à l'enfant de développer sa pensée mathématique flexible. Le tableau suivant présente un exemple de variations d'une histoire de type comparaison.

Tableau 2

Histoire mathématique et ses variations

Variantes	Commentaire
Stephano, l'épicier, consulte sa commande de fruits et légumes. Il est indiqué qu'il a commandé 73 caisses de fraises. Malheureusement, une tâche cache la quantité de concombres commandés. Il se rappelle cependant qu'il a commandé 28 caisses de fraises de plus que de concombres. Aide-le à trouver combien de caisses de concombres il a commandées.	Il s'agit d'une première variante où l'élément inconnu est l'une des quantités comparées.
Stephano, l'épicier, consulte sa commande de fruits et légumes. Il est indiqué qu'il a commandé 73 caisses de fraises et 45 caisses de concombres. Aide-le à trouver combien de caisses de fraises de plus il a commandées par rapport au nombre de caisses de concombres.	Il s'agit d'une deuxième variante où l'élément inconnu est la différence entre les deux quantités.
Stephano, l'épicier, consulte sa commande de fruits et légumes. Malheureusement, une tâche cache la quantité de concombres et de fraises commandés. Il se rappelle cependant qu'il a commandé 28 caisses de fraises de plus que de concombres. Aide-le à trouver combien de caisses de concombres et de fraises il a commandées.	Dans cette variante, il y a deux inconnus. L'élève doit se concentrer sur les relations entre les données afin de proposer une solution possible. En enlevant une quantité connue, l'attention de l'élève est moins portée vers l'opération entre deux nombres, mais plutôt vers les relations entre les quantités présentes dans l'histoire.
Stephano, l'épicier, consulte sa commande de fruits et légumes. Malheureusement, une tâche cache la quantité de concombres et de fraises commandés. Il se rappelle cependant qu'il a commandé plus de fraises que de concombres. Aide-le à trouver combien de caisses de concombres et de fraises il a commandées.	Dans cette dernière variante, aucune quantité n'est précisée. À l'instar de la troisième variante, l'élève doit se concentrer sur les relations entre les données afin de proposer une ou plusieurs solutions possibles. La seule contrainte est que la quantité de fraises est plus grande que la quantité de concombres. Ce type de problèmes s'appelle « problèmes ouverts ». Habituellement, les élèves ont davantage de difficulté à aborder ce type de problème, puisqu'il n'y a pas de calcul défini à réaliser, mais plutôt une analyse importante de la situation à effectuer.

Des suggestions d'interventions sont également présentées pour les élèves qui éprouvent de la difficulté à créer une représentation graphique ou à comprendre les relations entre les données une fois qu'une représentation graphique a été réalisée (voir pages 25 à 27 du guide).

Finalement, pour ce qui est de la métacognition, des formulations de questions métacognitives sont suggérées (page 27 du guide) pour chacune des stratégies métacognitives décrites dans le cadre théorique (Focant et Grégoire, 2005; Houdement, 2011). Par exemple, « Est-ce que ma réponse est logique? » est une question métacognitive qui fait référence à la stratégie de vérification des résultats par rapport au but recherché. Cette stratégie peut aider l'élève, dans certains cas, à identifier une erreur.

4.1.3 Proposition d'une séquence d'intervention intégrant toutes les pistes de solutions

Dans le respect de l'approche vygotskienne, une planification progressive d'intervention intègre toutes les pistes de solutions, soit les modèles mentaux, les représentations graphiques et la métacognition. Grâce à cette intégration, l'élève peut aborder des problèmes plus costauds, tout en travaillant dans sa ZDP et assurant ainsi le développement de son raisonnement mathématique. Pour tenir compte des caractéristiques des élèves en difficulté, les pistes d'intervention sont bonifiées par l'ajout de questions ouvertes permettant d'aider les élèves à mieux comprendre les relations entre les données. Pour soutenir les élèves ayant une faible mémoire de travail, chaque leçon prévoit un retour sur les apprentissages réalisés lors des leçons précédentes. En ce sens, des aide-mémoires dans lesquels les élèves notent les stratégies vues en lien avec les modèles mentaux, les représentations graphiques et les stratégies métacognitives, permettent également de palier à la mémoire de travail fragile des élèves et les aident à organiser l'information lors de nouveaux apprentissages. L'ensemble du matériel a comme thème les superhéros, ce qui peut stimuler la confiance en soi des élèves et de diminuer leur anxiété à l'égard des mathématiques.

La séquence intégrant les trois pistes d'intervention constitue l'innovation apportée au champ d'orthopédagogie en mathématique. Les concepts qui constituent ce guide sont décrits individuellement dans la littérature scientifique, mais, à ma connaissance, je suis la première à les intégrer ensemble dans un guide pratique conçu pour un usage en contexte orthopédagogique.

4.1.4 Interventions ludiques de consolidation

En plus des phases d'intégration pour chacune des leçons, le guide inclut deux jeux de consolidation. Le contexte est ludique dans l'optique de redonner aux élèves le gout de faire des mathématiques et de réduire leur anxiété à l'égard de cette discipline (Sauvé, Renaud et Gauvin, 2007). Le premier jeu, un jeu de parcours, concerne les structures additives seulement et a comme thème la forêt et la nature. Les élèves doivent sortir d'une forêt en réussissant des défis mathématiques de quatre types. Le premier type amène les élèves à se créer des modèles mentaux à partir d'histoires mathématiques. Le deuxième type amène les élèves à créer une représentation graphique d'histoires mathématiques. Le troisième type amène les élèves à utiliser les stratégies métacognitives, toujours à partir d'histoires mathématiques. Le quatrième type de défi incorpore les modèles mentaux, les représentations graphiques et les stratégies métacognitives. Le jeu se joue de façon coopérative dans le respect de l'approche socioconstructiviste. Les élèves doivent travailler ensemble afin de faire avancer l'unique pion vers la sortie de la forêt.

Le second jeu, un jeu d'enquête, concerne les structures additives et multiplicatives. Les élèves doivent à nouveau travailler ensemble, dans le respect de l'approche socioconstructiviste, afin de résoudre une énigme : il y a eu un vol dans un centre commercial et ils doivent trouver le coupable. En réussissant divers défis mathématiques, les élèves reçoivent des indices qui permettent d'éliminer progressivement des suspects. Les défis sont différentes histoires mathématiques sur le thème du vol au centre commercial que les élèves doivent résoudre en utilisant toutes les stratégies apprises. Une composante de la mécanique du jeu permet à l'intervenant d'ajuster le niveau de difficulté du jeu, dans le respect de la ZDP des élèves. Notamment, les élèves sont amenés à réfléchir sur l'efficacité de leurs modèles mentaux et de leurs représentations graphiques. De plus, des questions métacognitives leur sont présentées en fonction de chaque difficulté spécifique rencontrée afin de trouver des solutions et d'apprendre à partir de leurs défis.

4.1.5 Outils d'évaluation

Finalement, le guide contient deux évaluations initiales (l'une pour les élèves de troisième année et l'autre pour les élèves de quatrième année) et deux évaluations finales pour ces deux niveaux également. Celles-ci ont comme but de cibler les besoins des élèves et de constater leurs progrès, dans le respect du modèle de la réponse à l'intervention présentée dans la problématique (Mellard et al., 2009). L'intervenant peut ainsi mieux ajuster ses interventions selon les besoins des élèves.

4.2 Synthèse des données

Pour en arriver à la version actuelle du guide décrite ci-dessus, un processus méthodologique a été suivi. En effet, tel que détaillé dans le chapitre intitulé « méthodologie », le guide a été vu et critiqué par trois expertes du milieu et une mise à l'essai partielle à petite échelle a été réalisée. Les données recueillies ont été analysées et triangulées selon leur provenance d'une part et les catégories du cadre théorique d'autre part. Les grilles d'analyse contenant l'ensemble des données recueillies se trouvent à l'appendice E. Au total, à la suite des deux demandes de rétroaction des expertes et la mise à l'essai, 17 modifications ont été apportées au guide, dont la grande majorité issue de recommandations de la première demande de rétroaction des expertes.

4.2.1 Les rétroactions des expertes

Les trois participantes ont apprécié globalement le matériel didactique créé. L'aspect le plus apprécié par l'ensemble des participantes est l'intégration de stratégies métacognitives. Je présente ici quelques modifications plus significatives pour en donner des exemples[1]. Le plus grand nombre de modifications concerne les modèles mentaux et les représentations graphiques (cinq modifications). Une de ces modifications concernait tant les modèles mentaux que les représentations graphiques. Voici des exemples de ces modifications : préciser l'importance de partir des représentations initiales des élèves et les convertir en une représentation qui permet de voir plus facilement les relations entre les données; rendre plus claire l'idée de pouvoir

---

[1] Les changements issus de la première rétroaction des expertes sont en mauves dans le guide, alors que ceux issus de la deuxième rétroaction et de la mise à l'essai sont en jaune.

utiliser du matériel de manipulation (ce qui n'a pas été compris par toutes les participantes expertes) et varier le matériel de manipulation qui se prête bien à une représentation des relations.

Une critique qui a été formulée par deux expertes et adressée par les modifications faites au guide est l'importance de partir des connaissances des élèves. Voici un extrait du guide illustrant une modification significative apportée afin d'adresser cette critique (p. 42).

> Finalement, expliquer aux élèves qu'ils vont représenter cette histoire avec un schéma semblable à celui de la dernière fois. Rappeler aux élèves que les objets peuvent être représentés par une ligne. Demander d'abord aux élèves de représenter la situation mathématique comme ils le souhaitent. Ceci permet à l'intervenant d'avoir accès aux représentations initiales des élèves, à leurs perceptions, qu'elles soient bonnes ou erronées, afin de pouvoir mieux intervenir selon celles-ci. Rappelons qu'il est important que les interventions partent des croyances des élèves. L'intervenant doit ensuite intervenir de façon à défaire les fausses croyances des élèves.
>
> Expliquer que vous allez ensuite faire une représentation avec des lignes, semblable à la dernière fois (référer à la représentation graphique de la dernière histoire mathématique).

Les rétroactions données par les expertes sont pertinentes, puisqu'on doit tenir compte des représentations initiales des élèves dans les interventions et éviter d'imposer une représentation qui n'est pas significative pour les élèves au départ. Leurs rétroactions m'ont permis d'améliorer la qualité du guide créé.

Seulement deux modifications ont été apportées après la deuxième demande de rétroaction des expertes, puisque très peu de commentaires étaient de nature à modifier le matériel créé. Ceci démontre que les modifications apportées lors de la première vague ont été appréciées. Néanmoins, à cette étape, une section dans la partie théorique du guide a été ajoutée afin d'expliquer la différence entre les stratégies cognitives et les stratégies métacognitives à la suite d'une suggestion d'une participante experte.

4.2.2 Mise à l'essai

Tel que mentionné précédemment, une mise à l'essai à petite échelle a été effectuée après la première demande de rétroaction des expertes et en même temps que la deuxième demande de rétroaction des expertes. De façon globale, les élèves ont fait du progrès visible. Les histoires mathématiques étaient parfois difficiles pour les élèves, mais elles leur étaient accessibles. Les élèves ont globalement apprécié la thématique. À leurs yeux, toutes les séances étaient ludiques et amusantes. En effet, les élèves m'ont dit spontanément que « c'est comme un jeu, même si ce n'est pas un jeu et qu'on apprend ». C'est particulièrement la manipulation des lignes qui composent les représentations graphiques qu'ils trouvaient amusante. Ainsi, les élèves n'ont pas ressenti d'anxiété ou de dégoût à l'égard des mathématiques. Ensuite, les élèves ont fait du progrès en ce qui concerne leur habileté à mieux comprendre les problèmes simples présentés. En effet, les élèves ont fait du progrès concernant leur habileté à se faire des images mentales, pouvaient mieux identifier le but de la tâche, se questionnaient davantage par rapport aux liens entre les données et faisaient moins de recours inadéquats à l'addition pour résoudre tous les problèmes simples. Les élèves ont compris rapidement l'utilisation des lignes pour représenter les données : ils pouvaient pointer et nommer les différents éléments représentés. Il aurait cependant fallu davantage de temps afin qu'ils s'approprient mieux comment créer des représentations graphiques de façon autonome et les utiliser pour trouver l'opération à effectuer. En effet, cet outil d'intervention n'est pas un remède magique pour les élèves qui éprouvent de la difficulté à comprendre les relations dans les histoires mathématiques, mais une approche qui permet de voir les difficultés existantes des élèves, mieux intervenir selon celles-ci en dirigeant le dialogue socratique vers la compréhension des relations (approche relationnelle), plutôt que vers les nombres ou les opérations (approche opérationnelle), bien que ceci prend un certain temps avant que l'élève s'approprie cet outil d'intervention et cette approche.

Les modifications issues de cette mise à l'essai sont principalement l'ajout de sections présentant des difficultés spécifiques que peuvent avoir les élèves et des stratégies d'intervention spécifiques à chacune d'elles. Les trois difficultés dont il est question sont la difficulté à se faire des modèles mentaux, la difficulté à se représenter graphiquement la situation et la difficulté à comprendre les relations entre les données une fois qu'une représentation graphique de la situation a été réalisée par un pair ou l'intervenant. Ces ajouts se trouvent en jaune aux pages 16 et 17 ainsi que les pages 25 à 27 du guide.

4.2.3 Triangulation des données et gestion des données contradictoires

Les données provenant de la mise à l'essai et des consultations avec les expertes ont été croisées dans une grille d'analyse : les colonnes ont permis une organisation des données selon leur provenance (participantes et mise à l'essai) tandis que les rangées ont permis une organisation des données par catégories, certaines déterminées à priori et d'autres étant émergentes.

Très peu de données étaient contradictoires entre elles. Une participante experte a suggéré l'ajout d'un élément aux outils d'évaluation initiale afin de vérifier si les élèves comprennent le regroupement. Cette participante croit essentiel de vérifier cet acquis puisqu'il est nécessaire selon elle pour comprendre que les lignes des représentations graphiques représentent des quantités. Cet ajout a été fait après la première rétroaction des expertes. Cependant, il a été retiré après la mise à l'essai, puisque la théorie sur laquelle se base la création du guide ne stipule pas que les lignes des représentations graphiques s’appuient sur la compréhension du groupement. De plus, le fait que les élèves n’avaient aucune difficulté à comprendre que les lignes représentent des quantités des histoires mathématiques, malgré que l’une des élèves avait de la difficulté à comprendre le groupement, démontre la validité de cette théorie.

Ensuite, une participante pensait également que les élèves étaient trop guidés et que la structure des leçons de la séquence suggérée ressemblait trop à une « recette » que les élèves doivent suivre. Elle a également reproché que les interventions ne partaient pas des représentations initiales des élèves. Ceci est en contradiction avec une autre participante qui trouvait que ces leçons sont bien structurées et que la répétition permettait aux élèves en difficulté de prévoir comment se déroulera chacune des séances et ainsi mieux organiser les nouveaux apprentissages. Elle trouvait intéressant et pertinent que l’intervenant montre aux élèves comment représenter les histoires mathématiques, tant mentalement que graphiquement. Elle y voyait également de l’intervention par des communications explicites, approche d’enseignement qu’elle croit particulièrement efficace auprès des élèves en difficultés. Un choix a donc dû être fait quant à ces propos contradictoires. À la suite d’une discussion avec ma tutrice, il a été conclu qu’un équilibre devait être trouvé entre les deux. Des ajouts ont donc été faits afin de préciser que les interventions doivent partir des représentations initiales des élèves. Ces représentations permettent d’avoir une meilleure idée de la compréhension initiale des élèves et donc de mieux orienter les interventions. De plus, davantage de questions ouvertes ont été incluses dans le guide. Toutefois, tout en partant des représentations initiales des élèves, les interventions les amènent à adopter les représentations graphiques proposées puisque celles-ci permettent de voir plus facilement les relations entre les données.

4.3 Analyse du matériel au regard du contexte d'application

Le matériel créé dans le cadre de ma maitrise avait pour but de répondre à mon besoin personnel d'être mieux outillée, tant du côté matériel que du côté théorique, afin de mieux intervenir auprès d'élèves ayant des difficultés persistantes à comprendre les problèmes mathématiques simples. En réalisant cet objectif, je crois avoir pu répondre à un besoin plus large, puisque le matériel créé sera partagé avec d'autres orthopédagogues qui interviennent au primaire en mathématique. Rappelons qu'il existe très peu de matériel disponible sur le marché dédié au développement du raisonnement mathématique en contexte de compréhension de problèmes pour les orthopédagogues. Une des participantes expertes m'a partagé qu'elle a fait des apprentissages en lisant et critiquant le guide créé. Elle dit être contente d'avoir participé au projet de recherche, puisqu'elle se voit l'utiliser elle-même dans sa pratique. Elle apprécie notamment le niveau de complexité qui augmente, les représentations graphiques qui permettent de mieux voir les liens entre les données, la métacognition qui est selon elle une piste de solution majeure pour aider les élèves en difficultés, les pistes de questionnement précises et détaillées retrouvées dans le guide, le thème des superhéros apprécié des élèves du deuxième cycle et les aide-mémoires fournis et bonifiés avec les élèves. Pour ces raisons, elle croit grandement au fait que ce matériel a le potentiel d'aider les élèves en difficulté sur le terrain à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Elle ajoute qu'elle l'utiliserait avec ses élèves et qu'elle l'utiliserait même avec des élèves du troisième cycle en adaptant peut-être le thème afin que celui-ci interpelle davantage les élèves de ce groupe d'âge. Une autre participante a également émis comme commentaire que l'approche présentée dans le guide et les pistes de solutions proposées pourraient être utilisées dans les classes régulières, puisqu'il est de son avis qu'elles seraient bénéfiques à l'ensemble des élèves et non seulement les élèves en difficulté. Les participantes sont d’avis que le matériel didactique a le potentiel d’aider les élèves à mieux comprendre les problèmes mathématiques.

Il n’est pas surprenant que le matériel didactique réponde à un besoin plus large que le mien, puisque la compréhension des problèmes mathématiques est une partie importante du Programme de formation de l’école québécoise (Ministère de l’Éducation du Québec, 2006; Polotskaia, 2017). De plus, dans la Progression des apprentissages (Ministère de l’Éducation, 2009), il est écrit que « pour se donner une bonne compréhension des opérations et de leurs divers sens dans des contextes variés, l’élève doit connaitre les relations entre les données et entre les opérations, choisir les bonnes opérations et les effectuer […] » (p. 9). Le matériel didactique vient donc répondre à ce besoin d’amener les élèves à mathématiser une variété d’histoires mathématiques ayant différentes structures. En effet, le type de représentations graphiques suggéré, de même que le travail de visualisation par la création de modèles mentaux, permet à l’élève de visualiser les relations entre les données et facilite le choix de l’opération dans la situation donnée.

4.4 Limites du projet de création

Afin de bien évaluer la portée de ce projet, il est important de tenir compte de certaines limites du matériel que j’ai créé. Par exemple, les caractéristiques générales des élèves en difficulté ont été définies et ont été utilisées pour guider la création de celui-ci. Ainsi, le matériel ne répond peut-être pas aux besoins des élèves en grande difficulté tels que les élèves ayant une déficience intellectuelle. De plus, la mise à l’essai n’a été vécue qu’avec deux élèves et ce, sans faire une analyse de leurs caractéristiques personnelles telles que mentionnées dans le cadre théorique. Ce choix peut être suffisant pour valider le potentiel du matériel didactique, ce qui est le but de ce projet. Toutefois, pour une véritable validation du matériel didactique créé, il faudrait une mise à l'essai avec un grand nombre d'élèves et une analyse beaucoup plus poussée.

5. Chapitre V: Bilan des apprentissages

Ce bilan des apprentissages vise à faire état de l'avancement de mes connaissances et compétences depuis le début de mon parcours à la maitrise. Mon inscription à la maitrise avait comme objectif premier d'accroitre mon savoir en lien avec l'intervention auprès d'élèves en difficulté, puisque j'ai complété le baccalauréat en éducation préscolaire et enseignement primaire, alors que je travaille présentement comme enseignante-orthopédagogue. Dans ce chapitre, je présenterai d'abord quelques apprentissages réalisés dans le cadre des différents cours. Ensuite, j'aborderai les apprentissages réalisés dans le cadre de mon projet de recherche.

5.1 Apprentissages réalisés dans le cadre des cours

N'ayant pas fait le baccalauréat en adaptation scolaire, les cours de la concentration en orthopédagogie ont été très enrichissants, surtout en ce qui concerne les sphères d'intervention en français (lecture et écriture). Dans le cadre de la majorité des cours, nous avons élargi nos connaissances en ce qui a trait à l'évaluation ou à l'intervention auprès d'élèves en difficulté et appliqué ces nouvelles connaissances dans des travaux pratiques auprès d'élèves variés. Ces apprentissages sont distincts de ceux réalisés dans le cadre de mon projet de recherche qui concerne les mathématiques, quoique plusieurs liens peuvent être faits entre les cours de la concentration et mon projet de recherche. Cette section présentera ces apprentissages.

Tout d'abord, par la nature des cours de la concentration en orthopédagogie, plusieurs liens peuvent être faits avec mon projet de recherche, puisque nous avons abordé explicitement ou implicitement les caractéristiques des élèves en difficulté, telles que leur faible mémoire de travail. Pour pallier cette difficulté, nous avons discuté de l'importance de rendre l'apprentissage plus concret et d'aider ces élèves à organiser les nouveaux apprentissages afin de créer des liens avec leurs connaissances préalables, favorisant la rétention de la nouvelle information. J'ai tenu compte de ces caractéristiques dans la conception du matériel que j'ai créé.

La différenciation pédagogique pour répondre aux besoins variés des élèves en difficulté a également été un thème récurrent dans plusieurs cours de la concentration en orthopédagogie. Cette notion de différenciation pédagogique se trouve également dans le matériel que j'ai créé, notamment par la présentation d'interventions selon les difficultés spécifiques des élèves.

Le rôle de l'orthopédagogue a également été traité dans le cadre d'un cours et nous y avons vu que l'un des mandats des orthopédagogues est de « choisir, modifier ou élaborer des interventions ciblées visant le développement, l'actualisation et la consolidation des connaissances, des construits et des processus (lecture, écriture, mathématiques, stratégies d'autorégulation). » (Brodeur et al., 2015, p. 18) Dans la création du guide, plusieurs de ces idées ont été implantées, telles que développer le raisonnement mathématique des élèves tout en développant leurs stratégies métacognitives (aussi appelées stratégies d'autorégulation).

Concernant les sphères d'intervention en français, l'apprentissage le plus significatif et qui a eu le plus grand impact dans ma pratique orthopédagogique est le modèle développemental de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture de Seymour (Laplante, 2011) et le modèle développemental des processus impliqués en lecture de Laplante (Laplante, 2011). Le modèle de Seymour permet de comprendre les processus spécifiques en lecture et en écriture et ainsi analyser les paralexies et paragraphies des élèves. Grâce à ce modèle, j'ai appris ce que sont les traitements alphabétique, logographique, orthographique et morphologique, je me suis approprié plusieurs termes et concepts importants relatifs au domaine de l'orthopédagogie et j'ai pris conscience de l'implication de ces traitements dans l'apprentissage de la lecture et de l'écriture chez les élèves. Le modèle de Laplante ajoute les processus non spécifiques impliqués dans l'apprentissage de la lecture, tels que les microprocessus et les macroprocessus, me donnant un portrait global des compétences à acquérir en lecture. Ces deux modèles me sont utiles chaque fois que j'analyse les difficultés des élèves en lecture et en écriture et me servent également à orienter mes interventions orthopédagogiques. Le caractère développemental de ces modèles rejoint d'ailleurs le caractère développemental du matériel que j'ai créé, puisque dans tous les cas, on tient compte des différentes variables qui influencent le développement de la compétence ciblée (ex. : traitement alphabétique et compréhension des anaphores en lecture ou la compréhension des liens entre les données). De plus, on procède par étapes en fonction de la phase à laquelle se situe l'élève ou dans le respect de sa zone de développement proximale.

Compte tenu de mon objectif premier de mon inscription à la maitrise, soit d'accroitre mon savoir en lien avec l'intervention auprès d'élèves en difficulté dans toutes les sphères d'intervention, les cours ont été complémentaires à mon projet de recherche et m'ont permis d'acquérir des connaissances et d'améliorer mes interventions dans les sphères d'intervention principales en orthopédagogie, soit la lecture, l'écriture et les mathématiques.

5.2 Apprentissages réalisés dans le cadre de mon projet de recherche

Bien que j'ai fait de nombreux apprentissages concernant l'intervention en lecture et en écriture dans les cours de la concentration en orthopédagogie, mes plus grands apprentissages relèvent sans aucun doute de l'enseignement de la compréhension des problèmes mathématiques simples. Mon projet de recherche m'a en effet permis de parfaire mon savoir en ce qui concerne l'intervention en mathématique, de même que la recherche et la communication scientifique.

5.2.1 Apprentissages liés aux interventions orthopédagogiques en mathématique

Commençons par faire un rappel de mes objectifs d'apprentissage. D'ordre général, mes objectifs d'apprentissage en lien avec mon projet de recherche concernent une amélioration de mon savoir et de mes compétences pour ce qui est de l'intervention orthopédagogique en mathématique, plus particulièrement la compréhension en résolution de problème. De plus, j'avais comme objectif de combler un manque de matériel didactique pour aider les élèves dans cette sphère de leurs apprentissages. Compte tenu des concepts clés retenus, mes objectifs d'apprentissage spécifiques étaient les suivants : apprendre comment incorporer les connaissances apportées par les travaux sur la zone de développement proximal (Cheyne et Tarulli, 2005; Vygotsky, 1997/1926), les modèles mentaux (Denis, 1982), les représentations graphiques (Polotskaia, 2017) et la métacognition (Focant et Grégoire, 2005; Houdement, 2011) dans la création d'un matériel didactique visant à aider les élèves à mieux comprendre les problèmes mathématiques que je pourrai utiliser dans le cadre de ma pratique. Ajoutons que j'avais comme question de recherche à savoir si le matériel didactique créé à l'aide de ces concepts a le potentiel de favoriser l'émergence du raisonnement mathématique des élèves.

Lorsque je réfléchis à ma pratique avant d'avoir commencé mon parcours à la maitrise, je peux plus facilement constater tout l'avancement et le progrès que j'ai fait. Avant, je me situais dans le paradigme opérationnel. En effet, j'accordais beaucoup d'importance au « ce que je cherche », au « ce que je sais » et aux mots-clés qui pourraient révéler l'opération à effectuer. J'intervenais dans l'optique d'amener les élèves à traduire un énoncé ou une situation mathématique en une opération. J'avais cependant un malaise avec le fait que les mots-clés pouvaient être trompeurs dans certaines situations.

Maintenant, je me situe dans le paradigme relationnel. Je comprends toute l'importance de guider mes élèves dans leur compréhension des liens entre les données des histoires mathématiques qui permet ensuite de faire le bon choix de l'opération à effectuer. J'ai également pris une meilleure connaissance du fait que l'approche opérationnelle peut mener à une surgénéralisation de l'utilisation des mots-clés et une grande difficulté à résoudre des problèmes mathématiques inconsistants, c'est-à-dire des problèmes où l'opération à effectuer ne correspond pas directement à l'action décrite dans l'histoire. Cette approche répond donc à mon malaise décrit plus haut. À la suite de ce changement de paradigme et mes nombreuses lectures et discussions en lien avec cette approche, je suis maintenant capable d'appliquer ce nouveau cadre théorique et le vulgariser à d'autres personnes, tel que je l'ai fait dans un article que j'ai rédigé et qui a été publié dans la revue de l'Association des orthopédagogues du Québec (Fortin, 2020).

Finalement, je suis maintenant beaucoup mieux outillée pour intervenir auprès d'élèves qui ont de la difficulté à comprendre les problèmes mathématiques simples. En effet, les pistes de solutions que sont les modèles mentaux, les représentations graphiques, la métacognition, de même que l'art de questionner les élèves et respecter leur zone de développement proximal me sont très utiles lorsque j'interviens auprès de mes élèves. La partie théorique du guide présente d'ailleurs le fruit de mes recherches sur ces divers concepts. De plus, j'ai mis à l'essai une partie du guide créé intégrant ces différents concepts, me permettant de développer mes compétences et d'approfondir mes connaissances par ce nouveau regard plus pratique. Grâce à la mise à l'essai, j'ai appris à nuancer l'intervention selon la réponse à l'intervention des élèves. Ainsi, j'ai nuancé les explications dans le guide en proposant des interventions plus spécifiques et différenciées. La mise à l'essai m'a également permis d'apprendre à faire des liens entre la théorie et la pratique, c'est-à-dire comment opérationnaliser la théorie pour répondre aux besoins pratiques des élèves. Je suis maintenant mieux outillée pour répondre aux besoins de mes élèves lorsqu'ils rencontrent des difficultés spécifiques. Par exemple, dans le cas des élèves qui ont de la difficulté persistante à se faire des modèles mentaux, une intervention possible est de demander à l'élève de dire en un mot et ensuite en une phrase de quoi « parle » l'histoire mathématique. Ainsi, l'élève dégage les informations les plus mathématiquement importantes, comme il le ferait en créant un modèle mental. Lorsque les élèves ont de la difficulté à représenter graphiquement une situation mathématique, il peut leur être bénéfique de leur demander de représenter par une ligne une quantité à la fois en amenant l'élève à se questionner par rapport à où situer chaque nouvelle ligne selon les relations entre les données. Par exemple, pour amener les élèves à se questionner ainsi, je peux leur demander « Est-ce que cette nouvelle donnée est déjà représentée par une ligne? Est-ce que c'est un élément que l'on doit ajouter, telle une autre partie qui formera un tout avec la première? Est-ce un élément que l'on compare avec la première donnée? ». Finalement, je sais maintenant que pour les élèves qui ont de la difficulté à comprendre les relations entre les données une fois qu'une représentation graphique de la situation a été réalisée, il peut être bénéfique d'associer des gestes des mains aux opérations et que l'on associe aux représentations des différentes structures mathématiques dépourvues d'histoires. Par exemple, pour démontrer qu'une quantité doit être enlevée, on peut effacer ou cacher avec sa main la partie connue afin de n'avoir que la partie inconnue et recherchée. Bref, bien que d'améliorer la qualité de mes interventions orthopédagogiques en mathématiques n'était pas l'un de mes trois objectifs d'apprentissage de ce projet de recherche, je constate que j'ai tout de même fait plusieurs apprentissages en ce sens.

5.2.2 Apprentissages liés à la recherche et à la communication scientifique

J'ai aussi fait de nombreux autres apprentissages connexes et non liés directement au sujet de mon projet de recherche. Je pense notamment aux apprentissages liés à la communication scientifique. Ceux-ci ont été réalisés lors de la rédaction du présent essai, de la préparation des présentations orales des cours du tronc commun, de la rédaction de l'article mentionné précédemment et de la préparation pour une communication scientifique pour le 88e congrès de l'Acfas[2]. Par exemple, j'ai appris toute l'importance de bien choisir les mots pour exprimer mes idées afin de m'assurer que mes lecteurs les comprennent, et ce, peu importe les connaissances qu'ils possèdent liées au sujet abordé. En effet, certains termes peuvent être interprétés différemment par différentes personnes, selon leur bagage de connaissances et leur propre expertise. Je pense notamment au terme « problème mathématique » qui peut être interprété de plusieurs façons. J'ai également appris l'importance de présenter les idées dans un ordre logique et cohérent afin de faciliter la compréhension du lecteur.

5.3 Degré d'atteinte des objectifs

Mon cheminement à la maitrise a été une belle aventure remplie de nouveaux apprentissages, tant théoriques que pratiques. Je considère ainsi que mon objectif premier derrière mon inscription à la maitrise est atteint, soit d'acquérir et de parfaire mes connaissances

---

[2] Malheureusement, cet événement n'a pas eu lieu en raison de la pandémie de la COVID-19.

et compétences en termes d'intervention auprès des élèves en difficulté. Rappelons que ma formation initiale est le baccalauréat en éducation préscolaire et enseignement primaire, donc centré davantage sur les élèves au régulier. Grâce à la maitrise, les cours de la concentration en orthopédagogie m'ont permis d'améliorer mes interventions en français (lecture et écriture) alors que mon projet de recherche m'a permis d'améliorer mes interventions en mathématiques. Le fait d'avoir changé de paradigme grâce à plusieurs lectures et discussions, en passant de l'approche opérationnelle à l'approche relationnelle, témoigne également du degré d'atteinte de mes objectifs, puisqu'il peut être long pour des intervenants de changer de paradigme de la sorte. Ce changement s'est fait au bénéfice de mes élèves actuels et futurs, puisque j'ai délaissé mes pratiques désuètes en ce qui concerne l'enseignement des mathématiques en contexte de résolution de problèmes.

Qui plus est, selon moi, le fait de pouvoir vulgariser mes apprentissages théoriques à l'égard de la didactique des mathématiques témoigne de l'atteinte de mes objectifs d'apprentissages théoriques. En effet, le matériel didactique créé contient une partie théorique vulgarisée, j'ai rédigé un article qui a été revu par des arbitres et publié dans la revue professionnelle de l'ADOQ (Association des orthopédagogues du Québec) et j'ai préparé une communication scientifique par affiche pour l'Acfas. De plus, le fait d'avoir créé et utilisé lors d'une mise à l'essai un matériel didactique intégrant ces apprentissages témoigne de l'atteinte de mes objectifs d'apprentissages pratiques.

Finalement, le fait que les participantes à ce projet de recherche disent vouloir soit intégrer le matériel didactique dans leur propre pratique ou soit encourager leurs collègues enseignantes à appliquer ses principes dans leur classe au régulier atteste de la valeur et de la portée de ces apprentissages ainsi que de la qualité du matériel produit.

5.4 Implications pratiques et théoriques

Tel que mentionné précédemment, le premier impact pratique et théorique me concerne personnellement : mon projet de recherche m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances et d'améliorer mes interventions au bénéfice de mes élèves actuels et futurs. De plus, le matériel créé répond bien à ma problématique initiale de combler un manque de ressources pour aider les élèves en difficulté à développer leur raisonnement mathématique afin de mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. En outre, ce matériel respecte les principes de la réponse à l'intervention adoptés par ma commission scolaire et décrits dans le chapitre « problématique ». Par exemple, les activités et les jeux se vivent bien avec un petit groupe d'élèves qui résistent à l'intervention au palier universel, des interventions sont présentées selon les difficultés spécifiques des élèves et des outils d'évaluation permettent de d'abord cibler les besoins et ensuite d'évaluer la réponse à l'intervention.

À ma connaissance, c'est la première fois que l'on présente comment intégrer les concepts de modèles mentaux, de représentations graphiques et de métacognition dans le respect de la ZDP afin de développer le raisonnement mathématique et favoriser la compréhension des problèmes mathématiques simples des élèves en difficulté. Certes, il existe d'autres matériels pédagogiques sur le marché, mais ceux-ci utilisent des approches différentes. Par le partage de mes apprentissages par l'entremise de la rédaction de mon article pour l'ADOQ et le matériel didactique créé, cet aspect novateur a le potentiel de toucher davantage d'orthopédagogues œuvrant chacune dans leurs milieux ainsi que leurs élèves.

Conclusion

J'ai observé dans ma pratique comme enseignante orthopédagogue au primaire que mes élèves ont de la difficulté à comprendre les problèmes mathématiques simples. Or, le développement du raisonnement mathématique est essentiel pour appliquer les mathématiques dans des situations problématiques réelles (Verschaffel et De Corte, 2005). De plus, de l'importance est accordée à la résolution de problèmes dans la progression des apprentissages (Ministère de l'Éducation, 2009). Malheureusement, la méthode du « ce que je sais et ce que je cherche » principalement utilisée en classe se révèle inefficace, surtout pour les élèves en difficulté. À cela s'ajoute un manque de ressources pour aider ces élèves à développer leur raisonnement mathématique et à mieux comprendre ce type de problèmes, notamment en respectant l'approche de la réponse à l'intervention (RÀI) (Mellard et al., 2009) adoptée par ma commission scolaire.

Afin de mieux m'outiller et de combler ce manque, j'ai commencé par lire et chercher des articles pouvant me permettre de mieux comprendre les concepts enjeu. C'est ainsi que je me suis familiarisée avec les travaux portant sur les modèles mentaux (Denis, 1982), les représentations graphiques (Polotskaia, 2017) et la métacognition (Focant et Grégoire, 2005; Houdement, 2011), la zone de développement proximale (Cheyne et Tarulli, 2005; Vygotsky, 1997/1926) et l'approche relationnelle (Polotskaia, 2017). Les modèles mentaux sont des représentations mentales et fonctionnelles de l'histoire mathématique qui peuvent aider les élèves à vérifier s'ils ont compris ou non le problème (Balleux et al., 2013). Les modèles mentaux facilitent également la création de représentations graphiques qui sont une représentation visuelle qui permet aux élèves de mieux voir les liens entre les données

(Polotskaia, 2017). La métacognition quant à elle, guide l'élève tout au long du processus l'amenant à trouver une solution, en commençant par la recherche du but (Focant et Grégoire, 2005; Houdement, 2011). Ces concepts ont guidé la conception du guide dans le respect d'une approche vygotskienne et d'une approche relationnelle. La ZDP, concept essentiel de l'approche vygotskienne, est l'espace entre le niveau actuel de connaissance de l'élève (ce qu'il peut réaliser seul) et le niveau le plus élevé que l'élève peut atteindre avec un soutien adéquat de l'enseignant (Cheyne et Tarulli, 2005; Vygotsky, 1997/1926). L'approche relationnelle, quant à elle, consiste en l'interprétation d'une situation (problème écrit) comme une relation entre des quantités afin d'ensuite déterminer l'opération à effectuer plutôt que de se baser uniquement sur les mots-clés (Davydov, 1982; Polotskaia, 2017). L'accent est donc mis sur les relations entre les quantités plutôt que sur les opérations.

Les cours de la concentration en orthopédagogie m'ont également été utiles dans la conception du matériel didactique que j'ai créé. En effet, bien que l'intervention orthopédagogique en mathématique a peu été abordée dans les cours de la concentration, plusieurs aspects du travail avec les élèves en difficulté ont été abordés dans mes cours et m'ont été utiles pour mon projet de recherche. Par exemple, les caractéristiques des élèves en difficulté et la différenciation pédagogique ont été abordées dans les cours et j'ai tenu compte de celles-ci dans la conception du matériel didactique que j'ai créé. De plus, le rôle de l'orthopédagogue qui a été vu dans un cours cadre bien avec ce que ce projet m'a amenée à faire : créer des interventions orthopédagogiques ciblées en mathématique et en ce qui concerne les stratégies métacognitives des élèves « visant le développement, l'actualisation et la consolidation des connaissances, des construits et des processus » (Brodeur et al., 2015, p. 18).

Grâce aux apprentissages réalisés par mes recherches et dans les cours, j'ai créé un matériel didactique ayant comme objectif d'aider les élèves en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Ce guide créé contient une partie théorique ainsi que plusieurs parties pratiques, telles que des activités pour chacun des concepts mentionnés, une séquence détaillée incorporant tous les concepts, des jeux de consolidation, des outils d'évaluation et des aide-mémoires. Dans le cadre d'une recherche-développement (Harvey et Loiselle, 2009; Paillé, 2007), ce guide a été évalué par trois expertes du milieu et a été mis à l'essai avec deux élèves de troisième année. Les résultats ont également été triangulés entre eux et, à la lumière de l'analyse des données, des modifications ont été apportées au guide. Les résultats démontrent que le guide a le potentiel d'aider les élèves en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples et les stratégies métacognitives sont l'élément le plus apprécié du guide. L'une des participantes se voit l'utiliser elle-même dans sa pratique et une autre des participantes suggère que le guide pourrait être utilisé dans des classes régulières, puisqu'elle considère que les interventions proposées permettent à l'ensemble des élèves de mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Ceci démontre la qualité du guide produit et son potentiel d'aider les élèves en difficulté, de même le degré d'atteinte de mon objectif.

Mon projet de recherche m'a également permis de faire de nombreux apprentissages et d'améliorer mes interventions en mathématique auprès de mes élèves. Par exemple, j'ai changé de paradigme en passant de l'approche opérationnelle à l'approche relationnelle. Je suis maintenant mieux outillée pour aider mes élèves à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Mes recherches et la création de la partie théorique du guide m'ont permis d'être mieux outillée d'un point de vue de mes connaissances. La création des parties plus pratiques du guide et la mise à l'essai m'ont permis d'améliorer mes compétences à cet égard. J'ai également amélioré mes compétences en ce qui concerne la communication scientifique par la rédaction de cet essai et d'un article paru dans la revue de l'association des orthopédagogues du Québec ainsi que la préparation d'une affiche pour le 88^{e} congrès de l'Acfas. Finalement, l'ensemble de mon parcours à la maitrise m'a permis de développer ma pensée critique, notamment en ce qui concerne la lecture d'articles scientifiques et le jugement que je porte à l'égard du matériel orthodidactique sur le marché.

Afin de poursuivre mon développement professionnel, je compte mettre à l'essai le matériel créé avec un plus grand nombre d'élèves dans ma pratique comme enseignante orthopédagogue. Ceci me permettra également de voir si, avec plus de temps, il est plus facile pour les élèves de s'approprier les représentations graphiques proposées et de développer leur autonomie dans la compréhension des problèmes mathématiques simples. Je considère également un partage plus large du matériel didactique créé en le publiant potentiellement.

Mon parcours à la maitrise m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances et d'améliorer mes interventions orthopédagogiques auprès des élèves avec lesquels j'ai le grand plaisir de travailler. Que ce soit une meilleure analyse et interprétation de leurs méprises en lecture ou en écriture, ou encore une meilleure compréhension de leurs difficultés à comprendre les problèmes mathématiques simples, les cours et le projet de recherche m'ont permis d'évoluer grandement comme enseignante orthopédagogue.

Références

Balleux, L., Goossens, C. et Lucas, F. (2013). *Mobiliser les opérations avec bon sens! : guide méthodologique et documents reproductibles* (2e éd.). Bruxelles, Belgique: De Boeck.

Brodeur, M., Poirier, L., Laplante, L., Boudreau, C., Makdissi, H., Blouin, P., . . . Moreau, A. C. (2015). *Référentiel de compétences pour une maitrise professionnelle en orthopédagogie.* Repéré à http://www.adoq.ca/sites/default/files/referentiel_ortho-m16.pdf

Cheyne, J. A. et Tarulli, D. (2005). Dialogue, difference and voice in the zone of proximal development. *Theory and Psychology, 9(2)*, 5-28, https://doi.org/10.1177/0959354399091001

Davydov, V. V. (1982). Psychological Characteristics of the Formation of Elementary Mathematical Operations in Children. Dans T. P. Carpenter, J. M. Moser et T. A. Romberg (dir.), *Addition and subtraction: Cognitive perspective.* (224-238). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Demonty, I., Fagnant, A. et Legong, M. (2013). *Résoudre des problèmes : pas de problèmes! guide méthodologique et documents reproductibles en ligne, 5-8 ans*. (2e éd.) Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Denis, M. (1982). Représentation imagée et résolution de problèmes. *Revue française de pédagogie, 60*(1), 19-29. https://doi.org/10.3406/rfp.1982.1748

Focant, J. (2003). Impact des capacités d'autorégulation en résolution de problèmes chez les enfants de 10 ans. Repéré à http://www.acelf.ca/c/revue/revuehtml/31-2/02-focant.html - h-3

Focant, J. et Grégoire, J. (2005). Les stratégies d'autorégulation cognitives : une aide à la résolution de problèmes arithmétiques. Dans M. Crahay (dir.), *Enseignement et apprentissage des mathématiques : que disent les recherches psychopédagogiques?* (p. 201-221). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Fortin, P. (2020). Comment aider les élèves en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. *L'orthopédagogie sous toutes ses facettes, 9*(1), 18-25.

Freiman, V. et Savard, A. (2014). Résolution de problèmes en mathématiques : un outil pour enseigner et un objet d'apprentissage. *Éducation et francophonie, 42*(2). https://doi.org/10.7202/1027902ar

Gamo, S., Nogry, S. et Sander, E. (2014). Apprendre à résoudre des problèmes en favorisant la construction d'une représentation alternative chez des élèves scolarisés en éducation prioritaire. *Psychologie Française, 59*(3), 216-229. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2014.02.002

Goupil, G. (2007). *Les élèves en difficulté d'adaptation et d'apprentissage*. (3e éd.). Montréal, QC : Gaëtan Morin Éditeur.

Harvey, S. (2007). *Développement d'un logiciel-outil formatif pour les personnes bénévoles et d'un modèle proposant des principes adaptés à ce contexte.* (Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC). Repéré à https://archipel.uqam.ca/712/1/D1611.pdf

Harvey, S. et Loiselle, J. (2009). Proposition d'un modèle de recherche développement. *Recherches Qualitatives, 28*(2), 95-117. Repéré à http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero28(2)/harvey(28)2.pdf

Houdement, C. (2011). Connaissances cachées en résolution de problèmes arithmétiques ordinaires à l'école. *Annales de didactique et de sciences cognitives, 16*, 67-96. Repéré à http://numerisation.univ-irem.fr/ST/IST11005/IST11005.pdf

Jeannotte, D. (2015a, 2015, mai). *Proposition d'un modèle de raisonnement mathématique pour l'apprentissage au primaire et au secondaire dans une perspective commognitive*. Communication présentée Regards sur le travail de l'enseignant de mathématiques, Sherbrooke. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/305601722_Proposition_d%27un_modele_de_raisonnement_mathematique_pour_l%27apprentissage_au_primaire_et_au_secondaire_dans_une_perspective_commognitive

Jeannotte, D. (2015b). *Raisonnement mathématique : proposition d'un modèle conceptuel pour l'apprentissage et l'enseignement au primaire et au secondaire.* (Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC). Repéré à https://www.researchgate.net/publication/305601008_Le_raisonnement_mathematique_proposition_d%27un_modele_conceptuel_pour_l%27enseignement_et_l%27apprentissage_au_primaire_et_au_secondaire_These_de_doctorat_non_publiee_Universite_du_Quebec_a_Montreal

Laflamme, J. (2009). La lecture en situation de résolution de problèmes mathématiques. *Association Mathématique du Québec, 49*(1), 46-64. Repéré à https://pdfs.semanticscholar.org/1555/9cebe06d14c428e2cbbba44f33f78c079a62.pdf

Laplante, L. (2011). L'évaluation diagnostique des difficultés d'apprentissage de la lecture. Dans M. J. Berger & A. Desrochers (dir.), *L'évaluation de la littératie* (p. 139-174). Ottawa, ON : Les Presses de l'Université d'Ottawa.

Leclercq, D. et Poumay, M. (2003). La métacognition Dans D. Leclercq et B. Denis (dir.), *Méthodes de formation et théories de l'apprentissage*. (ch. 7). Liège, Belgique: Éditions de l'université de Liège.

Legendre, R. (2005). Socioconstructivisme. Dans *Dictionnaire actuel de l'éducation*. (3^{e} éd.). Montréal, QC: Guérin.

Mellard, D. F., McKnight, M. et Woods, K. (2009). Response to Intervention Screening and Progress-Monitoring Practices in 41 Local Schools. *Learning Disabilities Reserch & Practice, 24*(4), 186-195. Repéré à https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1540-5826.2009.00292.x

Mighton, J. (2007). *The End of Ignorance : Multiplying Our Human Potential*. Toronto, ON : Alfred A. Knopf Canada.

Ministère de l'Éducation de l'Ontario (2011). *L'art de questionner de façon efficace*. Ontario : Gouvernement de l'Ontario.

Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport. (2009). *Progression des apprentissages au primaire : mathématique*. Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PDA_PFEQ_mathematique-primaire_2009.pdf

Ministère de l'Éducation du Québec (2006). *Programme de formation de l'école québécoise*. Québec. Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/formation_jeunes/prform2001.pdf

Morin, É. (2011). *La construction des relations sémantiques en résolution de problèmes mathématiques au deuxième cycle du primaire.* (Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, QC). Repéré à https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/22428

Myre Bisaillon, J. et Rousseau, N. (2008). *Les jeunes en grande difficulté : contextes d'interventions favorables*. Québec, QC : Presses de l'Université du Québec.

Paillé, P. (2007). La méthodologie de recherche dans un contexte de recherche professionnalisante : douze devis méthodologiques exemplaires. *Recherches Qualitatives, 27*(2), 133-151. Repéré à http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero27(2)/paille27(2).pdf

Paour, J.-L., Bailleux, C. et Perret, P. (2009). Pour une pratique constructiviste de la remédiation cognitive. *Développements, 3*(3). https://doi.org/10.3917/devel.003.0005

Polotskaia, E. (2010). Des représentations graphiques dans l'enseignement des mathématiques, deux jeux pour apprendre. *Association Mathématique du Québec, 1*(1), 12-28. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/235324329_Des_representations_graphiques_dans_l%27enseignement_des_mathematiques_Deux_jeux_pour_apprendre

Polotskaia, E. (2017). How the Relational Paradigm Can Transform the Teaching and Learning of Mathematics: Experiment in Quebec. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning, 18*(2), 161-180. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/318393656_How_the_Relational_Paradigm_Can_Transform_the_Teaching_and_Learning_of_Mathematics_Experiment_in_Quebec

Polotskaia, E., Freiman, V. et Savard, A. (2018, juin). *Multiplicative Relationships and their visual representations.* Affiche présentée au Groupe d'études en didactique des mathématique. Antigonish, NÉ. Repéré à https://elenapolotskaia.com/presentations/

Polotskaia, E., Gervais, C. et Savard, A. (2019). *Représenter pour mieux raisonner : résolution de problèmes écrits d'addition et de soustraction*. Montréal, QC : JFD.

Polotskaia, E., Savard, A. et Fellus, O. (2019). *Teaching and learning multiplicative relationships : Action research in elementary school.* Communication présentée Technology and Psychology for Mathematics Education, Moscou, Russie.

Polotskaia, E., Savard, A. et Freiman, V. (2015). Investigating a case of hidden misinterpretations of an additive word problem: structural substitution. *European Journal of Psychology of Education, 31*(2), 135-153. https://doi.org/10.1007/s10212-015-0257-6

Radford, L. (1996). La résolution de problèmes : comprendre puis résoudre. *Association Mathématique du Québec, 36*(3), 19-30. Repéré à https://www.amq.math.ca/bulletin/articles/vol-36-no-3-part-6/

Raynal, F. et Rieunier, A. (2014). *Pédagogie, dictionnaire des concepts clés : apprentissage, formation, psychologie cognitive*. (10e éd.). Issy-les-Moulineaux, France: Ed. Sociales Françaises.

Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (2014). *Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains*. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada. Repéré à http://www.ger.ethique.gc.ca/pdf/fra/eptc2-2014/EPTC_2_FINALE_Web.pdf

Rhéaume, S. et Oliveira, I. (2015, mai). *« Je me suis vérifié… j'ai relu la question pi j'ai re-regardé ma réponse » : illustrations de mises entre parenthèses du sens lors de la vérification*. Communication présentée au colloque du Groupe de didactique des mathématiques du Québec, Sherbrooke, QC. Repéré à https://periscope-r.quebec/fr/work/2711

Sauvé, L., Renaud, L. et Gauvin, M. (2007). Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation, 33*(1), 89-107. Repéré à https://www.erudit.org/fr/revues/rse/2007-v33-n1-rse1732/016190ar/

Savard, A. et Polotskaia, E. (2014). Gérer l'accès aux mathématiques dans la résolution de problèmes textuels : une exploration du côté de l'enseignement primaire. *Éducation et francophonie, 42*(2), 138-157. https://doi.org/10.7202/1027910ar

Sousa, D. A. (2006). *Un cerveau pour apprendre différemment*. Montréal, QC : Chenelière éducation.

Stott, D. (2016). Making Sense of the ZPD: An Organising Framework for Mathematics Education Research. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education, 20*(1), 25-34. https://doi.org/10.1080/10288457.2016.1148950

Theis, L., Assude, T., Tambone, J., Morin, M.-P., Koudogbo, J. et Marchand, P. (2014). Quelles fonctions potentielles d'un dispositif d'aide pour soutenir la résolution d'une situation-problème mathématique chez des élèves en difficulté du primaire? *Éducation et francophonie, 42*(2). https://doi.org/10.7202/1027911ar

Thevenot, C. (2010). Arithmetic word problem solving : Evidence for the construction of a mental model. *Acta psychologica, 133*(1), 90-95. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.10.004

van Garderen, D. (2006). Spatial Visualization, Visual Imagery, and Mathematical Problem Solving of Students with Varying Abilities. *Journal of Learning Disabilities, 39*(6), 496-506. https://doi.org/10.1177/00222194060390060201

Verschaffel, L. et De Corte, E. (2005). La modélisation et la résolution des problèmes d'application : de l'analyse à l'utilisation efficace. Dans M. Crahay (dir.), *Enseignement et apprentissage des mathématiques : Que disent les recherches psychopédagogiques?* (p. 153-176). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Vygotsky, L. S. (1997/1926). *Educational Psychology*. Boca Raton, FL: St. Lucie Press.

Whiteley, T. R. (2006). Using The Socratic Method and Bloom's Taxonomy of the Cognitive Domain to Enhance Online Discussion, Critical Thinking, and Student Learning. *Developments in Business Simulation and Experiential Learning, 33*(1), 65-70. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/228643882_Using_the_Socratic_method_and_Bloom%27s_taxonomy_of_the_cognitive_domain_to_enhance_online_discussion_critical_thinking_and_student_learning

Appendice A Démarche d'intervention graduée de la Commission scolaire des Portages-de-l'Outaouais (CSPO)

Commission scolaire des Portages-de-l'Outaouais

Préscolaire, primaire et secondaire
Démarche de prévention et d'intervention graduée auprès des élèves

LE PLAN D'INTERVENTION

Il devrait y avoir élaboration d'un plan d'intervention, lorsque l'une ou l'ensemble des situations suivantes se présentent :

- **La situation complexe d'un élève nécessite la mobilisation accrue et concertée** de l'élève, de son ou ses enseignants, de ses parents, de la direction et, lorsque c'est nécessaire, d'autres acteurs de l'école ou d'autres organismes afin de trouver ensemble des solutions aux difficultés rencontrées et de permettre à l'élève de progresser.
- **La situation d'un élève nécessite la mise en place de ressources spécialisées** ou encore, **d'adaptations diverses** (stratégies d'enseignement, matériel scolaire adapté, ressources spécifiques, etc.), en plus des actions habituellement entreprises par l'enseignant, en collaboration avec l'équipe-cycle, pour adapter ses interventions aux besoins de l'élève.
- **La situation d'un élève nécessite des prises de décisions qui auront des incidences sur son parcours scolaire**, notamment une décision liée à l'adaptation de l'évaluation, à une dérogation au Régime pédagogique ou encore, à une orientation particulière au regard de son cheminement scolaire ou de son classement.

Cadre de référence pour l'établissement des plans d'intervention, MEQ, 2004, p.22

La prévention et l'intervention rapide, et ce, dès le préscolaire, sont l'affaire de toutes les intervenantes et tous les intervenants et sont essentielles pour assurer la réussite scolaire. Entente intervenue entre le CPNCF et FAE, 2015-2020, article 8-9.01[1]

1ER PALIER
INTERVENTION UNIVERSELLE

La gestion des apprentissages et la gestion des comportements demeurent essentielles à la réussite de tous les élèves. L'intervention universelle s'adresse à l'ensemble des élèves. L'enseignant et l'équipe-école doivent s'attendre à ce que la majorité des élèves (environ **80 %**, selon les recherches) progressent de façon satisfaisante lorsque les interventions universelles sont efficaces.

L'enseignant et l'équipe-école peuvent agir de différentes façons lors de l'intervention universelle. Il revient à l'enseignant de choisir la démarche appropriée pour la préparation et la présentation de ses cours dans les limites des programmes autorisés. art. 8-1.05[1]

Suggestions de pratiques efficaces et probantes aux niveaux pédagogique et comportemental :

- Varier les approches pédagogiques et les stratégies d'intervention, puis réguler leur efficacité;
  - Enseignement explicite;
  - Enseignement stratégique;
  - Enseignement réciproque.
- Donner de la rétroaction fréquente aux élèves;
- Utiliser les approches diversifiées et stimulantes;
- Faire preuve de flexibilité pédagogique;
- Recueillir et consigner des mesures de progression de l'élève ainsi que des notes évolutives;
- Impliquer l'élève pour élaborer des stratégies pouvant répondre à ses besoins;
- Préciser les attentes aux élèves, expliciter les critères d'évaluation aux élèves et les rendre disponibles aux parents;
- Offrir des temps d'enseignement supplémentaires : selon les besoins, à tout le groupe, en sous-groupe;
- Choisir des dispositifs de formation et d'accompagnement continus. *Conforme à l'article 7-1.01*[1]

VOLET PÉDAGOGIQUE ET COMPORTEMENTAL

Gestion des apprentissages, selon l'intention pédagogique

- En lien avec les cadres de référence du MEES (Programme de formation de l'école québécoise, progressions des apprentissages, critères d'évaluation);
- Par des approches pédagogiques efficaces et probantes;
- À l'aide d'une planification globale de l'enseignement (pour toutes les disciplines);
- En utilisant des outils et du matériel didactique appropriés et variés;
- En mettant en place des modèles de gestion du travail et des activités d'enseignement;
- En respectant la zone proximale de développement et les besoins de l'élève;
- En s'assurant de faire preuve de différenciation pédagogique (flexibilité, adaptation et modification), MEES 2014, *Document d'information, Précision sur la flexibilité pédagogique, les mesures d'adaptation et les modifications pour les élèves ayant des besoins particuliers;*
- En utilisant les fonctions de l'évaluation comme aide à l'apprentissage et reconnaissance des compétences.

Gestion des comportements

- Valoriser et enseigner des habiletés sociales qui répondent aux besoins des élèves, en classe et à l'école;
- Enseigner de façon explicite les routines, les méthodes de travail et les comportements attendus aux élèves et en informer les parents;
- Assurer l'encadrement des élèves par la cohérence et la constance dans l'application des règles de classe et du code de vie par l'ensemble du personnel;
- Planifier et rédiger un plan de lutte pour contrer l'intimidation et la violence;
- Établir un plan de surveillance dans les espaces communs (cour, casiers, cafétéria, corridors, …);
- Établir un protocole d'intervention en situation de crise pour l'école.

EXEMPLES D'APPLICATION

Organisation de la classe

- Gestion de l'espace (disposition du mobilier selon le profil des élèves et/ou les modalités de travail);
- Gestion du temps (instaurer des routines, des procédures);
- Planification de temps d'enseignement explicite en grand groupe et/ou en sous-groupe;
- Gestion du matériel :
  - Accessible aux élèves;
  - Riche, varié, en quantité suffisante et spécifique à chaque discipline;
  - Exemples :
    - Livres, albums, magazines et journaux de différents niveaux de difficulté pour pratiquer la lecture et l'écriture;
    - Matériel de manipulation (cubes emboîtables, blocs mosaïques, jetons, réglettes, etc.);
    - Documents et sites de référence;
    - Trousse scientifique;
    - Organisateur graphique;
    - Cartes géographiques, ligne du temps.

Aménagement pédagogique

- Offrir un environnement pédagotechnologique;
- Faire vivre des activités d'apprentissage signifiantes pour les élèves représentant un défi à leur mesure;
- Établir le portrait de la classe, à l'aide d'outils pertinents, afin de planifier le contenu et les interventions pédagogiques;
- Instaurer une structure de classe variée (les ateliers, le plan de travail, les 5 au quotidien, le 30/30…);
- Mettre des référentiels à la disposition des élèves (affiches, coffre à outils…).

Relations positives

- Instaurer un climat scolaire bienveillant et positif;
- Instaurer un système d'émulation permettant la valorisation (du rendement, de l'effort, de la réussite, du progrès, de l'assiduité, …);
- Développer le sentiment d'appartenance (activités parascolaires, équipes sportives, comité de vie étudiante…);
- Établir une communication, des relations positives et harmonieuses avec les élèves et les parents;
- Développer un contexte de relations positives entre les élèves;
- Partager les réussites et les actions entreprises avec l'élève, les intervenants et les parents;
- Planifier des ateliers sur les habiletés sociales.

2e PALIER
INTERVENTION SUPPLÉMENTAIRE ET CIBLÉE

L'intervention supplémentaire et ciblée s'ajoute à celle du 1er palier. Elle s'adresse aux élèves qui résistent à l'intervention universelle efficace. On devrait y retrouver une faible proportion d'une classe (environs **20 %** des élèves d'une classe, selon les recherches).

L'intervention supplémentaire et ciblée doit se faire idéalement en salle de classe. ***La collaboration avec d'autres intervenants peut être nécessaire.*** *Les besoins et les capacités de l'élève doivent être identifiés selon des mesures de progression et/ou des notes évolutives.*

VOLET PÉDAGOGIQUE

Attributs essentiels d'un 2e palier d'intervention
Intensification de l'intervention

- Référence aux apprentissages fondamentaux de chacun des cycles d'apprentissage;
- Diminution du nombre d'élèves;
- Augmentation du temps d'intervention en minutes par rencontre;
- Augmentation du nombre de rencontres par semaine;
- Prolongement de la période d'intervention;
- Augmentation des interactions;
- Enseignement explicite ciblé;
- Évaluation de la réponse à l'intervention par des prises de mesure de progression de façon systématique et réajustement au besoin;
- Consultation des autres intervenants et partenaires (parents, psychologues, enseignant(e)s-ressources, orthophonistes, orthopédagogues, enseignant(e)s-orthopédagogue, conseillères pédagogiques, CISSS de l'Outaouais…).

EXEMPLES D'APPLICATION

Pour le préscolaire, 1er et 2e cycle du primaire
- *Offrir des temps de récupération, art. 8-6.00 b)*[1] *auprès de d'autres élèves que les siens, art. 8-7.12*[1]
- Intervenir sur les apprentissages fondamentaux (conscience phonologique au préscolaire, identification de mots et orthographe au 1er cycle du primaire);
- Enseigner de façon intensive et explicite, selon les conditions suivantes :
  - sous-groupe d'élèves (2 à 4 élèves) ayant des besoins semblables;
  - période de temps déterminée selon les mesures de progression de l'élève;
  - selon les besoins de l'élève et dès qu'il y a résistance à l'enseignement universel;
  - minimum 3 fois par semaine;
  - 20 à 30 minutes à la fois;
  - un minimum de 5 sollicitations par élève par rencontre;
  - cueillette d'informations sur la réponse à l'intervention à chaque sollicitation.

Référence : Pratiques éducatives préventives (PEP), Lefebvre, P., 2010

Pour le 3e cycle du primaire et le secondaire
- *Offrir des temps de récupération, art. 8-6.00 b)*[1]
- Intervenir sur les apprentissages fondamentaux, un domaine ou une notion;
- Enseigner de façon intensive et explicite, selon les conditions suivantes :
  - sous-groupe d'élèves (2 à 5 élèves) ayant des besoins semblables;
  - période de temps déterminée selon les mesures de progression de l'élève;
  - 3 à 5 fois par semaine;
  - 20 à 40 minutes à la fois;
  - un minimum de 5 sollicitations par élève par rencontre;
  - évaluation de la réponse à l'intervention par un suivi fréquent des progrès des élèves.

Référence : Référentiel d'intervention en lecture pour les élèves de 10 à 15 ans, MELS, 2012

VOLET COMPORTEMENTAL

- **Planification des interventions personnalisées**
  - Analyse fonctionnelle du comportement :
    - Analyser la source du comportement problématique (facteurs individuels, sociaux, familiaux et scolaires).
  - Évaluation de la réponse à l'intervention par des observations systématiques et réajustement au besoin.
  - Planification de l'intervention
    - Consulter les autres intervenants et les partenaires impliqués (parents, TES, psychologues, équipe-conseil, CISSS de l'Outaouais…);
    - Assurer la concertation des intervenants;
    - Fixer des objectifs observables, mesurables et compris par l'élève;
    - Prévoir l'organisation du milieu;
    - Utiliser divers outils et stratégies.

EXEMPLES D'APPLICATION

- Enseigner les comportements de façon explicite;
- Enseigner des habiletés sociales en sous-groupe ou en individuel;
- Personnaliser le système d'émulation;
- Renforcer les bons coups;
- Faire vivre des conséquences logiques;
- Établir un contrat comportemental;
- Définir une feuille de suivi.

3E PALIER
INTERVENTION SPÉCIALISÉE ET INTENSIVE

L'intervention spécialisée et intensive s'adresse aux élèves qui ont des difficultés persistantes et qui résistent à l'intervention du 2e palier. Ce type d'intervention demande une concertation de tous les partenaires concernés par l'élève. On ne devrait pas y retrouver plus de **5 %** des élèves d'une classe, selon les recherches. Il s'agit de mesures exceptionnelles qui visent la progression et la réussite de l'élève. **Ces interventions s'ajoutent à celles des deux premiers paliers selon l'organisation des services disponibles.** *Les services d'appuis pouvant être fournis doivent se situer à l'intérieur des ressources (allouées et mobilisables) déterminées par la commission. art. 8-9.03 c) 3*[1]

L'intervention intensive doit se faire par des intervenants spécialisés déterminés par le comité d'intervention. Ces interventions sont offertes en individuel ou pour un petit groupe d'élèves.

VOLETS PÉDAGOGIQUE ET COMPORTEMENTAL

- Les évaluations standardisées sont réalisées par des intervenants spécialisés afin de déterminer la nature des difficultés, de faire des recommandations et de suggérer des interventions à mettre en place;
- Les interventions sont réalisées en fonction de la résistance et des caractéristiques de l'élève;
- Les interventions sont rééducatives tant au niveau des apprentissages que du comportement;
- Les enseignements et les interventions sont personnalisés, ciblés, menés par des intervenants spécialisés (enseignant(e)-orthopédagogue, orthopédagogue, TES, …) et inspirés d'approches cliniques;
- Le comité d'intervention élabore la fiche d'escalade de crise afin d'intervenir de façon constante et préventive;
- L'intervention du 3e palier n'est pas une répétition de l'intervention du 2e palier en individuel.

[1] *Entente intervenue entre le CPNCF et FAE, 2015-2020*

Inspiré de : MEES (1992 à 2016), Archambault, J. et Fortin, L. (2001), Bissonnette, S. (2012), Fuchs, L. S. et Mellard, D. (2007), Goupil, G., Corneau, M. et Michaud, P. (1994), Lefebvre, P. (2010), Mellard, D. (2004), Small, M. (2009), Vaughn, S. Wanzek, J., & Fletcher, J.M. (2007).

Service des ressources éducatives de la commission scolaire des Portages-de-l'Outaouais en collaboration avec les Services régionaux de soutien et d'expertise — Mise à jour : 25 octobre 2016

Appendice B Formulaires de consentement

Formulaire pour les participantes expertes

Case postale 1250, succursale HULL, Gatineau (Québec) J8X 3X7

Formulaire de consentement

La création d'un matériel didactique pour aider les élèves en difficulté au 2e cycle du primaire à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples.

Pascale Fortin – Département des sciences de l'éducation – Dirigé par Elena Polotskaia

Par la présente, je sollicite votre participation au projet de recherche en titre. Ce projet s'inscrit dans mon parcours à la maitrise en éducation, concentration orthopédagogie, MEd et n'est pas subventionné. L'objectif est d'apprendre comment incorporer les connaissances apportées par les travaux sur la zone de développement proximal, les modèles mentaux, les représentations graphiques et la métacognition dans la création d'un matériel didactique visant à aider les élèves du deuxième cycle du primaire en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples et pouvant être utilisé dans le cadre de ma pratique comme enseignante orthopédagogue. Le matériel didactique conçu sur des bases théoriques fera d'abord l'objet d'une rétroaction par des experts (professeurs universitaires en mathématique et/ou conseiller pédagogique en mathématique et/ou autre orthopédagogue) avant la phase de mise à l'essai avec un groupe de 3 ou 4 élèves du 2^{e} cycle du primaire.

Votre participation à ce projet de recherche consiste à prendre connaissance du matériel didactique conçu ainsi qu'une grille de critères et de participer à une entrevue semi-dirigée dans laquelle vous me donnerez une rétroaction par rapport au respect des critères du matériel conçu tout en me donnant votre opinion par rapport au potentiel d'aider les élèves à développer leur raisonnement mathématique. Je vous acheminerai les documents selon la modalité de votre choix et vous disposerez d'environ deux mois pour en prendre connaissance avant de participer à une entrevue semi-dirigée individuelle qui pourra se faire en personne à l'endroit de votre choix ou par téléphone. Je vous donnerai les documents une première fois en septembre 2019 et l'entrevue se fera en novembre 2019. Une deuxième demande pourra être faite de janvier à mars 2020, au besoin. Les entrevues semi-dirigées seront enregistrées (audio seulement) aux fins d'analyse.

La confidentialité des données recueillies dans le cadre de ce projet de recherche sera assurée conformément aux lois et règlements applicables dans la province de Québec et aux règlements et politiques de l'Université du Québec en Outaouais*. Si vous le souhaitez, tant les données recueillies que les résultats de la recherche ne pourront en aucun cas mener à votre identification. Dans ce cas, un pseudonyme sera utilisé dans mon rapport de recherche afin de préserver votre anonymat.

Les résultats de cette recherche seront diffusés dans mon rapport de recherche qui sera lu par un comité d'évaluation formé de trois professeurs de l'UQO. Les données recueillies seront conservées électroniquement de façon protégée ***pendant cinq (5)*** ans et la seule autre personne qui y aura accès est ma tutrice de recherche, Elena Polotskaia. Elles seront détruites ***après cette période.*** Ce projet de recherche a reçu l'approbation du Comité éthique de la recherche de l'UQO.

*Notamment à des fins de contrôle, et de vérification, vos données de recherche pourraient être consultées par le personnel autorisé de l'UQO, conformément au *Règlement relatif à l'utilisation des ressources informatiques et des télécommunications.*

Votre participation à ce projet de recherche se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non, et de vous retirer en tout temps sans préjudice. Les risques associés à votre participation sont minimaux, c'est-à-dire qu'il ne vous amène pas à vivre un risque supplémentaire à ce à quoi vous êtes normalement exposé en l'absence de ce projet de recherche. La contribution à l'avancement des connaissances au sujet de l'enseignement des mathématiques est le bénéfice direct anticipé. Aucune compensation d'ordre monétaire n'est accordée. Cependant, le matériel didactique conçu, en sa version finale, vous sera donné en guise de remerciement.

Si vous avez des questions concernant ce projet de recherche, veuillez communiquer avec moi, Pascale Fortin, étudiante à la maitrise, à l'adresse courriel suivante : forp10@uqo.ca. Si vous avez des questions concernant les aspects éthiques de ce projet, veuillez communiquer avec monsieur André Durivage, président du Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec en Outaouais, à l'adresse courriel suivante : Andre.Durivage@uqo.ca.

Votre signature atteste que vous avez clairement compris les renseignements concernant votre participation au projet de recherche et indique que vous acceptez d'y participer. Elle ne signifie pas que vous acceptez d'aliéner vos droits et de libérer les chercheurs ou les responsables de leurs responsabilités juridiques ou professionnelles. Vous êtes libre de vous retirer en tout temps du projet de recherche sans préjudice. Votre participation devant être aussi éclairée que votre décision initiale de participer au projet, vous devez en connaître tous les tenants et aboutissants au cours du déroulement du projet de recherche. En conséquence, vous ne devrez jamais hésiter à demander des éclaircissements ou de nouveaux renseignements au cours du projet.

Après avoir pris connaissance des renseignements concernant ma participation à ce projet de recherche, j'appose ma signature signifiant que j'accepte librement d'y participer. Le formulaire est signé en deux exemplaires et j'en conserve une copie.

Consentement à participer au projet de recherche :

Nom du ***participant expert*** : ____________________

Date : __________________________

Signature du ***participant expert*** : __________________

Nom du chercheur : ___________________________

Date : __________________________

Signature du chercheur : ___________

Formulaire pour les parents des élèves participants

Case postale 1250, succursale HULL, Gatineau (Québec) J8X 3X7

Formulaire de consentement

La création d'un matériel didactique pour aider les élèves en difficulté au 2e cycle du primaire à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples.

Pascale Fortin – Département des sciences de l'éducation – Dirigé par Elena Polotskaia

Par la présente, je sollicite la participation de votre enfant au projet de recherche en titre. Ce projet s'inscrit dans mon parcours à la maitrise en éducation, concentration orthopédagogie, MEd et n'est pas subventionné. ***À la fin du processus de recherche, un matériel didactique visant à aider les élèves du deuxième cycle du primaire en difficulté à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples sera créé. Ce matériel pourra être utilisé dans le cadre de ma pratique comme enseignante orthopédagogue.*** Le matériel didactique conçu sur des bases théoriques fera d'abord l'objet d'une rétroaction par des experts (professeurs universitaires en mathématique et/ou conseiller pédagogique en mathématique et/ou autre orthopédagogue) avant la phase de mise à l'essai avec un groupe de 3 ou 4 élèves du 2e cycle du primaire, ***dont ferait partie votre enfant.***

La participation de votre enfant à ce projet consiste à assister aux séances d'orthopédagogie axées sur le développement du raisonnement mathématique, durant lesquelles sera mis à l'essai le matériel didactique conçu. Ces séances seront enregistrées (audio seulement) et auront lieu du 25 mars au 17 mai 2019, à raison d'environ deux fois par semaine, dans le local d'orthopédagogie de l'école et quelques fois (environ deux fois au total) dans la classe de votre enfant afin d'assurer le transfert de ses apprentissages en classe. Lors de cette phase de mise à l'essai, je tiendrai un journal de bord de mes observations visant à améliorer le matériel didactique. Par exemple, je noterai les difficultés rencontrées par les élèves, les moyens les ayant aidés à surmonter leurs difficultés et toutes autres observations pertinentes. ***Au début de la mise à l'essai, j'informerai les élèves du projet de recherche et je les remercierai de leur participation. Plus précisément, j'expliquerai que je serai à la fin d'un processus de création de matériel pour mieux intervenir auprès des élèves ayant des difficultés en mathématiques.***

La confidentialité des données recueillies dans le cadre de ce projet de recherche sera assurée conformément aux lois et règlements applicables dans la province de Québec et aux règlements et politiques de l'Université du Québec en Outaouais*. Tant les données recueillies que les résultats de la recherche ne pourront en aucun cas mener à l'identification de votre enfant. Un pseudonyme sera utilisé dans le journal de bord ainsi que dans mon rapport de recherche afin de préserver l'anonymat de votre enfant. Seulement son enseignante et les autres élèves du sous-groupe auront la connaissance de la participation de votre enfant à ce projet de recherche.

Les résultats de cette recherche seront diffusés dans mon rapport de recherche qui sera lu par un comité d'évaluation formé de trois professeurs de l'UQO. Les données recueillies seront conservées électroniquement de façon protégée ***pendant cinq (5)*** ans et la seule autre personne qui y aura accès est ma tutrice de recherche, Elena Polotskaia. Elles seront détruites ***après cette période.*** Ce projet de recherche a reçu l'approbation du Comité éthique de la recherche de l'UQO.

*Notamment à des fins de contrôle, et de vérification, vos données de recherche pourraient être consultées par le personnel autorisé de l'UQO, conformément au *Règlement relatif à l'utilisation des ressources informatiques et des télécommunications.*

La participation de votre enfant à ce projet de recherche se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de décider à ce qu'il participe ou non, et de le retirer en tout temps sans préjudice. Les risques associés à votre participation sont minimaux, c'est-à-dire qu'il n'amène pas votre enfant à vivre un risque supplémentaire à ce à quoi il serait exposé en l'absence de ce projet de recherche. La contribution à l'avancement des connaissances au sujet de l'enseignement des mathématiques est le bénéfice direct anticipé. De plus, votre enfant bénéficiera d'un bloc d'interventions orthopédagogiques visant à l'aider à développer son raisonnement mathématique et un matériel conçu selon des bases théoriques et ayant déjà fait l'objet d'une rétroaction par des experts sera utilisé. Aucune compensation d'ordre monétaire n'est accordée.

Si vous avez des questions concernant ce projet de recherche, veuillez communiquer avec moi, Pascale Fortin, étudiante à la maitrise et enseignante orthopédagogue à l'école de votre enfant à l'adresse courriel suivante : forp10@uqo.ca. Si vous avez des questions concernant les aspects éthiques de ce projet, veuillez communiquer avec monsieur André Durivage, président du Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec en Outaouais, à l'adresse courriel suivante : Andre.Durivage@uqo.ca.

Votre signature atteste que vous avez clairement compris les renseignements concernant la participation de votre enfant au projet de recherche et indique que vous acceptez qu'il y participe. Elle ne signifie pas que vous acceptez d'aliéner vos droits et de libérer les chercheurs ou les responsables de leurs responsabilités juridiques ou professionnelles. Vous êtes libre de retirer votre enfant en tout temps du projet de recherche sans préjudice. Sa participation devant être aussi éclairée que votre décision initiale de sa participation au projet, vous devez en connaître tous les tenants et aboutissants au cours du déroulement du projet de recherche. En conséquence, vous ne devrez jamais hésiter à demander des éclaircissements ou de nouveaux renseignements au cours du projet.

Après avoir pris connaissance des renseignements concernant la participation de mon enfant à ce projet de recherche, j'appose ma signature signifiant que j'accepte librement qu'il y participe. Le formulaire est signé en deux exemplaires et j'en conserve une copie.

Consentement à participer au projet de recherche :

Nom de l'élève : ______________________________

Nom du parent : ______________________________

Signature du parent : ___________________________

Date : __________________________

Nom du chercheur : ___________________________

Signature du chercheur : ________________________

Date : __________________________

Appendice C Grille d'analyse du matériel didactique

Grille d'évaluation du matériel didactique

Les caractéristiques des élèves en difficulté

Le matériel didactique doit :

- prévoir une façon de palier la mémoire de travail fragile des élèves concernés.
- aider les élèves à organiser l'information nouvellement apprise.
- aider les élèves à planifier les étapes à réaliser lors de la résolution d'un problème mathématique simple.
- guider les élèves dans leur raisonnement logique pour faciliter la résolution de problèmes mathématiques simple et viser graduellement leur autonomie.
- permettre aux élèves de développer leurs stratégies métacognitives.
- redonner le goût de résoudre des problèmes mathématiques.

La théorie de la zone de développement proximal de Vygotsky

Le matériel didactique doit :

- fournir des pistes à l'enseignante-orthopédagogue pour faire cheminer les élèves dans leur zone de développement proximal.

Les modèles mentaux

Le matériel didactique doit :

- amener les élèves à développer leur habileté à créer des modèles mentaux fonctionnels dans le but de mieux comprendre les problèmes mathématiques proposés.
- fournir des pistes à l'enseignante-orthopédagogue pour amener les élèves à développer cette habileté.

Les représentations graphiques

Le matériel didactique doit :

- amener les élèves à développer leur habileté à créer des représentations graphiques fonctionnels dans le but de mieux comprendre les problèmes mathématiques proposés.
- fournir des pistes à l'enseignante-orthopédagogue pour amener les élèves à développer cette habileté.

La métacognition

Le matériel didactique doit :

- amener les élèves à développer leurs stratégies métacognitives dans le but de mieux comprendre et résoudre les problèmes mathématiques proposés.
- fournir des pistes à l'enseignante-orthopédagogue pour amener les élèves à développer ces stratégies.

Appendice D Questionnaire pour l'entrevue semi-dirigée

1. En quelle mesure le matériel didactique répond-il aux critères de la grille d'analyse de la recherche par catégorie de critères? (Un peu, moyennement, tout à fait pour chacun des critères).

2. Quelle est votre appréciation du matériel didactique?
a. Les leçons conviennent-elles aux élèves en difficulté du deuxième cycle du primaire?
b. Est-ce que chacune des activités est bien structurée?
c. Est-ce que les activités permettent une bonne progression des élèves?

3. Quelles modifications apporteriez-vous au matériel didactique et pourquoi?

4. Croyez-vous que l'utilisation du matériel didactique en contexte orthopédagogique aiderait les élèves en difficulté à développer leur habilité à comprendre les problèmes mathématiques simples et leur compétence à raisonner à l'aide de concepts mathématiques?

5. Connaissez-vous d'autre matériel didactique pertinent pour aider les élèves à développer leur raisonnement mathématique en résolution de problèmes mathématiques?

6. Avez-vous d'autre commentaires ou suggestions à apporter?

Merci beaucoup pour votre rétroaction et vos suggestions.
Pascale Fortin

Appendice E Grilles d'analyse

Ce document consiste de notes de travail des entrevues de la première rétroaction des expertes. Il ne s'agit pas d'un verbatim des entrevues. Les propos des participantes ont été paraphrasés. La structure des phrases n'est pas toujours respectée, mais le sens des propos a été gardé.

Analyse des entrevues

	Catégorie	Participante 1 – CP adaptation	Participante 2 – CP math	Participante 3 – orthopédagogue	Commentaires
Catégories en lien avec les caractéristiques des élèves en difficulté	Mémoire de travail Les élèves en difficulté ont des difficultés concernant la mémoire de travail (Gamo et al., 2014; Goupil, 2007).	« Tout à fait »	Visuel pour travailler la mémoire de travail (diagrammes range-tout). « C'est facile et ça permet de voir ». Donne un visuel pour quand on dit à l'élève « Penses-y! ». Le visuel est très important.		Les difficultés concernant la mémoire de travail des élèves en difficulté sont bien considérées dans l'outil selon les participantes.
	Organiser l'information Ils ont de la difficulté à organiser l'information lors de nouveaux apprentissages (Gamo et al., 2014; Sousa, 2006) et de la difficulté « à organiser ou structurer les étapes nécessaires à la réalisation d'une tâche ou d'un problème. » (Goupil, 2007, p. 48).	Oui, mais l'élève est trop « guidé ». C'est trop comme une « recette ». On ne laisse pas place à l'élève pour démontrer comment lui il le ferait.	L'approche permet de mieux organiser les informations et comprendre les relations que « les constellations » et la démarche « ce que je sais, ce que je cherche, etc. ». De plus, ces deux méthodes de prise de notes « requièrent trop d'écriture ».		Bien que les diagrammes «range-tout» (et les modèles mentaux) permettent de bien organiser l'information, il faut laisser place à l'élève pour qu'il démontre comment il procèderait afin de mieux comprendre sa perspective et la source potentielle de ses erreurs (Bisaillon et Lyons, 2011). Je dois donc apporter des modifications afin de laisser davantage de place à ce que les élèves expliquent ce qu'ils comprennent. Ensuite, des pistes peuvent être proposées en fonction des perceptions et croyances des élèves.

	Planifier Planifier et organiser les étapes d'un problème à résoudre peut être laborieux pour les élèves en difficulté (Goupil, 2007)		Il n'y a pas vraiment d'étapes selon elle. Il s'agit plutôt d'un processus. Il est également important de laisser les élèves procéder par essai-erreurs. Les SA contiennent plus d'une étape. S'il y a une seule étape, il s'agit d'une structure additive ou multiplicative, donc ordre des connaissances.		Je ne suis pas d'accord avec la participante. Je crois que celle-ci a interprété le guide pédagogique à travers une lunette imprégnée des termes utilisés par le ministère et une perspective mettant de côté les élèves en difficulté. En effet, même si les « problèmes » n'ont qu'une seule étape, il est difficile pour les élèves en difficulté de savoir quelle opération choisir et planifier comment ils le résoudront (Polotskaia et al., 2015).
	Redonner le goût d'apprendre les mathématiques Plusieurs de ces élèves développent de l'anxiété à l'égard des mathématiques et perdent le goût de faire des mathématiques (Focant, 2003; Freiman et Savard, 2014; Mighton, 2007; Morin, 2011; Theis et al., 2014; van Garderen, 2006)	« Tout à fait. Parce que c'est intéressant, c'est stimulant. Il y a des jeux et des possibilités d'aller plus loin. »	Redonner le gout d'apprendre les mathématiques = très apprécié ! La participante ajoute que la différenciation pédagogique est très importante pour respecter les défis de tous les élèves. Il faut que l'enseignant cible le défi de chacun de ses élèves. Bien connaitre l'élève (est-ce que l'élève comprend la tâche, est-ce qu'il sait comment faire la tâche? est-ce qu'il est bien organisé/tout est là? – ces questions sont en lien avec les 3 critères de correction). En donnant un défi selon les capacités des élèves, ils auront davantage le gout de faire des mathématiques.		Cet aspect est apprécié des participantes. Il faut donc que je m'assure de le conserver.

Catégories en lien avec les grands concepts en orthodidactique des mathématiques utilisés pour créer le matériel didactique	ZDP et art de questionner L'intervenant doit s'assurer qu'il propose des situations d'apprentissage qui sont dans la zone de développement de l'élève afin que celui-ci ne soit pas découragé par le niveau de difficulté de la tâche (Vygotsky, 1997/1926). Pour faire progresser l'élève dans sa ZDP, l'enseignant peut le questionner en utilisant la technique du dialogue socratique qui consiste à questionner l'apprenant pour favoriser l'émergence d'idées et l'apprentissage de connaissances (Whiteley, 2006).	IL y a beaucoup d'outils pour l'enseignante ortho pour aider les élèves à cheminer dans leur ZDP. Mais le questionnement proposé est « trop fermé » (les questions sont trop axées sur comment amener l'élève à le faire, mais pas ouvertes à d'autres façons de faire). Voici un exemple d'un questionnement plus ouvert : toi, tu aurais commencé par quoi? Donne beaucoup d'outils aux enseignantes ortho qui sont moins certaines, qui ne savent pas trop quoi faire pour aider les élèves à mieux comprendre les problèmes mathématiques simples. Intéressant : « beaucoup de questions et de discussions avant et après les interventions ». Bonnes questions ouvertes. Piste pour explorer ceci davantage : échange mathématique. « Il est important que comme enseignant ou ortho on arrête de parler et qu'on laisse parler les élèves. » Bonne séquence. La séquence est excellente, si l'élève est rendu là » (s'il a acquis les attentes du 1er cycle).	ZDP : modèle accessible, « grandeur des nombres qui augmente graduellement », structures de plus en plus complexes, « pour ensuite réinvestir dans des situations plus complexes ». Le matériel permet d'offrir des situations d'apprentissage « adaptées au niveau des élèves ». Retours et art de questionner bien appréciés. Questions fermées pour elle = « As-tu compris? As-tu besoin de plus de temps? », donc les questions proposées pour elles sont ouvertes. Elle apprécie des questions comme « Pourquoi? », « Comment? » et « Peux-tu reformuler dans tes mots? ». L'art de questionner selon les trois types de compréhension (textuelle, conceptuelle et relationnelle) est présent.	On y va du plus simple au plus complexe – l'élève pourra mieux suivre. Il faut « tout décortiquer » avec les élèves en difficulté.	Modification à apporter : proposer des questions plus ouvertes. J'ai fait des lectures à ce sujet après l'envoi du guide pédagogique aux participantes. J'ai donc déjà des pistes pour la modification : *L'art de questionner de façon efficace*, publié par le Ministère de l'Éducation de l'Ontario en 2011

	Modèles mentaux Les modèles mentaux sont des images fonctionnelles que l'élève se fait dans sa tête lors de la lecture de l'histoire mathématique (Denis, 1982). Ils peuvent permettre d'alléger la charge mnémonique puisque le modèle mental assure un encodage synthétisé et fonctionnel de l'information (Balleux et al., 2013; Denis, 1982). La construction de modèles mentaux permet de décortiquer et d'organiser les éléments de la situation, ce qui est nécessaire pour les élèves ayant des difficultés d'apprentissage (Balleux et al., 2013)	Oui, mais le « transfert inquiétant » : Il ne faudrait pas que les élèves aient créé « un seul type de modèle mental » et qu'ils ne soient pas capables d'en « créer de nouveaux ».	Modèles mentaux : super! Il faut encourager les élèves à le faire. La modélisation est appréciée. Ex. : dans ma tête, j'ai vu… (elle appelle ça « parler au texte »).	Les modèles mentaux et représentations graphiques sont abordés tout le long des leçons. On connait l'objectif tout au long des séances.	Ce commentaire aborde deux catégories : les modèles mentaux et les représentations graphiques : Selon Duval (1996), il est important que les élèves soient capables de représenter une situation de différentes façons afin d'en démontrer une compréhension profonde. Ainsi, je vais modifier le matériel afin de partir des représentations faites initialement par les élèves et les convertir en une représentation qui permet de voir plus facilement les relations entre les données. Cette seconde représentation est les diagrammes déjà proposés dans le matériel. Ces diagrammes permettent en effet d'attirer l'attention des élèves vers les relations entre les données (Schmittau, 2005).

	Représentations graphiques Les représentations graphiques sont une façon de représenter l'histoire par écrit afin de mieux comprendre les liens entre les données de l'histoire et faciliter le choix de la ou les opérations mathématiques à effectuer (Savard et Polotskaia, 2014).	Oui, « mais c'est un modèle que nous on privilégie, mais pas ce qu'ils [les élèves] auraient fait spontanément ». Puisqu'ils sont en difficulté, ils vont « essayer de s'accrocher à cette recette ». Ils vont « essayer de reproduire » plutôt que de créer, de trouver une façon de représenter. Ils vont « vouloir appliquer la recette partout ». Il manque de matériel de manipulation. Il est important de l'utiliser, « sans en faire de démonstration ». Il peut être bénéfique de démontrer une fois, mais pas plus. Au premier cycle, on doit pouvoir le voir, toucher et le défaire. 2e cycle, le matériel n'est plus obligé d'être « défaisable ». 3e cycle : un trombone pourrait être des centaines alors qu'un jeton pourrait être une dizaine, même si c'est plus petit. L'élève voit la valeur du nombre. Il n'y a pas assez de place pour que l'élève se représente avec du matériel.	Les diagrammes sont fantastiques pour développer le raisonnement mathématique. Elle espère que les élèves « vont développer le réflexe de l'utiliser au même titre que la droite numérique » (pour visualiser plusieurs concepts, dont le temps). La comparaison à la verticale est bien appréciée, parce qu'« elle se compare bien à deux tours de blocs emboitables ». Les représentations graphiques sont une représentation « de type semi-concret ». « C'est correct pour le 2e cycle. C'est plus approprié [au 2e cycle] que pour le 1er cycle. » Peut-être que certains élèves auront « besoin de davantage de matériel plus concret (réglettes, cordes, cure-pipes, etc.) ou de « reproduire par le jeu » » (stratégie de Marion Small (2008)). Elle aime l'idée de prendre des couleurs différentes pour les différentes lignes du diagramme.	Les représentations graphiques sont bien appréciées : il y en a plein de types, « mais le fait de choisir un type et de l'enseigner explicitement et de répéter avec une fréquence et une intensité, ça va l'aider. » C'est « mieux que de varier les représentations, ce qui risquerait de mélanger les élèves. Les représentations proposées sont simples et claires. Il y a souvent un lien avec le matériel de manipulation (si l'enfant ne comprend pas l'histoire, il peut aller chercher le matériel de manipulation [ce qui est] pertinent pour les élèves en difficulté).»	En ce qui concerne les modèles mentaux, il est impossible de voir concrètement ce que font les élèves, puisque cette activité n'est que mentale. Cependant, tout comme pour les représentations graphiques, il est important que les élèves se représentent la situation de différentes façons, incluant différentes façons « discursives » (Duval, 1996). Je dois également modifier le texte du guide afin de rendre plus claire l'idée de pouvoir utiliser du matériel de manipulation qui n'a pas été comprise par toutes les participantes. Après l'entrevue (participante 2), nous avons également discuté d'autre matériel de manipulation intéressant pour rendre les diagrammes plus concrets. J'ajouterai également ces idées.

		« S'ils n'ont pas compris le groupement, ils auront besoin que 200 soit plus grand que 50. Ils voudront le voir. » Mais c'est bien de commencer à s'éloigner du dénombrement. Parfois, « les élèves ont de la difficulté à voir l'histoire comme on la voit ». Ils ont parfois besoin de représenter avec du vrai matériel ou du matériel semi-concret. Laisser l'élève « jouer » avec le matériel donne accès à ce qu'ils sont capables de faire. « Les élèves en difficulté ont souvent une autre façon de procéder, plus longue, mais plus efficace. C'est bien. » Il faut les amener à voir s'il y a une autre façon.	Il faut « accepter que d'autres représentations puissent être utilisées, surtout pour les structures multiplicatives ». Sinon, c'est un « manque de respect pour les élèves qui ont des profils d'apprenant différents. Il n'y a pas UNE technique ultime qui fonctionne pour tout. » Pour les structures multiplicatives : elle suggère « d'encercler les parties sur la ligne » plutôt que « de faire des bonds ». (p. 59). « Ce serait plus concret. »		
	Métacognition	C'est intéressant. « C'est ce qui sera le plus payant pour ces élèves-là ». Cette piste de solution pourra aider au « transfert des apprentissages, à ce que l'élève soit capable à le faire tout seul en classe ».	Le développement de stratégies métacognitives est très important. L'aide-mémoire est très apprécié. Concernant la métacognition, « c'est très bien ». Les élèves sont amenés à « se questionner, voir s'ils ont atteint leur but, etc. en passant par la représentation mentale et semi-concrète ». La démarche permet de « voir la relation entre les données, [ce] qui est plus difficile pour les élèves ».	C'est un « point majeur ». « Le questionnement est précis et détaillé. L'enfant est amené à parler davantage à expliquer comment il réfléchit. » Les aide-mémoires sont appréciés.	Ceci est l'élément qui est ressorti comme étant le plus positif. Je dois donc m'assurer de le conserver.

	Selon Houdement (2011), la métacognition pourrait être ce qu'elle appelle une connaissance cachée des élèves qui réussissent bien en résolution de problèmes. Le développement des stratégies métacognitives est étroitement lié au développement du raisonnement logique (Houdement, 2011). Ainsi, les élèves en difficulté pourraient bénéficier de l'apprentissage de stratégies métacognitives.				

Catégories en lien avec le matériel dans son ensemble	Commentaires sur le fond	L'experte voit le guide pédagogique comme « une méthode, une recette », ce qui est « inquiétant » pour elle. « Si les élèves ont vu l'histoire mathématique autrement, on ne le saurait pas. » Elle explique que ces commentaires sont beaucoup « rattachés à ces valeurs, à comment l'élève développe son sens de la mathématique. » Son point de départ comme orthopédagogue et CP est plutôt « toi qu'est-ce que tu ferais? Par quoi est-ce que tu commencerais? Et l'autre qui fait autre chose? Est-ce que les deux [façons] sont bonnes (à l'élève) plutôt que de moi guider ».	Le matériel concorde avec ses valeurs (ex. : visualiser, représenter). Cependant visualiser pour elle consiste en l'imagerie mentale et non les modèles mentaux. « Au premier cycle et pour les élèves dysphasiques, dessiner ou mimer serait peut-être mieux, comme les stratégies de Marion Small (stratégies de niveau 1). » Le matériel « rejoint tous les éléments de la grille, sauf l'aspect concret vs semi-concret. » La démarche est bonne parce que « ça rejoint les attentes du ministère » (critères d'évaluation).		Les éléments en rouge ont été adressés dans les sections « ZDP » et « représentations graphiques ».

	Est-ce que le matériel convient aux élèves en difficulté du 2e cycle ?			Le matériel convient aux élèves en difficulté du 2e cycle parce que de l'« enseignement explicite présent » et cette approche est « préconisée en orthopédagogie » (pourquoi, quand, comment, but de la tâche). La métacognition est présente (questionnement toujours présent) et « la métacognition est à travailler avec nos élèves [de même que les] images mentales ». Les élèves « ne savent pas comment ou qu'ils peuvent le faire ». « Une attention importante y est accordée et c'est répété à chaque leçon ce qui va aider les enfants ». « Montrer notre modèle (voici comment moi je vois ça vient aider l'élève à mieux visualiser) aidera également les élèves ».	
	Est-ce que le matériel a le potentiel d'aider ces élèves?	« Oui, si on part de leurs représentations, leurs conceptions. »	« Définitivement. » La participante justifie surtout en parlant des représentations graphiques et du fait que c'est appuyé par la recherche d'Elena.	« Oui. » Elle est contente d'avoir participé au projet de recherche, puisqu'elle se voit l'utiliser elle-même dans sa pratique. Les éléments appréciés sont : le niveau de complexité qui augmente, l'enseignement explicite, la modélisation, la représentation mentale « avec le même verbatim (comme projet de réédu[cation en lecture de la commission scolaire]). »	

	Transfert des apprentissages			Concernant le transfert des représentations graphiques, « il y a des moments prévus pour faire des transferts en classe ». Le « coffre à outils » (aide-mémoires) utilisé en classe aide également au transfert. La collaboration avec les enseignants est également essentielle (rappel pour prendre les coffres à outils et possibilité d'enseigner cette façon de faire à tous les élèves).	
	Visuel	Le thème de superhéros est apprécié. Le matériel est attrayant selon la participante			
	Structure du matériel et des leçons	Il y a une « bonne séquence ». Les « activités sont bien structurées. »		Le matériel est « bien structuré : la même façon est utilisée tout au long. L'enfant peut s'attendre à comment ça va se passer. Il peut mieux comprendre où on va et organiser les nouveaux apprentissages dans sa tête. Si l'intervenant change, il est possible de bien passer le dossier (ex. : J'étais rendue à la leçon 4, continue à partir de là). » Les phases d'intégration avec beaucoup de questionnement sont appréciées. « L'enfant est toujours sollicité à réfléchir » (métacognition toujours présente).	

				Il est intéressant de demander à l'élève « d'enseigner », de modéliser. « Il y a rien de mieux que demander à l'élève d'enseigner ».	
	Structures mathématiques proposées	« Il est intéressant de varier la position de l'inconnu et utilisation de données superflues » (dans les différentes histoires mathématiques proposées) « parce que souvent les élèves vont prendre les nombres et y mettre un signe d'une opération, sans réfléchir ». « Changer les éléments inconnus d'une même histoire est très intéressant pour amener l'élève à comprendre l'histoire. »	La participante aime « la variété des structures », mais ne voit pas la structure d'ajout (partie-partie-tout). Elle fait des liens avec les structures présentées dans Marion Small (PRIME).		Une différente classification des structures a été utilisée, ce qui explique le point de vue de la participante 2. La classification que j'ai utilisée est celle proposée par Polotskaia, Gervais, et al. (2019) et Polotskaia et al. (2018).
	Histoires mathématiques proposées	C'est intéressant de ne pas « juste avoir des problèmes avec des personnes et des objets. C'est bien d'avoir des problèmes de temps et de mesure. »	Elle aurait commencé les histoires de mesures avec des nombres entiers. Elle aime que « le temps soit également travaillé avec la ligne du temps ».		Concernant le commentaire de la participante 2 : c'est déjà le cas présentement. Elle a dû lire trop rapidement.

Catégories en lien avec des composantes spécifiques du matériel	Pré/Post tests	L'inclusion des pré-test et post-test est « une bonne idée, pour savoir où sont les élèves ». La participante a cependant une préoccupation, puisque « les tâches sont calquées sur les attentes du 2e cycle. Comme c'est destiné aux élèves en difficulté, il faudrait vérifier si les attentes du 1er cycle sont acquises. Par exemple, est-ce que le groupement est acquis? Il faut partir du concret, ensuite le semi-concret, ensuite l'abstrait. La dizaine pour l'élève pour qui ce n'est pas acquis est un bâton et rien de plus. La centaine est une plaquette et rien de plus. Si on dit à l'élève qu'une centaine est un jeton, [il pensera que] ce n'est pas assez gros. L'élève te croit quand tu lui dis que c'est une dizaine, mais souvent, il aurait le gout de recompter. » Il ne faut pas aller trop vite dans le conventionnel. Néanmoins, le pré-test permet de cibler ce qui est à travailler. Les grilles des pré-test/post-test sont « bien conçues et permettent de bien cibler ce qui est à travailler.	Travailler avec les erreurs dans le pré/post test n'est pas une bonne idée selon elle. Elle suggère de présenter autrement : « il y a des élèves qui ont fait des erreurs, peux-tu expliquer pourquoi ils ont pensé comme ça. »		Il est de mon avis que les participantes m'ont suggéré d'excellentes pistes de modification. Pour ce qui est de la critique concernant l'importance de vérifier si les élèves ont acquis le concept de groupement, Bisaillon et Lyons (2011) proposent une façon d'évaluer si le groupement est acquis. Tout d'abord, le groupement, généralement acquis au début de la deuxième année, est nécessaire « pour mieux voir […] une collection comptant plusieurs dizaines d'éléments » (Bisaillon et Lyons, 2011, p. 14). Je suis donc du même avis que la participante 1 qu'il est en effet nécessaire pour les élèves d'avoir acquis le groupement pour bien comprendre la signification des lignes des représentations graphiques proposées. Il faut également vérifier que les élèves sont capables d'utiliser des symboles pour représenter des quantités variées, puisque c'est ce que font les lignes des représentations graphiques proposées.

					En ce qui concerne la façon d'aborder les erreurs, il est vrai que pour l'apprentissage de l'orthographe, il a été démontré que l'exposition à l'erreur est néfaste à l'apprentissage (par exemple, Carrion, 2010). Je vais cependant apporter la modification proposée par la participante 2, puisqu'il est de mon avis que cette façon de formuler la tâche place davantage les élèves en action.
	Jeux de consolidation	Les jeux sont « stimulants ».	Cette section n'a pas été lue par la participante.	Le thème de la forêt est bien apprécié (thème intéressant et stimulant). Il y a une « belle créativité dans les activités élaborées » et il est « intéressant d'avoir un thème qui se tient tout au long [du jeu] ». La participante apprécie que le jeu qui vient consolider. Selon elle, c'est une « bonne idée », c'est « bon pour la motivation des élèves ». Les jeux sont « attrayants pour les enfants ».	Cette composante du matériel didactique a été bien appréciée. Aucune modification ne sera donc apportée.

	Activités/tâches précises		À la page 53, la participante suggère de mieux expliquer que la difficulté pour le deuxième problème est l'emprunt avec un 0 (elle ne voyait pas de difficulté). Elle ajoute qu'il serait bien de mieux expliquer la difficulté du choix des opérations. À la page 62, elle suggère d'enlever la représentation « optionnelle » qui est « tirée par les cheveux ».	Pour la leçon 13, la participante croit qu'il n'y a « pas assez de soutien visuel pour les « fois moins » qui sont difficiles à comprendre pour les élèves ». Elle a aimé le visuel présent pour le « fois plus », il faudrait la même chose pour le « fois moins ». Peut-être qu'ils sont rendus à faire cet apprentissage, mais qu'on n'a pas les bons moyens pour l'enseigner. Elle suggère d'utiliser « plus de situations de la vie courante ». Elle l'a vu, mais l'intégrer davantage. Elle propose de « demander aux élèves de créer un problème en donnant des images de la vie courante, par exemple, des photos à l'épicerie. »	Je vais apporter les modifications mineures proposées.

Références (ajouts pour la grille d'analyse de la première rétroaction des expertes)

Bisaillon, N. et Lyons, M. (2011). Les incontournables du nombre. *Revue de l'ADOQ, 1*(1), 5-55. Repéré à https://www.ladoq.ca/sites/default/files/ladoq_revue-incontournables-nombre.pdf

Carrion, C. (2010). *Exposition à l'erreur orthographique : les conséquences sur les connaissances acquises et en cours d'acquisition.* (Thèse de doctorat, Université Paris Descartes, Paris, France). Repéré à http://www.theses.fr/2010PA05H120

Schmittau, J. (2005). The Role of Theoretical Analysis in Developing Algebraic Thinking : A Vygotskian Perspective. *International Reviews on Mathematical Education, 37*(1), 16-22. Repéré à https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17735-4_5

Small, M. (2008). *Sens des nombres et des opérations : Connaissances et stratégies*. Montréal, Québec : Duval.

Ce document consiste de notes de travail des entrevues de la deuxième rétroaction des expertes et de la mise à l'essai. Il ne s'agit pas d'un verbatim des entrevues. Les propos des participantes ont été paraphrasés. La structure des phrases n'est pas toujours respectée, mais le sens des propos a été gardé.

Analyse des entrevues (deuxième vague) et de la mise à l'essai

	Catégorie	Participante 1 – CP adaptation	Participante 2 – CP math	Participante 3 – orthopédagogue	Mise à l'essai	Commentaires
Catégories en lien avec les caractéristiques des élèves en difficulté	Mémoire de travail Les élèves en difficulté ont des difficultés concernant la mémoire de travail (Gamo et al., 2014; Goupil, 2007).	Cette participante n'a pas participé à la vague 2 pour des raisons personnelles (maladie).			Les aide-mémoires sont nécessaires pour les élèves. Ils ont beaucoup de difficulté à se rappeler des super-questions notamment.	
	Organiser l'information Ils ont de la difficulté à organiser l'information lors de nouveaux apprentissages (Gamo et al., 2014; Sousa, 2006) et de la difficulté « à organiser ou structurer les étapes nécessaires à la réalisation d'une tâche ou d'un problème. » (Goupil, 2007, p. 48).				Ils ont eu de la difficulté à placer les données dans des diagrammes « range-tout ». Il leur aurait fallu plus de temps pour développer cette habileté.	Je vais ajouter une section expliquant ce que l'on peut faire pour aider les élèves qui éprouvent cette difficulté particulière.

	Planifier Planifier et organiser les étapes d'un problème à résoudre peut être laborieux pour les élèves en difficulté (Goupil, 2007)				Parfois, malgré une bonne représentation graphique de la situation, les élèves avaient de la difficulté à planifier les étapes de la résolution du problème (choisir les bonnes opérations). Ils ont fait du progrès. Dans le cas d'un élève, il était vraiment plus facile pour lui de faire le bon choix d'opération une fois la représentation graphique créée. Il leur aurait fallu plus de temps.	Je vais ajouter une section expliquant ce que l'on peut faire pour aider les élèves qui éprouve cette difficulté particulière.
	Redonner le goût d'apprendre les mathématiques Plusieurs de ces élèves développent de l'anxiété à l'égard des mathématiques et perdent le goût de faire des mathématiques (Focant, 2003; Freiman et Savard, 2014; Mighton, 2007; Morin, 2011; Theis et al., 2014; van Garderen, 2006)				Ce fut un grand succès! Les élèves disaient souvent aimer les mathématiques. Ils trouvaient que de faire les représentations graphiques était « comme un jeu, même si ce n'est pas un jeu ».	

Catégories en lien avec les grands concepts en orthodidactique des mathématiques utilisés pour créer le matériel didactique	ZDP et art de questionner L’intervenant doit s’assurer qu’il propose des situations d’apprentissage qui sont dans la zone de développement de l’élève afin que celui-ci ne soit pas découragé par le niveau de difficulté de la tâche (Vygotsky, 1997/1926). Pour faire progresser l’élève dans sa ZDP, l’enseignant peut le questionner en utilisant la technique du dialogue socratique qui consiste à questionner l’apprenant pour favoriser l’émergence d’idées et l’apprentissage de connaissances(Whiteley, 2006).		La participante me suggère une autre ressource pour les questions ouvertes : https://www.cheneliere.ca/6554-livre-activites-ouvertes-en-mathematiques.html	La participante estime qu’« accéder à la zone proximale de développement des élèves à l’aide de questions ouvertes encourage la métacognition et favorise l’accès au sens même de l’apprentissage en cours ».		Je n’ai malheureusement pas accès à la ressource proposée par la participante 2, étant donné le contexte de pandémie actuel.
	Modèles mentaux				Il est difficile pour les élèves de faire des modèles mentaux, particulièrement des modèles mentaux efficaces. Les élèves ont utilisé une stratégie compensatoire, soit relire le texte de l’histoire.	Je vais ajouter une section expliquant ce que l’on peut faire pour aider les élèves qui éprouvent cette difficulté particulière.

	Les modèles mentaux sont des images fonctionnelles que l'élève se fait dans sa tête lors de la lecture de l'histoire mathématique (Denis, 1982). Ils peuvent permettre d'alléger la charge mnémonique puisque le modèle mental assure un encodage synthétisé et fonctionnel de l'information (Balleux et al., 2013; Denis, 1982). La construction de modèles mentaux permet de décortiquer et d'organiser les éléments de la situation, ce qui est nécessaire pour les élèves ayant des difficultés d'apprentissage (Balleux et al., 2013)						

	Représentations graphiques Les représentations graphiques sont une façon de représenter l'histoire par écrit afin de mieux comprendre les liens entre les données de l'histoire et faciliter le choix de la ou les opérations mathématiques à effectuer (Savard et Polotskaia, 2014).		La participante suggère d'ajouter des réglettes comme moyen de représentation visuel semi-concret. La participante fait des liens entre trois types de compréhension et la création de représentations graphiques (voir éléments en bleu à la page 15 du document).	La participante dit que la pâte à modeler et d'autres matériels de représentation peut permettre aux élèves plus sensoriels d'accéder au sens, mais pourrait être un « distracteur » pour d'autres.	Les élèves ont compris rapidement l'utilisation des lignes pour représenter les quantités des histoires, et ce, malgré qu'une des élèves avait de la difficulté à comprendre le concept de groupement, tel qu'évalué lors de la passation du pré-test. Les deux élèves pouvaient pointer les lignes correspondant à l'élément demandé et à l'inverse nommer ce que représentait chacune des lignes. Ils avaient cependant besoin d'aide à l'occasion pour créer la représentation graphique et cela n'amenait pas nécessairement à une meilleure compréhension des relations entre les nombres (trouver l'opération).	J'ai ajouté les réglettes comme moyen de représentation. Pour ce qui est des trois types de compréhension, j'ai demandé des références à la participante. Elle m'a partagé ce document (http://www.edu.gov.on.ca/fre/literacynumeracy/inspire/research/CBS_AskingEffectiveQuestionsFr.pdf) que je connaissais donc déjà. Il n'y a pas de mention des trois types de compréhension. Elle avait également ajouté que « Les trois types de compréhension en math ont été abordés lors de nos échanges en comité sur la résolution de problème. » et qu'« on le retrouvera dans le référentiel d'intervention en mathématiques du Québec qui sera rendu public prochainement.» Je comprends le point de vue de la participante 3, mais je n'ai pas apporté de modification. Je laisse le soin de choisir le matériel qui convient le mieux aux élèves à chaque intervenant.
	Métacognition		Dans la partie théorique du guide, la participante suggère d'apporter une précision afin de « distinguer les stratégies cognitives des stratégies métacognitives ».			Ceci a été ajouté.

	Selon Houdement (2011), la métacognition pourrait être ce qu'elle appelle une connaissance cachée des élèves qui réussissent bien en résolution de problèmes. Le développement des stratégies métacognitives est étroitement lié au développement du raisonnement logique (Houdement, 2011). Ainsi, les élèves en difficulté pourraient bénéficier de l'apprentissage de stratégies métacognitives.					
Catégories en lien avec le matériel dans son ensemble	Commentaires sur le fond					
	Est-ce que le matériel convient aux élèves en difficulté du 2e cycle ?				Les élèves ont apprécié la thématique. Les histoires mathématiques étaient parfois difficiles pour les élèves, mais elles leur étaient accessibles.	
	Est-ce que le matériel a le potentiel d'aider ces élèves?				Les élèves ont fait du progrès.	
	Transfert des apprentissages					

	Visuel					
	Structure du matériel et des leçons					
	Structures mathématiques proposées					
	Histoires mathématiques proposées		La participante réitère qu'il est « important d'exposer les élèves à la plus grande variété de structures mathématiques possibles ».	La participante est d'accord avec la mention d'enseigner en fonction de la réponse des élèves. Elle ajoute que « d'un élève à l'autre, d'une journée à l'autre, d'un moment à l'autre, nous avons constamment à réajuster nos interventions. Des acquis peuvent être à retravailler pour consolider les bases en vue de travailler d'autres processus, d'autres concepts. »		J'ai accentué l'importance de varier les structures mathématiques dans le texte du guide (p.11).

Catégories en lien avec des composantes spécifiques du matériel	Pré/Post tests			La participante estime que de vérifier le groupement avant de proposer les leçons est un bel ajout puisque cela permet de mieux connaitre les élèves et ainsi de différencier l'enseignement.		Cet ajout a été retiré du guide, puisque l'élève qui a eu de la difficulté à comprendre le groupement n'a eu aucune difficulté à comprendre l'utilisation des lignes dans les représentations graphiques. De plus, la théorie sur laquelle se base la création du guide ne stipule pas que les lignes des représentations graphiques s'appuit sur la compréhension du groupement.
	Jeux de consolidation			La participante apprécie la créativité des jeux.		
	Activités/tâches précises			Voici les commentaires par rapport à des éléments spécifiques aux leçons. Leçon 1 : « Le fait de partir des idées des élèves, leurs représentations et y revenir facilite l'intégration des processus. » Le fait de « présenter des histoires mathématiques similaires en modifiant les nombres permet aux élèves d'intégrer la méthode, de consolider les apprentissages ». Leçon 2 :		

				Partir de la représentation des élèves et questionner pour développer une autre représentation à l'aide de cette réflexion : « Je vois là la richesse des réflexions partagées par les pairs ». Présenter des histoires mathématiques similaires en modifiant les nombres « permet aux élèves d'intégrer la méthode, de consolider les apprentissages. » Leçon 3 : Concernant le travail d'équipe : « Les mathématiques c'est construire du sens à partir de son environnement et les pairs en font partie ! » Leçon 4 : L'activation des connaissances et le retour sur la leçon précédente sont « un ajout intéressant et surtout pertinent : les élèves en difficulté ont, pour la plupart, une fragilité du côté de leur mémoire et du réinvestissement de leurs connaissances/stratégies. Cette activation, avec l'aide des pairs, leur permet d'ancrer les apprentissages en les liant à une expérience vécue. » Leçon 5 :		

				Les questions ouvertes sont une « excellente méthode pour développer la métacognition et ainsi se réajuster selon sa démarche réflexive. Pas toujours facile pour les élèves de travailler de manière verbale, mais suite à la manipulation et au modelage, l'élève a davantage d'outils pour répondre au questionnement de l'intervenant. » Leçons 6 et 7 : Représentations sur papier est un passage de la manipulation à la représentation, ce qui est une étape importante pour le transfert.		