



HAL
open science

Évaluation d'une intervention orthophonique ciblant l'amélioration de la compréhension et de la résolution de problèmes à énoncé verbal chez les adolescents ayant un trouble des apprentissages mathématiques

Magali Cassar

► To cite this version:

Magali Cassar. Évaluation d'une intervention orthophonique ciblant l'amélioration de la compréhension et de la résolution de problèmes à énoncé verbal chez les adolescents ayant un trouble des apprentissages mathématiques. Sciences cognitives. 2019. dumas-02348857

HAL Id: dumas-02348857

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02348857>

Submitted on 5 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Évaluation d'une intervention orthophonique
ciblante l'amélioration de la compréhension et de la résolution
de problèmes à énoncé verbal
chez les adolescents ayant un Trouble des Apprentissages
Mathématiques.**

Mémoire d'orthophonie présenté pour l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste

par

CASSAR (VOLK-LEONOVITCH) Magali

née le 17 septembre 1977

Co-directrices de Mémoire :

HELLOIN Marie-Christel, Orthophoniste

LAFAY Anne, Ph.D., Orthophoniste

Année universitaire 2018-2019

Remerciements

Mes premiers remerciements sont adressés à mes directrices de mémoire, Mesdames Marie-Christel Helloin et Anne Lafay, pour m'avoir consacré tant de temps et apporté tant de ressources. Leur expertise, leur cohésion et leur disponibilité ont constitué un soutien inestimable tout au long de mon cheminement dans ce travail.

Merci également à Mesdames Hélène Desmaisons et Françoise Garcia pour avoir accepté de faire partie de mon jury mais aussi pour la transmission de différents aspects du métier d'orthophoniste, durant ces années de formation.

Je remercie chaleureusement M et V ainsi que leurs parents pour leur confiance et leur engagement sans faille dans ce travail. Merci également aux orthophonistes qui se sont investies avec enthousiasme afin de m'aider au recrutement des participantes, en assurant le lien entre leur intervention et la mienne. Merci à mes maîtres de stage pour tout ce qu'ils m'ont appris avec professionnalisme, énergie et chaleur.

Merci à l'équipe pédagogique du département d'Orthophonie du PFRS de Caen, à mes très chères partenaires de la promotion 2014-2019.

Merci à Vincent, Vadim et Anouck, pour tout.

SOMMAIRE

Introduction.....	1
Partie théorique	2
1. Description des problèmes arithmétiques à énoncé verbal.....	2
2. Facteurs de complexité de la résolution de problèmes.....	2
2.1. Facteurs sémantiques de la résolution de problèmes.....	2
2.2. Facteurs numériques, linguistiques, cognitifs de la résolution de problèmes.....	3
3. Modèles théoriques de la résolution de problèmes.....	6
3.1. Modèle des 5 étapes de résolution de problèmes (Ménissier, 2011).....	6
3.2. Modèle des 3 niveaux de représentations d'un texte (van Dijk et Kintsch, 1983).....	7
3.3. Modèle intégratif support à l'intervention proposée en résolution de problèmes.....	8
4. Troubles des apprentissages et interventions en résolution de problèmes.....	9
6. Objectifs et hypothèses théoriques.....	11
Méthode.....	13
1. Procédure générale.....	13
1. 1. Déroulement.....	13
1. 2. Plan de la recherche.....	13
2. Conception et développement de l'outil d'intervention.....	14
2. 1. Outil de collecte de données.....	14
2. 2. Banque de problèmes dédiés à l'intervention.....	16
2. 3. Protocole d'intervention.....	16
3. Expérimentation de l'outil d'intervention.....	16
3. 1. Participants.....	16
3. 1.1. Recrutement.....	16
3. 1. 2. Description des participants.....	17
3. 2. Matériel du protocole de l'étude.....	18
3. 2. 2. Mesures des effets de l'intervention.....	18
3. 2. 3. Mesure contrôle.....	20
3. 3. Protocole d'intervention.....	20
3. 3. 1. Accéder à la surface du texte par sa lecture.....	21
3. 3. 2. Stimuler la représentation mentale de la surface et de la base du texte (sans stratégies inférentielles).....	21
3. 3. 3. Stimuler l'extraction de la macrostructure (avec stratégies inférentielles) et l'élaboration du modèle de situation.....	22
3. 3. 4. Stimuler la procédure de résolution du problème.....	22

Résultats.....	23
1. Mesure d'identification des difficultés des jeunes en résolution de problèmes.	23
2. Mesures des effets de l'intervention.	24
2.1. Mesures des effets d'Apprentissage direct.....	24
2.1.1. Mesure ASB.	24
2.1.2. Mesure AMS.	25
2.2. Mesure des effets du Transfert des apprentissages.....	25
2.3. Mesure Contrôle.	27
Discussion	28
1. Interprétation des résultats.	28
1. 1. Effet de l'intervention sur la compréhension de la surface et de la base du texte. ...	28
1. 2. Effet de l'intervention sur l'extraction de la macrostructure et l'élaboration du modèle de situation.	29
1. 3. Effet de l'intervention sur la procédure de résolution globale du problème.	30
1. 4. Effet de l'intervention sur une compétence non ciblée.....	31
1. 5. Synthèse.....	32
2. Limites de l'étude.....	32
3. Implications cliniques.	34
4. Perspectives de recherche.....	35
5. Conclusion.....	36
Références	37
Liste des annexes.....	1

Liste des abréviations.

OCDE : Organisation for Economic Cooperation and Development.

CEDRE : Cycle des Evaluations Disciplinaires réalisées sur Echantillon.

PISA : Programme for International Student Assessment.

TAM : Trouble des Apprentissages Mathématiques.

TA : Trouble des Apprentissages.

TDL : Trouble Développementale du Langage.

ASB : Mesure des effets de l'Apprentissage sur la Surface du texte et la Base du texte.

ASM : Mesure des effets de l'Apprentissage sur l'extraction de la base du texte (avec inférences) et du Modèle de Situation.

T : Mesure des effets du Transfert des apprentissages

Ctrl : Mesure Contrôle.

INTRODUCTION

Pour l'OCDE, la « culture mathématique » est l'aptitude des individus à intégrer la place tenue par les mathématiques dans le monde afin d'agir en citoyens aptes à émettre des jugements et assumer des positions réfléchies. Plusieurs systèmes éducatifs allouent une place prépondérante à l'enseignement de la résolution de problèmes. Constituant autant une habileté cognitive à développer qu'un moyen d'appropriation d'autres connaissances, la résolution de problèmes constitue un critère incontournable d'évaluation des élèves. Plus encore, la capacité en résolution de problèmes à l'âge scolaire apparaît être le meilleur prédicteur de l'emploi et des revenus à l'âge adulte (Murnane, 2001 ; cité par Fuchs, Fuchs, Compton, Hamlett et Wang, 2015). Des enquêtes nationales (CEDRE, 2014) et internationales (PISA, 2015) ont mentionné les difficultés des élèves français dans le domaine des mathématiques. En fin de primaire, plus de 40% des élèves rencontrent des difficultés en mathématique et en fin de collège, le pourcentage d'élèves de faible niveau augmente (Arzoumanian et Dalibard, 2015). Cette période correspond aussi à celle de l'expression d'une plainte, en lien avec la résolution de problèmes, auprès des orthophonistes. Proposer aux collégiens une intervention orthophonique efficace sur la résolution de problèmes à énoncé verbal constitue un intérêt manifeste.

La résolution de problèmes dépend simultanément des facteurs arithmétiques et linguistiques, inhérents à l'énoncé du problème mais aussi à l'individu (Daroczy, Wolska, Meurers et Nuerk, 2015). Pour les enfants, la difficulté majeure réside davantage dans la compréhension de l'énoncé que dans le traitement des opérations (Fayol, Camos et Roussel, 2001 ; Thevenot, Coquin et Verschaffel, 2006).

Ce mémoire évalue l'expérimentation d'un matériel d'intervention orthophonique (Lafay et Helloin, en cours) ciblant l'amélioration de la compréhension de l'énoncé d'un problème arithmétique à énoncé verbal et de sa résolution, chez l'adolescent présentant un Trouble des Apprentissages Mathématiques (TAM).

Une première partie théorique décrit l'activité de résolution de problèmes à énoncé verbal et considère les interventions existant en ce domaine, adressées aux enfants présentant un TAM. La seconde partie développe la méthodologie appliquée pour évaluer les hypothèses attachées à cette intervention. À partir des résultats obtenus et de leur description, des interprétations sont discutées et des implications cliniques abordées. Enfin, les limites de ce travail et les perspectives sont envisagées.

1. Description des problèmes arithmétiques à énoncé verbal.

La vie courante induit naturellement des situations-problèmes amenant à réaliser une « arithmétisation du monde » (Fayol, Devidal et Thevenot, 2005) : effectuer un achat, une mesure implique une « élaboration de représentations symboliques quantifiées du réel suivie d'opérations sur ces quantifications » (Fayol et al., 2005). En classe, les situations-problèmes apparaissent davantage être traitées à travers des problèmes arithmétiques à énoncé verbal qu'à travers des situations concrètes. Classiquement, un problème arithmétique à énoncé verbal¹ revêt la forme d'un texte bref, décrivant l'essentiel d'une situation qui soulève une ou plusieurs questions. La tâche de l'individu consiste à y apporter une réponse numérique « par usage exclusif et explicite des quantités données par le texte et des relations inférées du texte entre ces quantités » (De Corte, Verschaffel et Van De Ven, 2001). Proposer des situations-problèmes inspirées du réel permet de contextualiser les énoncés ; la situation-problème devient plus réaliste et accessible à l'enfant qui peut s'appuyer sur ses premières intuitions pour l'aborder. Cette contextualisation a cependant pour corollaire un allongement de l'énoncé, impliquant de recruter davantage d'habiletés en lecture que pour un énoncé bref classique (Voyer et Goulet, 2013). De plus, la contextualisation de la situation-problème est à envisager avec une certaine prudence par Barouillet et Camos (2003) pour qui les difficultés éprouvées par les élèves en résolution de problèmes « ne sauraient tenir au seul aspect figé et artificiel de l'énoncé type. Elles révèlent sans doute aussi des lacunes conceptuelles plus profondes ».

2. Facteurs de complexité de la résolution de problèmes.

2.1. Facteurs sémantiques de la résolution de problèmes.

L'un des facteurs de complexité de la résolution de problèmes concerne les aspects sémantiques attachés aux éléments du problème et aux relations qui les lient.

Les problèmes sont de structure sémantique additive ou multiplicative. Riley, Greeno et Heller (1983) distinguent trois grandes catégories de problèmes additifs. La combinaison porte sur une situation statique où deux sous-ensembles se combinent en une collection totale. Le changement décrit une transformation temporelle appliquée à un état initial pour parvenir à un état final. La comparaison confronte des quantités statiques par le biais de

¹ Par la suite, cet intitulé apparaîtra uniquement sous la mention de « problèmes ».

formulations de type « n plus que / n moins que ». Des exemples sont proposés en annexe A.

Ménissier (2011) distingue quatre grandes catégories de problèmes multiplicatifs. La proportionnalité simple et directe engage deux domaines de grandeur entre lesquels est définie une relation multiplicative. Quatre quantités sont décrites dont trois sont connues. La proportionnalité simple composée engage trois domaines de grandeurs et la composition de deux relations de proportionnalité simple définies entre la première et la deuxième grandeur et entre la deuxième et la troisième grandeur. La proportionnalité multiple engage deux domaines de grandeurs indépendants et un troisième domaine proportionnel à chacun d'eux, celui des grandeurs-produits. La comparaison multiplicative engage un seul domaine de grandeurs et un rapport scalaire exprimant la relation entre les deux grandeurs par le biais de formulations de type « n fois plus que / n fois moins que ». Des exemples sont proposés en annexe B.

Des problèmes se résolvant par une même opération arithmétique ont un niveau de complexité variable selon leur structure sémantique et la nature de l'inconnue recherchée (Riley et al., 1983 ; De Corte et Verschaffel, 1991). Par exemple, les problèmes de type comparaison sont plus complexes que ceux de type changement (Fayol et al. 2005). Reconnaître la structure sémantique d'un problème influe sur sa résolution : alors que les bons solveurs classent davantage les problèmes selon leurs critères structurels, les moins bons les classent davantage selon leurs caractéristiques superficielles (Gliner, 1989).

Parallèlement à la structure sémantique de l'énoncé, la complexité tient également à l'utilisation de termes inducteurs ou de mots-clés (ex. « gagner », « en tout ») qui peuvent engager l'enfant vers un raisonnement intuitif et une démarche de résolution automatique se révélant parfois inadaptée à la question posée ; par exemple, un problème « inconsistant », associant un énoncé mentionnant « plus que » à une question dont la résolution nécessite une soustraction, génère davantage de difficultés en résolution qu'un problème consistant (Boonen, Koning, Jolles et van der Schoot, 2016).

La réussite des enfants en résolution de problèmes dépend donc des facteurs de complexité sémantique décrits mais se trouve aussi sous l'influence d'autres facteurs.

2.2. Facteurs numériques, linguistiques, cognitifs de la résolution de problèmes.

Résoudre un problème requiert de mobiliser des connaissances mathématiques (ex. habiletés en calcul, techniques opératoires) et de construire une représentation mentale de la situation décrite dans l'énoncé afin de lui attribuer un sens (Goulet et Voyer, 2014). La revue de

littérature de Daroczy et al. (2015) recense des facteurs numériques, linguistiques, cognitifs, inhérents au problème et ceux inhérents à l'individu, dont l'interaction complexifie la démarche de résolution de problèmes et conditionne sa réussite.

Les *facteurs de complexité numérique* comprennent : les propriétés des nombres (ex. magnitude, parité, nombre entier ou décimal), l'opération requise, la stratégie de résolution adoptée, la structure sémantique du problème dont dépend le nombre d'étapes de traitement nécessaires à la résolution (sachant qu'une plus forte charge cognitive accroît le risque d'erreur).

Les *facteurs de complexité linguistique* comprennent : la composition de l'énoncé concernant les aspects quantitatifs (ex. nombre de mots, longueur moyenne des phrases, taux de mots complexes), les aspects morphosyntaxiques (ex. syntagmes prépositionnels, voix passive), le registre de vocabulaire (ex. mots familiers, polysémiques), la place de la question dans l'énoncé, la correspondance entre le déroulement chronologique des événements du problème et leur ordre d'énonciation, le type de texte proposé à l'enfant (injonctif, narratif, informatif, etc.). Enfin, la présence d'informations linguistiques et/ou numériques non pertinentes dans l'énoncé constitue également un facteur influent de la réussite en résolution de problèmes (Wang, Fuchs et Fuchs, 2016).

Des *facteurs cognitifs* intrinsèques à l'enfant sont également prédictifs de son rendement en résolution de problèmes. Fuchs et al. (2015) ont en effet montré que si un tutorat en arithmétique améliore significativement leurs compétences en ce domaine, il ne suffit pas à réduire l'écart par rapport au niveau attendu en résolution de problèmes, suggérant ainsi que les compétences mathématiques sont une base nécessaire mais insuffisante à la résolution de problèmes et que d'autres habiletés cognitives sont engagées.

Les compétences mathématiques, comme la capacité à récupérer des faits arithmétiques en mémoire et à utiliser des stratégies de calcul matures, sont liées à des facteurs cognitifs plus généraux telles que les capacités mnésiques et les fonctions exécutives. La mémoire de travail intervient à chaque étape du processus de résolution de problèmes ; elle permet de réaliser les opérations en maintenant simultanément l'activation de la finalité de la tâche, des éléments pertinents de l'énoncé et des réponses intermédiaires déjà traitées (Fuchs et al. 2015). De plus, la mémoire de travail est impliquée dans l'élaboration des différents niveaux de compréhension du texte permettant d'accéder à une représentation globale du problème (Swanson et Beebe-Frankenberger, 2004). La mémoire à long terme intervient dans le stockage et la récupération tant des faits arithmétiques que des connaissances lexico-sémantiques nécessaires à la compréhension de l'énoncé. Parmi les fonctions exécutives

engagées dans la résolution de problèmes, l'inhibition permet de réprimer les interférences induites par les données inutiles pour orienter l'attention sur celles essentielles à la résolution et réaliser les inférences les plus pertinentes au regard du contexte global. La planification permet d'anticiper le but à atteindre, de développer les étapes intermédiaires pour accéder à ce but et d'ajuster sa stratégie selon la cohérence des résultats émergeant au fil du processus de résolution.

Le raisonnement, envisagé comme un continuum de pensée (Evans et Stanovitch, 2013 ; Rossi et Lubin, 2017), intervient dans la résolution d'une situation-problème inconnue où la composante inhibition (Houdé, 2018) permet de basculer du pôle des processus cognitifs automatiques, intuitifs, peu coûteux, sujets aux biais perceptifs, au pôle des processus cognitifs logiques, séquentiels, lents et coûteux relatifs à la pensée hypothétique. Le raisonnement non verbal est également mobilisé car il contribue à identifier rapidement les relations existantes entre les éléments d'un problème et à dégager les règles régissant ces relations (Fuchs et al., 2015).

Des capacités visuo-spatiales entrent aussi en jeu dans la résolution de problèmes sachant qu'elles permettent à l'enfant de se construire une représentation visuelle schématisée de la situation (Boonen, Van Der Schoot, Van Wesel, De Vries et Jolles, 2013).

Par ailleurs, un lien est établi entre la réussite en résolution de problèmes et les habiletés en lecture, en tant qu'activité conjointe de décodage et de compréhension (Gough et Tunmer, 1986). Construire le sens d'un énoncé associe deux niveaux de compréhension : la compréhension littérale, qui correspond au repérage des informations explicites de l'énoncé, et la compréhension inférentielle, qui correspond à l'accès à l'information implicite de l'énoncé. Ce dernier niveau nécessite de réaliser des inférences de type *text-connecting* (lier les différents éléments du texte) et/ou *gap-filling* (combler l'absence d'informations explicites en mobilisant ses connaissances du monde et expériences). Voyer et Goulet (2013) ont étudié l'effet de la variable du type de texte sur la compréhension : il apparaît plus simple d'inférer à partir d'un texte narratif (« schéma du récit » familier) que d'un texte informatif (superposition d'une variété de structures et forte densité conceptuelle). Pour ces auteurs, il semble que « les bons solutionneurs de problèmes à énoncé verbal soient ceux qui obtiennent un haut rendement en compréhension de texte informatif et aux questions d'inférence ». Par ailleurs, pour Fuchs et al. (2015), l'énoncé d'un problème constitue une forme particulière de texte car la résolution du problème nécessite d'associer deux formes de compréhension du langage : la compréhension du texte apportée par des compétences langagières générales et la compréhension du langage spécifique aux problèmes arithmétiques à énoncé verbal.

Par exemple, les formulations « n de plus que » et « n de plus » traduisent deux situations différentes, respectivement une situation de comparaison entre deux collections (ex. « Jean a 7 billes de plus que Lou qui en a 3 ») et une situation de changement avec une modification de l'état d'une seule collection (ex. « Jean a 7 billes en arrivant puis il en gagne 3 de plus »), qu'il est essentiel de saisir pour résoudre le problème. Pour Boonen et al. (2016), une bonne compréhension de l'énoncé permet aux enfants de traduire une situation conceptuellement riche en sa phrase mathématique juste pour, ensuite, pouvoir réaliser le calcul appelé par la question.

Enfin, des facteurs environnementaux et généraux tels que l'anxiété, la motivation, le niveau de capacités générales et d'efficacité intellectuelle, la présence de troubles développementaux influencent également la réussite en résolution de problèmes (Daroczy et al., 2015).

L'ensemble des facteurs précédemment considérés interagissent à différents niveaux du processus de résolution de problèmes. Modéliser ce processus permet de distinguer les différentes étapes du traitement cognitif engagé en situation de résolution de problèmes afin de mieux cibler où peuvent se développer les difficultés éprouvées par les enfants.

3. Modèles théoriques de la résolution de problèmes.

3.1. Modèle des 5 étapes de résolution de problèmes (Ménissier, 2011).

Le modèle de résolution de problèmes de Ménissier suit une progression en cinq étapes.

La *traduction* comprend la lecture et la compréhension de l'énoncé menant à une représentation mentale globale du problème. Elle dépend des connaissances linguistiques et factuelles préalables du lecteur qui lui permettent d'identifier les objets en présence et leurs relations, d'accéder au lexique, d'analyser la syntaxe, de distinguer les quantités continues et discontinues, de repérer les termes mathématiques et de réaliser des inférences. L'*intégration* permet de construire une représentation cohérente de la situation décrite par l'énoncé. Comprendre un texte nécessite de s'en faire une représentation sous la forme d'un modèle mental ou/et d'un modèle de situation (Coquin-Viennot, 2001). La théorie des modèles mentaux (Jonhson-Laird, 1995) fait référence aux représentations internes analogiques : celles-ci se construisent à partir des connaissances acquises antérieurement par l'enfant qui, ayant résolu un problème dont la forme et le contenu étaient assez proches du nouvel énoncé rencontré, peut opérer une analogie servant de base à son raisonnement (Thevenot, 2017 ; Gentner et Maravilla, 2018). Le modèle de situation (van Dijk et Kintsch, 1983) correspond à un niveau de représentation mentale du texte augmenté par les

connaissances générales et l'expérience du lecteur qui lui permet de se représenter le déroulement spatio-temporel des événements, les relations de causalité entre les éléments et les quantités de manière analogique.

La *planification* des actions consiste en l'élaboration d'une stratégie de résolution déterminée par anticipation et permettant, potentiellement, d'aboutir au résultat. Le déroulement des opérations mentales à conduire est hiérarchisé en étapes intermédiaires (choix des opérations adaptées, ordre dans lequel les réaliser).

L'*exécution des actions* (ex. calcul) nécessite la récupération en mémoire des faits arithmétiques connus et/ou l'application de procédures de calcul.

L'*auto-contrôle du résultat* permet la détection d'incidents (repérer l'erreur d'application de la procédure puis la corriger) ou d'impasses (repérer l'impossibilité d'atteindre le but recherché). Cette étape peut venir invalider les représentations élaborées précédemment et conduire à réajuster le modèle mental et la planification des actions.

L'intervention proposée cible les étapes de Traduction et d'Intégration qui ont une correspondance avec les niveaux de représentations mentales d'un texte proposés par van Dijk et Kintsch (1983).

3.2. Modèle des 3 niveaux de représentations d'un texte (van Dijk et Kintsch, 1983).

Van Dijk et Kintsch (1983) ont décrit trois niveaux de représentations mentales permettant de comprendre le sens d'un texte. Ce modèle permet de préciser les processus mentaux qui amorcent la démarche de résolution de problèmes décrite par Ménissier (2011).

La *surface du texte* correspond à la compréhension lexicale du texte la plus élémentaire. Le lecteur comprend individuellement chaque mot et chaque groupe de mots lus, dans l'ordre correspondant à l'organisation syntaxique du discours.

La *base du texte* est organisée autour des contenus sémantiques du texte lus ou inférés par le lecteur. L'analyse des propositions de chacune des phrases, puis de leur ensemble, permet de dégager le sens du texte. La compréhension du contenu sémantique d'un texte se fonde sur deux niveaux hiérarchisés de traitement du texte : la microstructure (structure locale) et la macrostructure (structure globale). La microstructure est une suite de micropropositions, considérées individuellement et reliées entre elles par des marqueurs de relations, des anaphores, des connecteurs, présentant l'information selon une séquence logique et cohérente. La macrostructure est constituée de macropropositions rendant compte du sens du texte dans son ensemble. Le passage d'une séquence de micropropositions riches d'informations à une proposition plus générale (macroproposition) se réalise en appliquant

aux micropropositions des macrorègles de suppression, de généralisation (synthèse et résumé) et de construction (inférences et extraction d'informations). Le principe essentiel est de parvenir à obtenir une information condensée reflétant adéquatement la macrostructure et pouvant être stockée efficacement en mémoire (Goulet et Voyer, 2014). La *Surface* et la *Base du texte* correspondent à l'étape de *Traduction* de Ménissier (2011). Le *modèle de situation* correspond à une représentation mentale du texte enrichie grâce à l'incorporation des connaissances antérieures et des expériences personnelles du lecteur à la base du texte. Tel un scénario, le lecteur se représente la situation générale, les événements, les actions et les individus. Cette interprétation de la situation traduit un haut niveau de compréhension du texte. Verschaffel, Greer et de Corte (2000) soulignent qu'en l'absence de construction d'un modèle de situation, l'enfant peut générer des réponses insensées. Le *modèle de situation* correspond à l'étape d'*Intégration* de Ménissier (2011).

3.3. Modèle intégratif support à l'intervention proposée en résolution de problèmes.

L'étude présentée ici se fonde sur un modèle proposé par Lafay et Helloin (2017) intégrant les modèles des 5 Étapes de résolution de problèmes de Ménissier (2011) et des 3 Niveaux de représentations mentales d'un texte de van Dijk et Kintsch (1983).

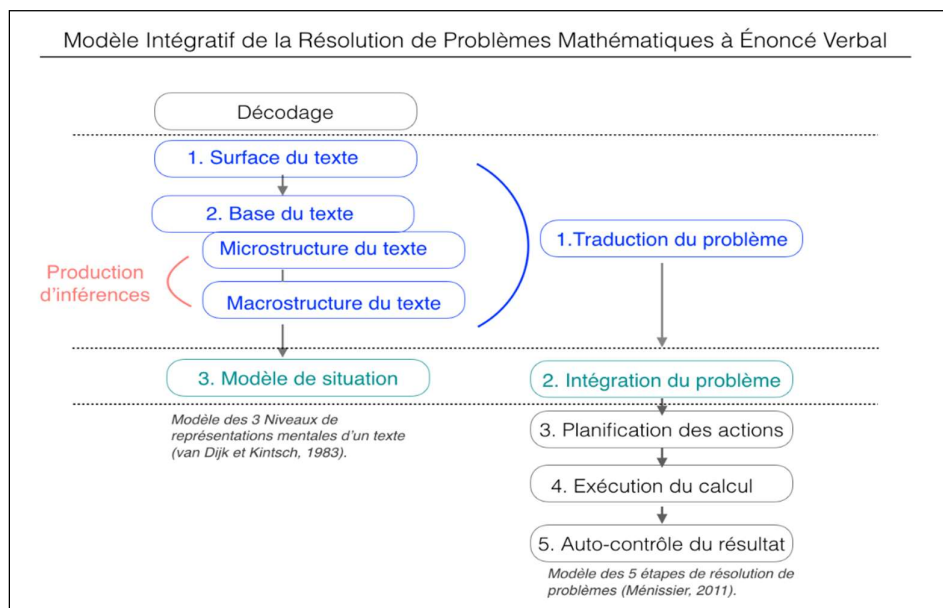


Figure 1: Modèle intégratif. Lafay et Helloin (2017)

Le rapprochement des deux modèles présente l'intérêt d'associer aux étapes de Traduction et d'Intégration, relatives à la compréhension du problème et amorçant sa résolution, des niveaux spécifiques de représentations mentales de l'énoncé pouvant être ciblés lors d'une évaluation et/ou d'une intervention orthophonique (voir Figure 1).

Verschaffel et al. (2000) mentionnent, en effet, que le processus de compréhension tend à être négligé par les enfants qui privilégient les éléments purement arithmétiques du problème, sans accéder au sens. Or, l'enfant doit élaborer à partir des données de l'énoncé une succession de représentations mentales qui constituent l'un des processus cognitifs de base lui permettant d'enclencher la démarche de résolution de problème (Voyer et Goulet, 2013). Il apparaît que les solutions apportées par les enfants sont le plus souvent cohérentes avec les représentations mentales (justes ou erronées) qu'ils ont construites. Autrement dit, une mauvaise solution au problème posé peut néanmoins être la bonne solution au problème que l'enfant s'est représenté mentalement (ex. sur les problèmes inconsistants). Ceci permet d'avancer que la réussite en résolution de problèmes se fonde, d'abord, sur la capacité de l'enfant à élaborer des représentations mentales justes et cohérentes (Cummins, Kintsch, Reusser et Weimer, 1988). Selon Fuchs et al. (2015), il serait pertinent d'intervenir en ciblant l'amélioration du traitement du texte chez les enfants à risque de présenter des faiblesses du raisonnement et de la mémoire de travail ainsi qu'en accordant une attention particulière à la compréhension du langage spécifique aux problèmes. L'intervention expérimentée vise à stimuler, chez les enfants présentant un TAM, les trois niveaux de représentations mentales d'un texte afin de renforcer les étapes de Traduction et d'Intégration qui favorisent la modélisation mathématique du problème menant à sa résolution.

4. Troubles des apprentissages et interventions en résolution de problèmes.

Le DSM-5, manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (American Psychiatric Association, 2013 ; version française 2016) définit les Troubles des Apprentissages (TA) dont le TAM qui englobe des difficultés pouvant porter sur le sens des nombres, les données chiffrées, la mémorisation des faits arithmétiques, la précision ou la fluidité des calculs et/ou la justesse du raisonnement mathématique. La cooccurrence d'un TAM et d'autres TA (verbaux ou non) accroît les difficultés de l'enfant en résolution de problèmes. Des troubles du langage oral et/ou écrit ou encore des difficultés de mémoire de travail ou de vitesse de traitement (Fuchs et Fuchs, 2002) gênent notamment le décodage et la compréhension des énoncés écrits. Des études ont contribué à caractériser les difficultés des jeunes ayant un TAM en situation de résolution de problèmes. La transformation des données linguistiques et numériques du texte en une représentation construite de la situation problème leur est difficile (van Garderen, 2007). Un déficit d'inhibition entraîne l'incursion de croyances issues du monde réel de l'enfant venant entraver le passage d'un raisonnement intuitif à logique. Un déficit des aptitudes à générer de l'imagerie mentale les empêche de se détacher

de leur point de vue initial pour considérer des solutions alternatives (Morsanyi et Szűcs, 2014). Leur répertoire de stratégies de résolution de problèmes est peu développé et l'abandon d'une stratégie inopérante au profit d'une stratégie plus efficace est rare. Les stratégies de résolution de problèmes apprises antérieurement ne sont pas généralisées et leurs capacités d'auto-gestion et d'auto-régulation sont faibles (Pressley, Borkowski et Schneider, 1987, cités par Montague, Krawec, Enders et Dietz, 2014).

L'efficacité d'interventions ciblant la résolution de problèmes chez des collégiens présentant un TAM ou des difficultés en mathématiques a été étudiée par Germain (2018 ; voir aussi Germain & Lafay, en révision). Germain s'appuie sur les travaux de Gersten et al. (2005) et Horner et al. (2005) pour analyser les interventions recensées : afin d'identifier les pratiques basées sur des données probantes, Gersten et al. (2005) et Horner et al. (2005) ont déterminé, respectivement pour les études de groupe et les études de cas menées dans le champ de l'enseignement spécialisé, des critères permettant de comparer les recherches et d'en évaluer la qualité. Deux approches démontrent un niveau de preuve permettant de conclure qu'elles sont prometteuses. La première utilise la stratégie cognitive appliquée à l'identification de la structure sémantique des problèmes ; la stratégie cognitive recourt à une démarche d'auto-questionnement pour favoriser la représentation d'un problème et l'explicitation des processus de résolution. La seconde approche utilise des techniques de représentation des problèmes (visuelles ou matérielles) pour favoriser l'interprétation des éléments de l'énoncé puis l'élaboration d'un modèle mental cohérent ; la schématisation (ex. diagramme) détient une bonne force de preuve (Jitendra, Nelson, Pulles, Kiss et Houseworth, 2016). Les interventions ciblées ont un effet sur la performance des collégiens ayant un TAM ou des difficultés en mathématiques. La revue systématique de la littérature de Zheng, Flynn et Swanson (2013), établie à partir de quinze études sur l'efficacité des interventions ciblant la résolution de problèmes chez des enfants de 5 à 18 ans présentant un TAM, indique que les jeunes ayant un TAM et bénéficiant d'une intervention s'améliorent davantage que ceux n'en bénéficiant pas mais que l'effet de l'intervention est modéré par l'association de troubles de la lecture. Les interventions analysées par Zheng et al. (2013) partagent des modalités et des composantes actives similaires telles que l'instruction explicite, la présentation des objectifs et l'explication des concepts, la modélisation, le contrôle de la difficulté dans les tâches demandées, l'utilisation d'indices permettant le rappel des stratégies modelées, le questionnement de l'enfant, la demande d'élaboration des réponses de l'enfant.

5. Problématique.

Le processus de résolution de problèmes ne consiste pas en une succession mécanique de phases de compréhension de texte et d'application des procédures de calculs mais en une interaction constante entre les domaines mathématiques et verbaux permettant l'émergence de représentations mentales nécessaires à la résolution. Intervenir sur l'élaboration des représentations mentales des jeunes en transformant les énoncés ou en entraînant à des stratégies de traitement sont des voies d'amélioration des performances restant à explorer (Sander, 2018). La création de dispositifs d'interventions adressés aux enfants ayant des TAM et dont les effets sont évalués reste insuffisante (Thevenot et Fayol, 2018). Dans ce contexte, cette étude vise à construire et évaluer l'efficacité d'une intervention orthophonique ciblant les étapes ayant trait à l'analyse linguistique et la compréhension de l'énoncé sur les performances en résolution de problèmes chez les adolescents présentant un TAM.

6. Objectifs et hypothèses théoriques.

L'objectif général est d'évaluer les effets d'une intervention ciblée, limitée dans le temps et individualisée stimulant l'analyse linguistique et la compréhension sur les performances en résolution de problèmes à énoncé verbal chez les adolescents présentant un TAM. L'objectif 1 est d'évaluer l'effet de l'intervention ciblant l'analyse linguistique et la compréhension sur l'efficacité de l'analyse linguistique et de la compréhension (apprentissage). L'objectif 2 est d'évaluer l'effet de l'intervention ciblant l'analyse linguistique et la compréhension sur la capacité à résoudre un problème (transfert). Au moyen d'une stratégie cognitive et de techniques de représentations, le jeune est entraîné de façon explicite à développer sa compréhension du problème en s'appuyant, notamment, sur le séquençage, l'annonce anticipée des étapes de traitement, l'auto-questionnement et la schématisation. La démarche, d'abord guidée, évolue vers une diminution progressive de l'étayage afin de favoriser un apprentissage sans erreur.

L'hypothèse générale est que l'intervention ciblant l'automatisation des étapes de traduction et d'intégration à travers la stimulation des différents niveaux de représentations mentales d'un énoncé de problème permettrait au jeune d'améliorer ses performances en résolution de problèmes. Les hypothèses opérationnelles sont :

Hypothèse 1a : L'intervention ciblant l'analyse linguistique et la compréhension d'un énoncé permettra l'amélioration de l'analyse linguistique d'un énoncé. Les jeunes ayant un TAM amélioreront leur performance de compréhension au niveau de la surface du texte, de

la base du texte (microstructures et extraction de la macrostructure réalisable sans stratégies inférentielles) à l'issue de l'intervention. Un effet spécifique de l'intervention sera objectivé par l'obtention d'un meilleur score en ce domaine au post-test qu'au pré-test.

Hypothèse 1b : L'intervention ciblant l'analyse linguistique et la compréhension d'un énoncé permettra l'amélioration de la compréhension d'un énoncé. Les jeunes ayant un TAM amélioreront leur performance sur l'extraction de la macrostructure (nécessitant des stratégies inférentielles) et l'élaboration du modèle de situation à l'issue de l'intervention. Un effet spécifique de l'intervention sera objectivé par l'obtention d'un meilleur score en ce domaine au post-test qu'au pré-test.

Hypothèse 2 : L'intervention ciblant l'analyse linguistique et la compréhension d'un énoncé permettra l'amélioration de la résolution de problème. Les jeunes ayant un TAM amélioreront leur performance sur la procédure de résolution globale du problème à l'issue de l'intervention qui ne cible pas les étapes de planification, d'exécution des calculs et d'auto-contrôle du résultat. Un effet de Transfert (T) de l'intervention sera objectivé par l'obtention d'un meilleur score en ce domaine au post-test qu'au pré-test.

Hypothèse 3 : Les jeunes ayant un TAM n'amélioreront pas leur performance sur une compétence non ciblée comme la fluence arithmétique (mesure contrôle). Aucun effet spécifique de l'intervention ne sera objectivé (obtention de résultats identiques) sur des séries d'additions, soustractions, multiplications et divisions au pré et post-test.

1. Procédure générale.

1. 1. Déroulement.

L'étude a comporté deux phases principales : la première phase a porté sur le développement, à partir d'un prototype de matériel d'intervention conçu par Lafay et Helloin, de notre outil d'intervention (d'avril à septembre 2018) et la seconde phase sur son expérimentation auprès de nos participantes (d'octobre 2018 à janvier 2019).

Cette seconde phase d'expérimentation s'est déroulée selon quatre étapes successives, séparées par une semaine d'intervalle : (1) le recrutement, (2) le pré-test, (3) l'intervention et (4) le post-test. Chaque étape a été menée par la même examinatrice et proposée aux jeunes individuellement.

Les rencontres ont eu cours sur le temps des séances d'orthophonie hebdomadaires des jeunes ; une rencontre hebdomadaire supplémentaire a été aménagée pour l'une d'elles à partir de novembre 2018 (vue au cabinet, en la présence de l'orthophoniste, puis aussi à domicile). L'autre jeune a été vue uniquement à domicile.

Des règles d'éthique ont présidé à chaque étape de l'expérimentation. Afin de préserver la qualité de la relation thérapeutique instaurée avec l'orthophoniste, il a été assuré de s'ajuster au rythme propre des jeunes, de communiquer à leurs parents l'objet des interventions réalisées, d'apporter des réponses aux questions soulevées et de réorienter, le cas échéant, vers l'orthophoniste.

1. 2. Plan de la recherche.

La recherche présentée est quasi-expérimentale et basée sur l'étude de cas multiples. L'efficacité de l'intervention proposée a été évaluée par un paradigme expérimental de type simple où le changement de phases suit une progression ABA². L'application de ce paradigme a nécessité d'établir au préalable une ligne de base correspondant ici au niveau d'efficacité de chaque participant en résolution de problèmes. Ce niveau d'efficacité a été déterminé à travers plusieurs mesures recueillies avant et après l'intervention, auprès de chaque participant. Les étapes de recrutement, pré-test et post-test, ont permis le recueil des variables dépendantes (VD) permettant d'évaluer l'efficacité (mesures A pour l'effet d'Apprentissage et T pour l'effet de Transfert) et la spécificité (mesure Ctrl- contrôle) de

² avec comme phases A : pré-test - B : Intervention - A : post-test.

l'intervention orthophonique expérimentée qui constitue la variable indépendante (VI). Le plan de la recherche est récapitulé dans la Figure 2.

Les mesures, leur modalité de recueil ainsi que leur exploitation selon les objectifs ciblés par la remédiation seront décrits infra.

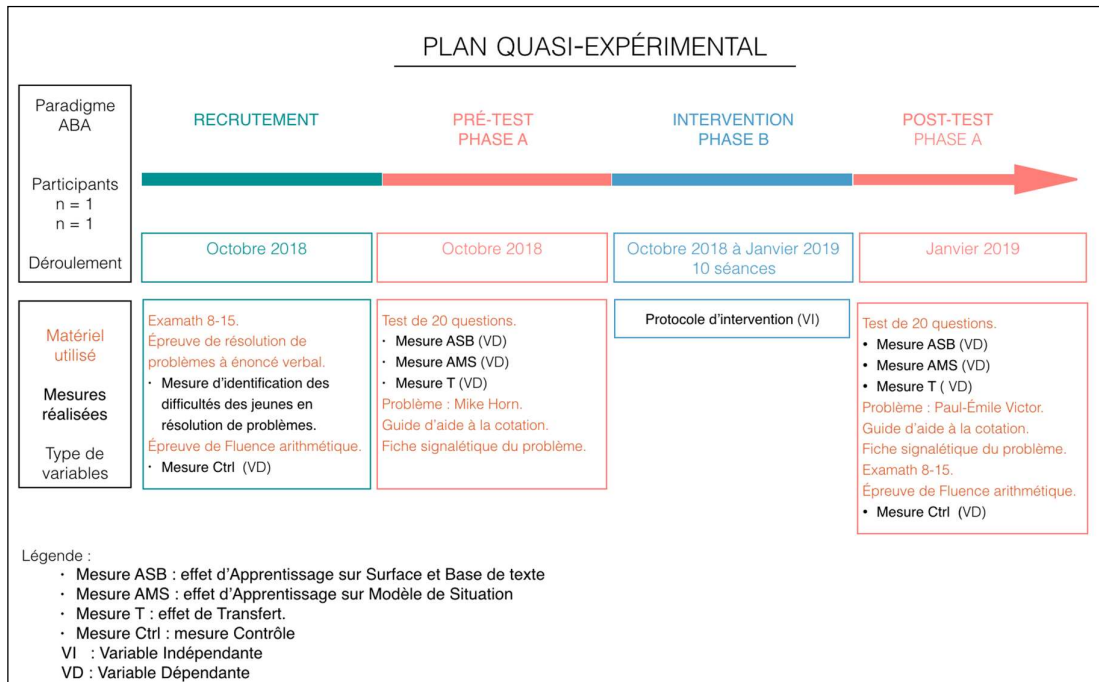


Figure 2 : Plan de la recherche

2. Conception et développement de l'outil d'intervention.

L'outil d'intervention orthophonique développé lors de la première phase de l'étude comprend trois supports principaux : un outil de collecte de données, une banque de problèmes dédiés à l'intervention et un protocole d'intervention.

2. 1. Outil de collecte de données.

L'outil de collecte de données se compose lui-même de 3 fichiers.

Le fichier 1 comprend une banque de 23 problèmes dédiés au pré-test et 23 autres dédiés au post-test, de structures additive et multiplicative rigoureusement équivalentes. Ces 46 problèmes constituent des déclinaisons du prototype initial de Lafay et Helloin et ont été élaborés en intégrant le contrôle des variables suivantes : (a) le type de texte proposé est informatif ; (b) une thématique commune « Aventure » constitue la trame rédactionnelle des problèmes afin que ceux-ci soient le plus comparable possible, mais les textes diffèrent pour éviter les effets liés à la reprise d'un lexique strictement identique (Mike Horn en pré-test

vs. Paul-Émile Victor en post-test). La fréquence du lexique relatif au thème choisi a été contrôlée avec la base de données Novlex; (c) chacun des problèmes proposés en pré et post-test contient un nombre identique de données chiffrées, personnages, professions, lieux mentionnés et de mots au total, à plus ou moins 5 mots près.

Le fichier 2 est un Test unique de 20 questions applicables aux 46 problèmes de la banque. Ce test, proposé en pré et post-tests, vise à mesurer les capacités du patient sur les trois composantes ciblées par le protocole d'intervention : a) Extraire les informations explicites du texte. Huit questions portent sur la surface et la base du texte contribuant aux étapes de Traduction-Intégration du problème (ex. Où l'action se passe-t-elle ?) ; b) Inférer à partir des éléments du texte et de connaissances personnelles. Six questions portent sur l'élaboration du modèle de situation contribuant à l'étape d'Intégration du problème (ex. Pour parvenir à son but, que doit absolument avoir avec lui le personnage principal ?) ; c) Extraire et lier les éléments pertinents du texte pour parvenir à la résolution du problème. Six questions portent sur la planification des actions nécessaires à la résolution du problème. Il s'agit d'évaluer si la procédure entraînée sur la surface, la base de texte et le modèle de situation produit l'effet attendu sur la résolution du problème (ex. Quelles informations chiffrées du texte ne te semblent pas intéressantes pour trouver la solution à la question posée ?).

Au cours de la passation du test, les paramètres relevés sont le nombre de présentations orales de la question (2 maximum), le nombre de retours au texte faits par l'enfant ainsi que son temps de réponse. Selon les questions, la cotation est binaire (réussite vs échec) ou varie en fonction de la réponse fournie afin de recueillir un éventail plus large de conduites. Le barème est établi sur 49 points au total.

Le test a été élaboré en contrôlant les variables suivantes : (a) une présentation orale de la question est réalisée par l'examineur, (b) une présentation visuelle de la question permet au participant de la lire, en parallèle. Seule une question apparaît par page et est suivie d'une page blanche, (c) ni le temps de passation du test ni le nombre de retours au texte réalisé pour répondre aux questions ne sont limités, (d) la formulation des questions du test diffère de celle des questions posées en intervention afin de neutraliser un effet de l'entraînement à la tâche lors du post-test, (e) seize questions demandent une réponse orale courte, trois demandent une réponse parmi un choix multiple, une réponse est rédactionnelle (trois lignes), (f) les questions n'excèdent pas deux lignes. L'ordre de présentation des questions est fixe.

Enfin, le fichier 3 comprend une « Feuille de route » pour consigner les observations (ex. prise d'informations par balayage du texte ou par relecture intégrale, etc.) ainsi qu'une « Fiche signalétique du problème » facilitant l'identification des caractéristiques des problèmes proposés en pré et post-tests ainsi que le suivi de l'évolution du patient.

2. 2. Banque de problèmes dédiés à l'intervention.

Les problèmes dédiés à l'intervention abordent différentes thématiques en lien avec les goûts du public ciblé (ex. défi sportif, concert, etc.). Chaque problème est assorti de questions en lien avec la thématique développée. Ces problèmes sont modifiables par l'orthophoniste pour que le thème choisi par le patient puisse être adapté à ses difficultés ; par exemple, le thème « Japon » développé sur un problème multiplicatif de type comparaison pourra être décliné en une autre structure sémantique de problème. Les variables contrôlées pour ces problèmes sont : (a) le type de texte proposé (informatif ou narratif), (b) le nombre de données pertinentes et non pertinentes à la résolution du problème, (c) le mode de présentation des valeurs numériques (en lettres, en chiffres, implicite), (d) la présentation des problèmes (police, taille, interligne, etc.).

2. 3. Protocole d'intervention.

Un protocole d'intervention guidant l'orthophoniste dans la progression du traitement du problème est proposé au patient. Ce document détaille le séquençage des quatre étapes principales de l'intervention : (a) Lecture du problème, (b) Stimulation de la représentation mentale de la surface et de la base du texte, (c) Stimulation de la constitution du modèle de situation du texte par la réalisation d'inférences, et (d) Stimulation de la planification de la résolution de problème. Chaque étape intègre différentes tâches décrites dans la section 3.

3. Expérimentation de l'outil d'intervention.

À l'issue de la phase de conception de l'outil d'intervention, la seconde phase de notre étude a consisté en son expérimentation auprès de deux patients.

3. 1. Participants.

3. 1.1. Recrutement.

Le recrutement a été réalisé au sein de la clientèle de deux orthophonistes libérales rennaises. Les critères d'inclusion étaient de : (a) avoir été préalablement identifié, à l'issue d'un bilan orthophonique, comme présentant un trouble des apprentissages en

mathématiques caractérisé par des difficultés du raisonnement mathématique (avec ou sans dyscalculie primaire) selon les critères diagnostiques du DSM-5, (b) bénéficier de soins orthophoniques depuis plus d'un an (AMO 10.2), (c) avoir le français pour langue maternelle, et (d) être scolarisé dans des classes allant du CM2 à la 4ème. Les critères d'exclusion étaient de présenter : (a) des troubles neurodéveloppementaux associés (ex. Trouble Développementale du Langage, autre trouble des apprentissages), (b) une acuité visuelle ou auditive non corrigée, (c) des troubles neurologiques ou mentaux, ou (d) un trouble psychosocial. À l'issue d'une information donnée à l'enfant et ses parents sur l'objet de la recherche et la disponibilité requise, un consentement écrit des parents a été recueilli. Un consentement verbal des jeunes a été recueilli.

3. 1. 2. Description des participants.

Les participants inclus sont deux jeunes filles, Marine et Valentine³, respectivement scolarisées en classe de CM2 (10 ans 2 mois) et de 6ème (11 ans 5 mois) et recrutées au sein du même cabinet. Leur orthophoniste a réalisé antérieurement leur bilan au moyen de la batterie d'Exploration du Raisonnement et du Langage Associé (Legeay, Morel et Voye, 2009) qui autorise une analyse qualitative seule. L'inclusion des participants au regard des critères diagnostiques du DSM-5 a nécessité la passation d'épreuves sélectionnées au sein de la batterie normée Examath 8-15 (Lafay et Helloin, 2016), soit les épreuves de Fluence arithmétique et certaines épreuves du module de Résolution de problèmes. Marine et Valentine ont obtenu des scores situés en deçà du seuil pathologique, établi dans le DSM-5 à -1,5 écarts-types de la moyenne, sur toutes les épreuves à l'exception de la série de multiplications pour Valentine. Un trouble des apprentissages en mathématiques avec difficultés de calcul (symptôme 5) et difficultés du raisonnement mathématique (symptôme 6) a ainsi été objectivé. Les caractéristiques des participantes sont présentées en annexe C. Des variables parasites de sélection ont été considérées : (a) la *variable sexe* est présente mais alors que la littérature rapporte qu'il existerait une différence de genre dans la résolution de problèmes en faveur du sexe masculin (Zhu, 2007), nos deux participants sont de sexe féminin, (b) au sujet de la *variable niveau de capacités générales et d'efficacité intellectuelle*, l'hypothèse d'un déficit du niveau de capacités générales et d'efficacité intellectuelle pouvant influencer sur l'interprétation des effets du protocole expérimenté, a été contrôlée puis éliminée, (c) la *variable associée à l'échantillonnage* est présente puisque la

³ Les prénoms ont été modifiés afin de préserver l'anonymat des participants.

participation volontaire des sujets entraîne un biais d'auto-sélection. Une stratégie de contrôle des variables consiste à les maintenir constantes ; ceci est permis puisque notre étude n'apparie pas individuellement un participant à son cas témoin mais le compare à lui-même en pré et post-test. Les soins orthophoniques et les dispositifs d'accompagnement pédagogique ne sont pas retenus comme des variables parasites dans la mesure où ces faits sont attendus dès qu'il s'agit de recruter des sujets présentant un trouble des apprentissages au sein de cabinets orthophoniques.

3. 2. Matériel du protocole de l'étude.

Le matériel utilisé au cours des étapes de recrutement, pré-test et post-test, a permis de recueillir les mesures suivantes.

3. 2. 1. Mesure d'identification des difficultés des jeunes en résolution de problèmes.

Le module *Résolution de problèmes à énoncé verbal* (Examath 8-15 ; Lafay et Helloin, 2016), en explorant l'ensemble des structures additives et multiplicatives, vise à évaluer la capacité du jeune à comprendre et résoudre les différents types de problèmes se succédant à l'écran (présentations visuelle et auditive) et à y apporter une réponse justifiée. Les participantes ont pu résoudre le problème à l'écrit ou décrire oralement leur façon de procéder. Les points ont été attribués selon les modalités standardisées de notation de l'épreuve : l'exactitude du résultat (2 points), l'exactitude de l'opération choisie (3 points) et la cohérence de la justification apportée (1 point) ont été considérées. Les scores recueillis sur les problèmes additifs de type combinaison (sur 12 points), transformation (sur 36 points) et comparaison (sur 36 points) constituent les variables dépendantes. La passation a été interrompue selon les critères d'arrêt standardisés déterminés pour chaque type de problèmes.

Les scores obtenus à ces épreuves permettent d'identifier sur quel type de problèmes les participantes ont été en difficulté et de déterminer leur niveau d'entrée dans le protocole ; une ligne de base adaptée au profil de Marine et Valentine a ainsi été sélectionnée pour être évaluée en pré et post-test. Les scores obtenus au module *Résolution de problèmes à énoncé verbal* sont détaillés dans la partie Résultats.

3. 2. 2. Mesures des effets de l'intervention.

Le test unique de 20 questions a été conçu pour répondre à deux objectifs : évaluer les effets d'Apprentissage direct (Hypothèses 1a et 1b, mesures ASB et AMS définies infra) et de Transfert des apprentissages (Hypothèse 2, mesure T) relatifs à l'intervention. Les 20

questions, posées en pré et post-test, constituent une ligne de base procédurale (mesures ASB, AMS et T).

Pour Marine, pré et post-tests ont nécessité chacun deux séances de 30 minutes (pré-test au cabinet, post-test à domicile) ; Marine a répondu aux questions sur un texte documentaire incluant un problème additif, de type transformation par ajout, dans lequel la recherche portait sur la situation finale. Pour Valentine, pré et post-tests ont chacun nécessité une séance de 45 minutes (à domicile) ; Valentine a répondu aux questions sur un texte documentaire incluant un problème additif, de type comparaison, avec une formulation « n de plus que », dans lequel la recherche portait sur la valeur inférieure (problème inconsistant). Le type de texte, la structure sémantique de problème et la thématique étaient identiques en pré-test (aventures de Mike Horn) et en en post-test (aventures de Paul-Émile Victor).

Les mesures suivantes sont les variables dépendantes évaluant les effets de l'intervention :

- **Mesures de type A** : elles correspondent aux mesures des effets d'Apprentissage direct. Ces mesures sont obtenues à partir d'une sélection de 14 questions évaluant ce qui a été directement travaillé durant l'intervention. Ces deux sous-mesures constituent les variables dépendantes ASB et AMS.
 - **Mesure ASB** (score sur 19 points) : Les questions n°1, 4, 5, 7, 8, 9, 11 et 14 évaluent la Surface (S) et la Base (B) du texte (niveaux microstructure et macrostructure sans inférences).
 - **Mesure AMS** (score sur 13 points) : Les questions n° 2, 6, 10, 12, 13 et 20 évaluent l'élaboration du Modèle de Situation (MS) permise par les connaissances personnelles associées à l'extraction de la base de texte (niveau macrostructure avec inférences par application des macrorègles de généralisation et de construction).
- **Mesure T** : elle correspond à la mesure du Transfert des apprentissages. Cette mesure est obtenue à partir des questions n° 3, 15, 16, 17, 18 et 19 portant sur la procédure de résolution globale du problème. Elle évalue les effets de l'intervention sur un aspect non entraîné de la résolution de problème. Le score correspondant, établi sur 17 points, constitue la variable dépendante Transfert à la résolution globale (T).

La comparaison des mesures ASB et AMS recueillies en pré et post-test a évalué l'effet d'apprentissage en estimant si les stratégies entraînées par l'intervention avaient permis d'améliorer l'exactitude des réponses des deux jeunes filles sur ces composantes en post-test.

La comparaison des mesures T recueillies en pré et post-test a évalué l'effet de transfert en estimant si les stratégies entraînées par l'intervention avaient permis d'améliorer la procédure de résolution de problèmes des deux jeunes filles en post-test.

3. 2. 3. *Mesure contrôle.*

L'épreuve de *Fluence arithmétique* (Examath 8-15 ; Lafay et Helloin, 2016) vise à évaluer la récupération des faits arithmétiques en mémoire et la capacité à réaliser rapidement un calcul mental simple. Des séries de calculs ont été présentées aux participantes qui ont dû effectuer, en une minute par série, une suite de calculs affichés un à un et en ligne à l'écran. Le score obtenu pour chaque série correspond au nombre d'opérations correctement réalisées par minute. Marine a dû résoudre des additions, soustractions et multiplications. Valentine a dû résoudre le même type d'opérations plus la série de divisions, accessible seulement aux collégiens. Les scores obtenus par les deux filles sur chaque type d'opérations (sur 40 points) constituent la variable dépendante.

Les scores obtenus en pré et post-tests donnent une mesure constituant notre ligne de base contrôle (mesure Ctrl) afin de mettre en évidence les effets spécifiques de la procédure entraînée sur la résolution de problèmes. En effet, sous réserve qu'elle ne soit pas spécifiquement entraînée en parallèle à l'école, l'épreuve de *Fluence arithmétique* offre l'intérêt de présenter peu d'effet d'apprentissage dans le cadre d'une intervention ciblant la résolution de problèmes. Le détail des scores obtenus sur l'épreuve de *Fluence arithmétique* est consultable en Annexe C.

3. 3. Protocole d'intervention.

À l'issue du pré-test, l'intervention s'est déroulée sur dix séances réalisées auprès de chaque jeune. Le nombre de textes traités au cours des dix séances a varié en fonction du profil des participantes : un texte a été traité par Marine et deux par Valentine. L'intervention conduite avec Marine, initialement prévue pour se dérouler au cabinet une fois par semaine, a été étendue à domicile à partir du mois de novembre 2018 ; ce passage à deux rencontres hebdomadaires (au cabinet et à domicile) a permis de s'ajuster aux difficultés de vitesse de traitement de Marine tout en garantissant la possibilité de mener le protocole d'intervention à son terme sur au moins un texte.

L'intervention propose une progression en quatre temps s'appuyant sur le modèle intégratif présenté par Lafay et Helloin (2017). La progression a été annoncée aux jeunes pour qu'elles puissent s'y situer et l'intégrer en tant que procédure. Chaque temps du protocole

d'intervention comportait un certain nombre de tâches qui ont été proposées aux jeunes en fonction de leurs besoins. Si la réalisation spontanée de certaines d'entre elles par les participantes ne justifiaient pas d'étayage particulier, il est resté intéressant de les mentionner pour que les jeunes puissent les intégrer à la procédure.

3. 3. 1. Accéder à la surface du texte par sa lecture.

Accéder à la surface du texte repose sur l'équation de Gough et Tunmer (1986) où « Lecture = Reconnaissance x Compréhension » à laquelle peut se rajouter « + Pragmatique ». Le principe est de soutenir la jeune dans son appropriation du texte en permettant de le soulager du R de l'équation pour mieux accéder au texte et au C de l'équation. La consigne mentionnait la possibilité que le texte soit lu par la jeune (à voix haute ou non) ou par l'expérimentatrice. Elle annonçait aussi que des questions seraient posées sur le texte, qui resterait en permanence accessible et annotable par la jeune.

3. 3. 2. Stimuler la représentation mentale de la surface et de la base du texte (sans stratégies inférentielles).

Stimuler la construction de représentations mentales aux niveaux de la surface et de la base du texte vise à formaliser une démarche de questionnement requérant une recherche d'informations textuelles. À ce niveau de l'intervention, l'extraction de la macrostructure (qui correspond, pour rappel, à la composante « structure globale » de la base du texte) ne nécessite pas de stratégies inférentielles. L'intervention a consisté à pointer la densité de l'information et la nécessité de la structurer. Chaque participante a été orientée vers la réalisation d'une fiche listant différents mots interrogatifs permettant de recenser les informations et de les hiérarchiser selon leur pertinence. Un code couleur a été attribué aux mots interrogatifs puis transposé au texte lors du repérage de l'information associée au mot interrogatif. Une fois la fiche constituée, une ultime série de questions a été posée sur la surface et la base du texte ; cette tâche devait conduire les jeunes filles à s'assurer des informations qu'elles possédaient déjà et à mieux identifier celles qu'elles ignoraient encore. Selon les profils de chacune, cette étape a nécessité plus ou moins de séances. La trame de la fiche des mots interrogatifs (séquencement, code couleur) était rappelée à l'écrit par les jeunes afin d'automatiser la démarche de questionnement entraînée.

3. 3. 3. Stimuler l'extraction de la macrostructure (avec stratégies inférentielles) et l'élaboration du modèle de situation.

Ce stade de l'intervention stimule l'extraction de la macrostructure en stimulant des stratégies inférentielles. Pour cela, une nouvelle série de questions a été posée aux jeunes filles en portant leur attention sur le fait qu'il existait soit une réponse obtenue par recoupement d'indices (inférences), soit une impossibilité de réponse (information indisponible). La trame de la fiche des mots interrogatifs a été enrichie en conséquence de deux nouvelles catégories (« ce que je devine » et « ce que je ne sais pas »). La réalisation d'inférences a été soutenue par les macrorègles de généralisation et de construction. Les macrorègles ont été explicitées dans la consigne mais aussi modélisées par l'expérimentatrice ; la modélisation a évolué vers un travail collaboratif puis plus autonome du jeune. Enfin, la stimulation de l'élaboration du modèle de situation vise à amener les jeunes filles à ajouter, aux éléments extraits de la base du texte, leurs connaissances sur le monde, scripts et expériences antérieures. L'élaboration du modèle de situation a été soutenue en sollicitant l'avis des jeunes filles et en leur faisant évoquer leurs expériences personnelles afin de favoriser chez chacune d'elles la création d'une représentation mentale plus précise de la situation travaillée.

3. 3. 4. Stimuler la procédure de résolution du problème.

La stimulation de la procédure de résolution du problème vise à amener les jeunes filles à isoler les éléments pertinents du problème et à les coder. L'intervention s'est achevée par l'annotation de la question finale et le repérage des données utiles, chiffrées ou non, contenues dans le texte ou déjà reportées dans la fiche de questions (ex. « de plus que »). Le recours à la schématisation (carte heuristique, dessin) et à la manipulation (ex. jetons, frises chronologiques) a été proposé pour soutenir l'étape suivante de mise en forme du problème à travers une opération.

RESULTATS

1. Mesure d'identification des difficultés des jeunes en résolution de problèmes.

Le calcul des scores est obtenu directement par le module Résolution de problèmes de la batterie normée Examath 8-15 (Lafay et Helloin, 2016).

Marine a résolu des problèmes de structure sémantique additive. Les problèmes de type Combinaison la mettent en difficulté (score sous le percentile 5) ainsi que ceux de type Transformation (score sous le percentile 5). Les erreurs portent autant sur la réalisation du calcul que le choix de l'opération et la justification. En regard du modèle des étapes de résolution de problèmes (Ménissier, 2011), l'analyse suggère que les étapes de traduction et d'intégration sont perturbées et l'amènent à élaborer une représentation mentale imprécise ou inadaptée de la situation, ceci se trouvant renforcé par une appréhension erronée des quantités en jeu. Les étapes de planification et d'auto-contrôle sont altérées et l'obtention de résultats aberrants, s'ils sont repérés, la conduit à interroger la formulation même de l'énoncé mais pas la procédure réalisée. L'étape d'exécution des calculs est également perturbée. Bien que des difficultés aient été objectivées autant sur les problèmes de type Combinaison que de type Transformation, ces derniers ont été retenus pour constituer une ligne de base. D'un point de vue développemental, dans les problèmes de type Transformation, la recherche de l'état final est plus simple que celle de la transformation, elle-même plus simple que la recherche de l'état initial. Ces données ont contribué à préciser la ligne de base ciblant ainsi un problème additif, de type « transformation », par ajout, où l'inconnue recherchée est la situation finale.

Valentine a résolu des problèmes de structure sémantique additive. Le score obtenu sur les problèmes de type combinaison (11/12) est présenté en score brut car les normes de cette épreuve montrent une saturation des résultats parfaitement homogènes dans cette classe d'âge avec une moyenne à 12/12 (chez les 6ème-5ème). Le score recueilli est attribuable à une imprécision de la justification (-1 point), le type de problèmes Combinaison restant maîtrisé par ailleurs. Les scores obtenus sur les problèmes de type Transformation et Comparaison se situent tous deux en dessous de - 3 ET à la moyenne (percentile 5). En regard du modèle de Ménissier (2011), l'analyse qualitative suggère que les problèmes de type Comparaison sont en partie correctement résolus, à savoir ceux dont l'énoncé est consistant. En revanche, ceux dont l'énoncé est inconsistant entraînent des difficultés d'intégration des données ; le coût cognitif engagé pour élaborer un modèle de situation cohérent est trop important et conduit Valentine à renoncer à poursuivre le processus de

résolution. Afin de se situer au plus près de sa zone proximale de développement, cette observation a conduit à établir une ligne de base ciblée sur un problème additif, de type Comparaison, inconsistant, énonçant une formulation « n de plus que », où l'inconnue recherchée est la valeur inférieure.

2. Mesures des effets de l'intervention.

L'effet de la variable indépendante (intervention) a été évalué par un test t de Student appliqué aux variables dépendantes (mesures ASB, ASM, T et Ctrl). Pour chaque participante, la comparaison a porté sur la moyenne obtenue par question avant et après l'intervention ; le score par question a été ramené sur un point afin d'obtenir une même échelle de mesure sur les 20 questions posées.

L'analyse de la comparaison des deux interventions montre que des aspects du cadre de l'étude sont identiques pour les deux participantes : même nombre de semaines d'inclusion dans l'étude et d'interventions réalisées, même outil proposé par la même intervenante. Néanmoins, les résultats sont également à appréhender au regard des aspects ayant différés : nombre de séances dédiées aux pré et post-test, lieu et durée des séances, nombres de problèmes traités, type de problème traités, périodicité des séances d'intervention. Le cadre d'application de l'intervention n'est donc pas totalement identique d'une jeune à l'autre. Un tableau comparatif des deux interventions est disponible en annexe D.

2.1. Mesures des effets d'Apprentissage direct.

2.1.1. *Mesure ASB.*

Un test t de Student a été effectué sur les variables dépendantes Scores ASB selon la variable indépendante Intervention (pré vs post-test), pour chaque participante. Pour Marine, les résultats indiquent qu'il existe une différence significative entre les deux moyennes relevées par question ($t(8) = -3.653, p = .008, \eta^2 = .65$). En post-test ($m = .83, sd = .25$), sa moyenne par question portant sur la Surface et la Base de texte (hors processus inférentiels) est significativement meilleure qu'en pré-test ($m = .33, sd = .34$). Pour Valentine, les résultats obtenus ne permettent pas d'affirmer que la différence observée entre les deux moyennes relevées par question est significative ($t(8) = -1.756, p = .095$) ; l'observation d'une amélioration de sa moyenne par question lors du post-test n'a pas de valeur significative ($m = .68, sd = .45$ en prétest ; $m = .79, sd = .29$ en post-test). Toutefois, la différence est marginale, il existe 9 % de chance que la différence entre les résultats au pré et au post-tests soit significative (voir Annexe E).

L'analyse qualitative met en évidence que, pour Marine, l'information pertinente est mieux sélectionnée. Par exemple, elle ne cite plus l'intégralité des personnages du texte mais extrait ceux de sexe masculin ; elle distingue les buts et les difficultés sans confusion. L'analyse qualitative des scores de Valentine indique que la progression est plus faible peut-être parce qu'elle obtenait déjà en pré-test un score maximal sur 5 des 8 questions posées. Sa progression est optimale sur l'identification des professions du personnage principal et évolue sur le repérage de ses buts. La question requérant de dégager le thème principal (sans inférence) reste complexe pour Marine, dont le score stagne, comme pour Valentine, dont le score régresse (voir Tableau 1).

2.1.2. Mesure AMS.

Un test t de Student a été effectué sur les variables dépendantes Scores AMS selon la variable indépendante Intervention (pré vs post-test), pour chaque participante. Pour Marine comme pour Valentine, les résultats obtenus ne permettent pas d'affirmer que la différence observée entre les deux moyennes relevées par question est significative ($t(6) = -1.557, p = .18$ pour Marine et $t(6) = -1. , p = .36$ pour Valentine) ; l'observation d'une amélioration de leur moyenne par question lors du post-test n'a pas de valeur significative ($m = .25, sd = .41$ en prétest et $m = .44, sd = .5$ en post-test pour Marine ; $m = .72, sd = .44$ en prétest et $m = .88, sd = .27$ en post-test pour Valentine).

L'appréciation des scores bruts indique que la progression de Marine est faible sur ce niveau (de 3 à 6). Le gain de points est obtenu par une sélection adaptée de synonymes et une justification cohérente relative à l'identification du type de récit proposé. Les questions portant sur l'origine du personnage et les qualités nécessaires pour parvenir à son but conservent un score nul en pré-test. Pour Valentine, la progression reste faible (de 9 à 11) peut-être parce qu'elle obtenait déjà en pré-test un score maximal sur 4 des 6 questions posées. Alors qu'elle était, comme Marine, en difficulté sur la question relative aux qualités humaines, Valentine obtient le score maximal sur cet item au post-test. Elle stagne en revanche sur l'item requérant une sélection de synonymes (voir Tableau 1).

2.2. Mesure des effets du Transfert des apprentissages.

Un test t de Student a été effectué sur les variables dépendantes Scores T selon la variable indépendante Intervention (pré vs post-test), pour chaque participante. Pour Marine comme pour Valentine, les résultats obtenus ne permettent pas d'affirmer que la différence observée entre les deux moyennes relevées par question est significative ($t(6) = -1.54, p = .184$ pour

Marine et $t(6) = -1.742$, $p = .142$ pour Valentine) ; l'observation d'une amélioration de leur moyenne par question lors du post-test n'a pas de valeur significative ($m = .58$, $sd = .25$ en prétest et $m = .72$, $sd = .25$ en post-test pour Marine ; $m = .38$, $sd = .49$ en prétest et $m = .72$, $sd = .25$ en post-test pour Valentine).

L'appréciation des scores bruts indique que Marine et Valentine atteignent toutes deux en post-test le score maximal sur la question relative à l'inconnue du problème. Pour Marine, la progression est faible (de 10 à 12) : elle stagne sur les questions relatives au repérage des informations pertinentes et non pertinentes ainsi que sur la réalisation du calcul. En revanche, Valentine réalise sur ce niveau sa plus forte progression (de 7 à 12) ; sa sélection des informations pertinentes et non pertinentes s'est affinée ainsi que son choix de l'opération même si la réalisation du calcul reste erronée (voir Tableau 1).

Tableau 1 : Scores bruts obtenus par les participantes en pré et post-test au Test des 20 questions

Types de questions	Question N°	Scores bruts de Marine			Scores bruts de Valentine		
		Pré-Test	Post-test	Gain	Pré-Test	Post-test	Gain
Mesure ASB : Question sur la Surface et la Base du texte (sans inférences)	Q1	1/3	1/3		3/3	1/3	-2
	Q4	1/2	2/2	+1	2/2	2/2	
	Q5	0/2	2/2	+2	2/2	2/2	
	Q7	2/2	2/2		2/2	2/2	
	Q8	0/3	2/3	+2	0/3	3/3	+3
	Q9	0/2	2/2	+2	0/2	1/2	+1
	Q11	0/2	2/2	+2	1/2	1/2	
	Q14	1/3	2/3	+1	3/3	3/3	
Total	5/19	15/19	+10	13/19	15/19	+2	
Mesure ASM : Questions sur l'extraction de la Base du texte (avec inférences) et sur l'élaboration du Modèle de Situation	Q2	1/2	2/2	+1	2/2	2/2	
	Q6	0/2	0/2		2/2	2/2	
	Q10	0/2	0/2		2/2	2/2	
	Q12	0/2	0/2		0/2	2/2	+2
	Q13	0/3	2/3	+2	1/3	1/3	
	Q20	2/2	2/2		2/2	2/2	
Total	3/13	6/13	+3	9/13	11/13	+2	
Mesure T : Questions sur la résolution globale du problème	Q3	1/2	2/2	+1	0/2	2/2	+2
	Q15	1/3	1/3		0/3	1/3	+1
	Q16	2/3	2/3		1/3	2/3	+1
	Q17	2/3	2/3		0/3	2/3	+2
	Q18	1/3	2/3	+1	3/3	3/3	
	Q19	3/3	3/3		3/3	2/3	-1
Total	10/17	12/17	+2	7/17	12/17	+5	

Légende :

L'encadré rouge correspond au niveau pour lequel une amélioration significative (.008) a été relevée (comparaison des moyennes par question obtenues en pré et post-test)

L'encadré vert correspond au niveau pour lequel une amélioration marginale (.09) a été relevée (comparaison des moyennes par question obtenues en pré et post-test)

Les chiffres en rouge correspondent aux scores bruts améliorés en post-test.

Les chiffres en gras correspondent aux scores bruts maximum par question déjà obtenus en pré-test.

2.3. Mesure Contrôle.

Un test *t* de Student a été effectué sur les variables dépendantes Scores et Temps à l'épreuve *Fluence arithmétique* (comportant une série d'additions, de soustractions, de multiplications et de divisions) selon la variable indépendante Intervention (pré vs post-test), pour chaque participante. Pour Marine comme pour Valentine, les résultats obtenus ne permettent pas d'affirmer que la différence observée entre les deux moyennes relevées est significative sur l'ensemble des séries d'additions ($t(20) = -1. , p = .33$ pour Marine et $t(20) = 1. , p = .33$ pour Valentine), de soustractions ($t(20) = 1. , p = .33$ pour Marine et impossibilité de calculer le *t* pour Valentine car les résultats obtenus en pré et post-test sont identiques et que l'erreur standard de la différence est donc nulle), de multiplications ($t(20) = -.56 , p = .57$ pour Marine et $t(20) = -1, p = .33$ pour Valentine), de divisions ($t(20) = -1.45, p = .16$ pour Valentine). L'observation d'une amélioration de la moyenne de Marine sur les séries d'additions et de multiplications lors du post-test n'a pas de valeur significative ($m = .7, sd = .47$ en prétest et $m = .75, sd = .44$ en post-test pour les additions ; $m = .3, sd = .47$ en prétest et $m = .35, sd = .48$ en post-test pour les multiplications) et l'on observe même une régression de sa moyenne sur la série de soustractions lors du post-test ($m = .35, sd = .48$ en prétest et $m = .30, sd = .47$ en post-test). L'observation d'une amélioration de la moyenne de Valentine sur les séries de multiplications et de divisions lors du post-test n'a pas de valeur significative ($m = .55, sd = .51$ en prétest et $m = .60, sd = .50$ en post-test pour les multiplications ; $m = .0, sd = .0$ en prétest et $m = .1, sd = .3$ en post-test pour les divisions) et l'on observe même une régression de sa moyenne sur la série d'additions lors du post-test ($m = .85, sd = .36$ en prétest et $m = .80, sd = .41$ en post-test) ainsi qu'une stagnation sur la série de soustractions ($m = .45, sd = .51$ en prétest et $m = .45, sd = .51$ en post-test).

DISCUSSION

La résolution de problème est une activité complexe où la compréhension de l'énoncé constitue une étape déterminante du processus de résolution globale. Les difficultés liées à la démarche de résolution sont accrues chez les jeunes présentant un TAM. L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets d'une intervention orthophonique ciblant l'analyse linguistique et la compréhension d'un énoncé de problèmes sur l'évolution des capacités en ces domaines (apprentissage) mais aussi sur l'évolution de la capacité à résoudre un problème de manière globale (transfert), auprès de deux participantes ayant un TAM.

1. Interprétation des résultats.

1. 1. Effet de l'intervention sur la compréhension de la surface et de la base du texte.

Selon l'hypothèse 1a, nous espérions que les jeunes ayant un TAM amélioreraient leur performance de compréhension au niveau de la surface du texte et de la base du texte (microstructures et extraction de la macrostructure, réalisable sans stratégies inférentielles) à l'issue de l'intervention. Pour Marine, l'hypothèse est validée. Le constat de l'existence d'une amélioration significative a conduit à calculer la taille de l'effet ($\eta^2 = .65$) afin d'évaluer si la différence constatée à l'issue de l'intervention était suffisamment importante pour offrir un intérêt clinique. L'interprétation du résultat, en référence aux balises élaborées par Cohen (1988), indique un effet de grande taille qui vient appuyer les effets de l'intervention sur l'amélioration des performances de Marine. Les résultats suggèrent que Marine a bénéficié de l'intervention en mettant en pratique efficacement certaines composantes de l'approche proposée, dont notamment l'apprentissage explicite d'une procédure d'auto-questionnement qui lui a permis d'automatiser en partie son traitement du texte. À noter que parallèlement à notre intervention (et indépendamment), il a été réalisé pour Marine un bilan neuropsychologique dont les résultats ont mentionné des difficultés de planification. L'entraînement à une exploration méthodique et répétée du texte pourrait avoir permis à Marine de mieux structurer la gestion de cette tâche. À titre d'exemple, c'est sur l'identification des personnages, des buts à atteindre et des difficultés mentionnées dans le texte que la plus forte progression a été enregistrée pour Marine signant un meilleur traitement anaphorique.

Pour Valentine, la conclusion est plus nuancée ; si l'hypothèse n'est pas validée, une amélioration marginale est constatée sur sa capacité à élaborer des représentations mentales adaptées de la surface et de la base du texte. Ceci suggère que l'approche proposée a

potentiellement permis à Valentine d'optimiser sa compréhension du texte, même si l'obtention d'un score déjà au maximum en pré-test sur 5 des 8 questions posées a rendu moindre sa marge de progression possible. De manière qualitative, une amélioration du score brut (de 13/19 à 15/19) est relevée sur deux questions portant sur l'identification des professions et des buts du personnage ; la recherche et la gestion des informations apparaissent avoir été optimisées par l'application de la stratégie entraînée sur deux problèmes durant l'intervention. En revanche, la question requérant de dégager le thème principal du texte (sans inférer) est celle où, en post-test, une diminution du score de Valentine a été relevée et où aucune progression n'a été notée pour Marine : les deux jeunes filles ont eu tendance à reprendre littéralement les premières lignes du texte ce qui indiquerait qu'à l'issue de l'intervention, l'extraction de la macrostructure du texte reste difficile. Le maintien de difficultés chez les deux jeunes filles amène à considérer les facteurs cognitifs influençant l'efficacité en résolution de problèmes et, notamment, les habiletés en lecture. Bien qu'aucune plainte en langage oral et/ou écrit n'ait été rapportée, les participantes sont gênées par l'abondance d'informations redondantes ou accessoires du texte.

1. 2. Effet de l'intervention sur l'extraction de la macrostructure et l'élaboration du modèle de situation.

Selon l'hypothèse 1b, nous espérons que les jeunes ayant un TAM amélioreraient leur performance sur l'extraction de la macrostructure (réalisable avec stratégies inférentielles) et l'élaboration du modèle de situation, à l'issue de l'intervention. Pour Marine comme pour Valentine, l'hypothèse n'est pas validée. Aucune amélioration significative des scores n'est relevée sur leur capacité à élaborer un modèle de situation adapté au problème proposé ce qui suggère que l'approche proposée n'a pas encore permis aux jeunes filles d'optimiser ce niveau de représentation. Pour rappel, le modèle de situation s'élabore à partir de la base du texte enrichie d'inférences et de connaissances personnelles.

De manière qualitative, l'appréciation des scores bruts de Marine (de 3/13 à 6/13) révèle que ce niveau de représentation mentale reste complexe à dégager. La question appelant à mentionner trois traits de caractère supposés du héros occasionne un temps de latence important (1 minute 10). Sa réponse est inadaptée puisqu'elle énumère la nationalité et les professions du personnage. Ces éléments, disponibles dans le texte et correspondant à la surface et la base du texte, permettent de situer les difficultés de Marine et révèlent qu'elle ne peut encore accéder à un niveau de représentations nécessitant d'inférer.

Pour Valentine, l'obtention d'un score déjà au maximum en pré-test sur 4 des 6 questions posées a rendu moindre sa marge de progression possible (scores bruts de 9/13 à 11/13). Néanmoins, il apparaît que si ce niveau de représentation mentale est partiellement accessible, il reste coûteux à élaborer et Valentine a demandé à passer l'un des items attendus d'une question.

La faible progression des participantes sur ce niveau de représentation mentale peut d'abord s'expliquer par les difficultés déjà éprouvées sur le niveau précédent qui constitue, dès lors, un support fragile à la réalisation d'inférences. De plus, alors que l'efficacité en résolution de problèmes est liée à l'habileté en lecture, cette habileté dépend encore de la nature du texte lu (narratif vs informatif), sachant qu'il existe un lien significatif entre le rendement en résolution de problèmes et celui en compréhension d'un texte informatif (Voyer et al., 2012). Les textes informatifs proposés aux jeunes filles contenaient non seulement une variété de structures enchevêtrées requérant d'intégrer différentes relations logiques (description, énumération, comparaison, séquence, lien de cause à effet, etc.) mais ces textes les amenaient aussi à traiter des concepts nouveaux, riches, plus ou moins abstraits, à partir desquels elles devaient inférer. Outre des imprécisions lexicales relatives à l'âge, la présence de difficultés de langage oral aura un impact sur la capacité du jeune à traiter des expressions ou un champ lexical donné pour accéder à un plus fin niveau de compréhension. À titre d'exemple, la thématique « Festivals » abordée durant l'intervention a été amalgamée à la notion de « Fête médiévale » par Marine, rendant ainsi sa représentation mentale du texte caduque et son interprétation des données coûteuses.

1. 3. Effet de l'intervention sur la procédure de résolution globale du problème.

Selon l'hypothèse 2, nous espérions que les jeunes ayant un TAM amélioreraient leur performance sur la procédure de résolution globale du problème à l'issue de l'intervention. Pour Marine comme pour Valentine, l'hypothèse n'est pas validée. Aucune amélioration significative des scores n'est relevée ce qui suggère que l'entraînement réalisé sur une courte période et un faible nombre de textes ne permet pas encore de constater un effet de transfert sur l'efficacité de la procédure globale de résolution de problème.

De manière qualitative, l'appréciation des scores bruts de Marine (de 10/17 à 12/17) indique une faible progression. On note néanmoins qu'elle peut, en post-test, identifier précisément l'inconnue recherchée et qu'elle n'omet plus de repérer des informations chiffrées du texte. Cette progression pourrait être liée au bénéfice apporté par la stratégie d'auto-questionnement entraînée. Marine a également progressé sur le choix de l'opération à

effectuer mais la résolution reste instable ; alors que les données à additionner ont bien été repérées, elle intègre en posant l'opération des données non pertinentes qu'elle avait pourtant exclues, confirmant ainsi que l'étape d'intégration n'est pas encore aboutie.

L'appréciation des scores bruts de Valentine (de 7/17 à 12/17) indique qu'elle réalise sur ce niveau sa progression la plus importante. Ceci pourrait s'expliquer d'une part, par les appuis dont elle disposait sur les niveaux précédents et d'autre part, par l'entraînement réalisé sur deux problèmes différents qui lui aurait permis de mieux intégrer la procédure globale de résolution. Plus précisément, sa progression sur un problème inconsistant apparaît liée à une meilleure identification du type de problème et indiquerait qu'elle parvient à se distancer d'une conception intuitive pour engager un raisonnement plus analytique. Si Valentine interroge le choix de l'opération, la démarche reste coûteuse et Sanders (2018) précise que les conceptions intuitives, contrairement à l'idée répandue, ne sont pas vouées à être transitoires et disparaître sous l'effet de l'instruction mais tendent plutôt à perdurer, même chez l'adulte. De plus, la progression de Valentine reste entravée par le lexique lié à la comparaison qu'elle ne parvient pas à interpréter et que la schématisation n'aide pas. Le choix de l'opération est correct (soustraction) mais les termes sont inversés, le résultat ne la satisfait pas sans qu'une justification soit possible. L'étape d'intégration du problème pourrait être gênée par des difficultés de langage oral et/ou écrit minorant les effets de l'intervention proposée.

1. 4. Effet de l'intervention sur une compétence non ciblée.

Selon l'hypothèse 3, nous espérions que les jeunes ayant un TAM n'amélioreraient pas leur performance sur une compétence non ciblée comme la fluence arithmétique à l'issue de l'intervention (mesure contrôle). L'hypothèse est validée pour Marine comme pour Valentine. Aucune différence significative n'est relevée entre les moyennes obtenues au pré et post-test aux séries d'additions, de soustractions et de multiplications. L'intervention proposée à Marine a bien été spécifique à l'amélioration de ses compétences en compréhension de problèmes visant à améliorer leur résolution. Pour Valentine, la spécificité de l'intervention peut être appréciée tant au regard de l'amélioration marginale considérée sur la surface et la base du texte que de l'analyse qualitative de l'amélioration de ses performances sur chacune des composantes évaluées en post-test.

1. 5. Synthèse.

L'intervention ciblée, courte et individualisée stimulant l'analyse linguistique et la compréhension sur les performances en résolution de problèmes à énoncé verbal a permis l'amélioration quantitative de la compréhension de la surface et de la base du problème pour une seule des jeunes, Marine (effet d'apprentissage direct) même si une amélioration marginale est considérée pour Valentine. Contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, Marine est celle qui a le plus progressé alors que l'entraînement n'a porté que sur un texte (deux textes pour Valentine). L'intensité de l'intervention pourrait constituer un facteur explicatif puisque pour un même nombre de séances, Marine a été vue une fois par semaine puis deux fois pendant 3 semaines consécutives quand Valentine n'a été vue qu'une fois par semaine, avec une période de 2 semaines sans intervention. Les difficultés de Marine ont également nécessité de consacrer davantage de temps aux différentes étapes du protocole que pour Valentine dont les difficultés étaient moins manifestes. De plus, la différence d'effet de l'intervention peut s'interpréter au regard du degré de complexité des problèmes proposés à Marine (transformation) et Valentine (comparaison) selon lequel les problèmes de comparaison sont plus complexes que les problèmes de transformation (Fayol et al., 2005) et où l'inconsistance du problème traité par Valentine entraîne une difficulté supplémentaire. L'intervention n'a pas permis l'amélioration quantitative de la création d'un modèle de situation (non effet d'apprentissage direct) et de la performance globale en résolution de problème (non transfert) chez les deux jeunes. L'entraînement réalisé sur un à deux textes est insuffisant pour permettre d'estomper progressivement l'étayage, de systématiser la procédure apprise puis de la généraliser. De plus, la proposition de textes longs et complexes accroît la difficulté de jeunes ayant un TAM, potentiellement associé à des difficultés de langage oral et/ou écrit. Enfin, l'intervention proposée n'a pas permis d'améliorer la capacité de calcul, les améliorations observées sont en cela spécifiques.

De manière qualitative et globale, Marine et Valentine ont progressé sur chacune des composantes évaluées, non seulement en obtenant de meilleurs scores bruts mais aussi en diminuant leur délai de réponse au test et en structurant davantage leur appréhension du texte.

2. Limites de l'étude.

Plusieurs limites ont trait à la méthodologie de l'étude. Premièrement, il existe des limites liées au recrutement des participantes. Leur description ne fait pas état de la présence d'un Trouble Développementale du Langage (TDL) et/ou d'un trouble du langage écrit (ces aspects ne faisant pas l'objet d'une plainte, ils n'ont pas été évalués par l'orthophoniste) alors même

que ces troubles induisent une difficulté accrue en résolution de problème, modèrent les effets des interventions et contribuent à interpréter les résultats obtenus sur la construction des différents niveaux de représentations mentales ciblés par l'intervention. L'âge des participantes apparaît être une autre limite dans la mesure où Marine (10 ans 2 mois) et Valentine (11 ans 5mois) sont des pré-adolescentes et que les textes proposés durant l'intervention, même adaptés, sont initialement conçus pour des adolescents un peu plus âgés. Le mode de recrutement des participantes constitue aussi une limite puisque l'intervention réalisée auprès de volontaires induit nécessairement un biais de sélection.

Deuxièmement, des limites ont trait à la validité de l'outil de mesure utilisé en pré et post-test. Concernant la validité de contenu, chaque item du Test de 20 questions a été conçu de façon à couvrir les différents aspects des modèles théoriques auxquels nous nous référons. Néanmoins, certains items apparaissent non-pertinents puisque Valentine obtient déjà en pré-test un score maximum sur 11 des 20 questions du test ce qui indique que certaines questions constitueraient de trop faibles indicateurs du construit mesuré. De plus, la validité de construit du test en lien avec les caractéristiques du public ciblé n'a pas été analysée ; le test n'a encore été proposé ni à des enfants tout-venant ni à des enfants présentant un TDL et/ou un trouble du langage écrit avéré (isolé mais aussi associé à un TAM). Or, le constat d'une différence significative entre les réponses des différents groupes d'enfants et de difficultés plus importantes pour un groupe que pour l'autre appuierait la validité de construit du test ou, au besoin, permettrait de l'ajuster. Par ailleurs, le test, bien qu'élaboré en concertation, n'a pas encore fait l'objet d'un accord inter-juge.

Troisièmement, des limites sont liées à l'intervention. D'abord, la durée de l'intervention est trop courte pour constater une amélioration significative sur les deux objectifs fixés. La confrontation à un ou deux textes ne permet pas aux participantes d'aller au-delà de la première phase d'apprentissage et donc de répliquer la procédure entraînée afin de la systématiser et la transférer à un autre texte, en autonomie. Parallèlement, l'estompage progressif de l'étayage apporté ne peut être effectué que sur certains aspects de la procédure (ex. rappel des questions par les participantes d'une séance à l'autre) mais pas sur sa globalité puisque celle-ci est en cours d'apprentissage. Notons que la question de la durée optimale de l'intervention se pose d'autant plus que des troubles du langage associés à un TAM freinent l'accès aux stratégies développées par la remédiation. Une autre limite a trait à l'intensité et au rythme de l'intervention. Pour l'une des deux jeunes, exploiter un texte en profondeur et de façon intensive (deux fois par semaine) a été significativement profitable sur l'une des composantes évaluées. Si ce cadre soutient la phase d'apprentissage, il doit être

étendu de façon à soutenir également la phase nécessaire de généralisation. Les limites précédentes amènent à considérer une limite liée à la validité de contenu du matériel proposé en remédiation. Le temps important consacré à l'exploitation du texte pose la question de son adaptation aux participantes. Écrits pour un public d'adolescents, les textes sont apparus trop longs et trop denses au regard du profil cognitif des deux jeunes filles. Les facteurs de complexité linguistique tels que les aspects quantitatifs du texte (nombre de mots, longueur des phrases), les aspects morphosyntaxiques, le registre de vocabulaire, le type de texte proposé ou encore le nombre d'informations linguistiques et numériques non pertinentes, etc. ont constitué une source de difficulté pour les participantes même si les textes avaient été partiellement modifiés avant de leur être proposés. La pertinence thématique apparaît moins devoir être remise en question, les textes ayant été en adéquation avec les références et les goûts des participantes.

Enfin, de façon plus générale, l'étude de cas multiple a été retenue à ce stade de l'expérimentation pour évaluer, à travers des mesures répétées, la variabilité intra-individuelle attribuable à l'efficacité de notre intervention. Cependant, les critères de qualité d'une étude de cas (description des participants, variable dépendante, variable indépendante, ligne de base, contrôle expérimental et validité interne, validité externe, validité sociale) établis par Horner et al. (2005) ne sont pas tous satisfaits, limitant l'interprétation scientifique des résultats. De plus, statuer en faveur de l'efficacité de l'intervention fondée sur des données probantes n'est pas permis dans la mesure où les mêmes auteurs ont établi qu'une pratique est considérée comme basée sur des preuves si : 5 études de cas ou plus atteignent les critères de haute qualité (cf. indicateurs de qualité supra), les études sont conduites par au moins 3 chercheurs différents dans au moins 3 zones géographiques différentes, la collection d'études contient au moins 20 participants. Les résultats constituent une première évaluation des effets de l'intervention élaborée et permettra les ajustements futurs.

3. Implications cliniques.

La progression significative de Marine et marginale de Valentine sur l'une des composantes évaluées mais aussi l'ensemble des résultats qualitatifs obtenus apparaissent encourageants. Poursuivre l'intervention, après y avoir apporté des ajustements, permettrait d'améliorer les processus de compréhension engagés dans la résolution de problèmes. Plus encore, sachant que les jeunes présentant des difficultés de raisonnement mathématique ont un fort risque que celui-ci soit secondaire à des difficultés de langage oral et/ou écrit, travailler de façon

ciblée chacune des strates de représentations mentales d'un texte pourrait améliorer la compréhension de texte en général. Dès lors, les perspectives cliniques sont importantes pour les orthophonistes qui disposeraient d'un outil de remédiation à exploiter plus largement auprès de leurs patients.

Sans se départir d'une certaine prudence quant aux premières conclusions émises, cette étude pourrait constituer un travail préparatoire à une étude de plus large envergure intégrant davantage des 21 indicateurs attachés aux critères décrits par Horner et al. (2005) et faisant évoluer les outils construits en première intention pour encore plus de pertinence.

4. Perspectives de recherche.

Ce travail oriente vers différents axes de recherche précisés à partir des limites considérées. Tout d'abord, il importerait de comparer les effets du protocole auprès de patients présentant un TAM (avec difficultés du raisonnement mathématique) isolé mais aussi associé à un TDL et/ou un TA en langage écrit (diagnostiqués à l'issue d'un bilan normé). L'efficacité de l'intervention serait mieux circonscrite et ses supports opérants, selon les différents profils de patients, seraient mieux identifiés et donc mieux exploités en séance. D'autre part, proposer l'intervention (en différents lieux, par différents expérimentateurs) à un plus grand nombre de participants dont la tranche d'âge serait plus large augmenterait son niveau de preuves.

Ensuite, dans la perspective où l'étude serait dupliquée auprès de différents profils de participants, des mesures introduisant des variables telles que le nombre de textes travaillés, la durée, la périodicité de l'intervention pourraient être effectuées afin de tenter de dégager un seuil à partir duquel une amélioration significative serait constatée auprès de patients ayant un TAM isolé ou associé à un TDL et/ou un TA en langage écrit. Cliniquement, cette information permettrait à l'orthophoniste et aux patients adolescents de donner un cadre à la prise en soins et de soutenir la motivation. De plus, en considérant que l'intervention ajustée permettrait de constater une amélioration significative sur l'ensemble des composantes évaluées (ASB, AMS, T), d'autres mesures pourraient être établies afin d'évaluer les effets de généralisation (à des problèmes du même type que celui entraîné, à des problèmes de difficulté supérieure, etc.) mais aussi les effets de maintien à distance de l'intervention (mesures à 3, 6 ou encore 12 mois). La possibilité de bénéficier d'effets durables constitue un bénéfice évident pour le patient mais a également un retentissement clinique important au regard du flux de patients gérés par l'orthophoniste.

Enfin, proposer une intervention plus longue permettrait d'optimiser le protocole en proposant une phase d'apprentissage, durant laquelle un texte est travaillé intensivement et en profondeur, puis une phase de généralisation durant laquelle au moins deux textes sont travaillés en révision cumulative pour ancrer les processus entraînés, avec un estompage progressif de l'étayage.

5. Conclusion.

Résoudre un problème requiert d'accéder au sens du texte pour ensuite pouvoir apporter une solution mathématique. Le processus de résolution mobilise de nombreuses habiletés cognitives permettant d'engager, notamment, une démarche active de compréhension du texte puisqu'il apparaît que la compréhension s'élabore à travers différents niveaux de représentations mentales fondamentales à la réussite en résolution de problèmes.

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité d'une intervention ciblée, courte et individualisée stimulant l'analyse linguistique et la compréhension afin d'améliorer les performances en résolution de problèmes à énoncé verbal de jeunes patientes TAM.

Les résultats ont montré que la compréhension de la surface et de la base du texte du problème est améliorée de façon significative pour l'une des jeunes et de façon marginale pour l'autre ; l'amélioration de l'élaboration d'un modèle de situation et de la performance globale en résolution de problème n'a pas été attestée de façon significative chez les deux jeunes. Néanmoins, l'analyse qualitative montre que l'intervention aura permis à chacune d'elles de progresser sur toutes les composantes considérées. Ces résultats pourraient enjoindre à poursuivre l'élaboration de l'intervention en l'ajustant au regard des pistes abordées dans la discussion (ex. spécificité des participants, allongement de la durée de l'intervention) et ceci d'autant plus que des dispositifs d'intervention adressés aux orthophonistes, faisant référence aux recherches issues de l'approche cognitive des mathématiques, restent à créer et évaluer.

REFERENCES

- American Psychiatric Association. (2015). DSM-5®: *manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Traduction par P. Boyer, C.-B. Pull, & M.-C. Pull-Erpelding, Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.
- Arzoumanian, P., & Dalibard, E. (2015). CEDRE 2014 - Mathématiques en fin de collège: une augmentation importante du pourcentage d'élèves de faible niveau. Consulté à l'adresse [cedre-2014-mathematiques-college_422260.pdf](#)
- Barrouillet, P. & Camos, V. (2003). Savoirs et savoir-faire arithmétiques et leurs déficiences. Dans Kail M. & Fayol M. (dir.), *Les sciences cognitives et l'école*. Paris : PUF, p. 307-351.
- Boonen, A. J., de Koning, B. B., Jolles, J., & van der Schoot, M. (2016). Word problem solving in contemporary math education: A plea for reading comprehension skills training. *Frontiers in psychology*, 7, 191. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00191>
- Boonen AJ, Van Der Schoot M, Van Wesel F, De Vries MH, Jolles J. (2013). What underlies successful word problem solving ? A path analysis in sixth grade students. *Contemporary Educational Psychology*, 38(3), 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.05.001>.
- Coquin-Viennot, D. (2001). Problèmes arithmétiques verbaux à l'école: pourquoi les élèves ne répondent-ils pas à la question posée ? *Enfance*, 53(2), 181-196. <https://doi:10.3917/enf.532.0181>
- Cummins, D. D., Kintsch, W., Reusser, K. and Weimer, R. (1988). The role of understanding in solving word problems. *Cognitive psychology*, 20(4), 405-438.
- Daroczy, G., Wolska, M., Meurers, W. D., & Nuerk, H. C. (2015). Word problems: A review of linguistic and numerical factors contributing to their difficulty. *Frontiers in psychology*, 6.
- De Corte, E. & Verschaffel, L. (1991). Some factors influencing the solution of addition and subtraction word problems. Dans Durkin, K. & Shire, B. (Eds), *Language and Mathematical Education*, 117-130. Milton Keynes : Open University Press.
- De Corte, E., Verschaffel, L. et Van De Ven, A. (2001). Improving text comprehension strategies in upper primary school children: a design experiment. *British Journal of Educational Psychology*, 71(4), 531-559.

- Evans, J. S. B., & Stanovitch, K. E. (2013). Dual-Process Theories of Higher Cognition : Advancing the Debate. *Perspectives on psychological science*, 8(3), 223-41. <https://doi.org/10.1177/1745691612460685>
- Fayol, M., Camos, V., & Roussel, J. L. (2000). Acquisition et mise en œuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans. *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*, 33-58.
- Fayol, M., Thevenot, C., & Devidal, M. (2005). La résolution de problèmes. Dans Noël M-P (Dir) *La dyscalculie* (p193-222). Marseille : Solal.
- Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (2002). Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of learning disabilities*, 35(6), 564-574.
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Compton, D. L., Hamlett, C. L., & Wang, A. Y. (2015). Is word-problem solving a form of text comprehension ? *Scientific Studies of Reading*, 19(3), 204-223.
- Gentner, D. & Maravilla, F. (2018). Analogical reasoning. Dans Ball, L. J. & Thompson, V. A. (Eds), *International Handbook of Thinking & Reasoning*, 186-203). NY Psychology Press. https://doi:10.1207/s15516709cog0702_3.
- Gersten, R., Chard, D. J., Jayanthi, M., Baker, S. K., Morphy, P., & Flojo, J. (2009). Mathematics Instruction for Students With Learning Disabilities: A Meta-Analysis of Instructional Components. *Review of Educational Research*, 79(3), 1202-1242. <https://doi.org/10.3102/0034654309334431>.
- Gliner, G. S. (1989). College students organization of mathematics word problems in relation to success in problem solving. *School Science and Mathematics*, 89(5), 392-404.
- Goulet, M. & Voyer, D. (2014). La résolution de problèmes écrits d'arithmétique: le rôle déterminant des inférences. *Éducation et francophonie*, 42(2), 100–119. <https://doi.org/10.7202/1027908ar>
- Gough, P. B., & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, Reading, and Reading Disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6–10. <https://doi.org/10.1177/074193258600700104>
- Germain, C., & Lafay, A. (en révision). Effets des interventions en résolution de problèmes à énoncé verbal chez les collégiens ayant un trouble des apprentissages et/ou des difficultés en mathématiques : revue de littérature systématique. *Revue Canadienne de Psychologie*.

- Houdé, O. (2018). *Le raisonnement: « Que sais-je ? » n° 1671*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Horner R. H., Carr, E. G., Halle, J., McGee, G., Odom, S., & Wolery, M. (2005). The Use of Single-Subject Research to Identify Evidence-Based Practice in Special Education. *Exceptional Children*, 71(2), 165-179. <https://doi.org/10.1177/001440290507100203>.
- Jitendra, A. K., Nelson, G., Pulles, S. M., Kiss, A. J., & Houseworth, J. (2016). Is mathematical representation of problems an evidence-based strategy for students with mathematics difficulties ? *Exceptional Children*, 83 (1), 8-25. <https://doi.org/10.1177/0014402915625062>.
- Johnson-Laird, P. N. (1995). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness* (No.6). Harvard University Press.
- Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2016). *Examath 8-15, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. Grenade : HappyNeuron.
- Lafay, A., Helloin, M.-C. (2017). Examath 8-15, une batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques. *Rééducation Orthophonique*, (270), 145-165.
- Ménissier, A. (2011). Analyser, comprendre et travailler les problèmes arithmétiques. Dans Brun V., George-Poracchia F., Habib M., Noël M.-P. (dir), *Calcul et dyscalculies : des modèles à la rééducation* (p. 79-129). Paris : Masson.
- Montague, M., Krawec, J., Enders, C., & Dietz, S. (2014). The effects of cognitive strategy instruction on math problem solving of middle-school students of varying ability. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 469.
- Morsanyi, K., & Szűcs, D. (2014). The link between mathematics and logical reasoning. *The Routledge International Handbook of Dyscalculia and Mathematical Learning Difficulties*, 101.
- OCDE (2017), PISA 2015 Assessment and Analytical Framework : Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, PISA, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>
- Riley, M. S., Greeno, J. G., & Heller, J.I . (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. Dans *The development of mathematical thinking*. Orlando, FL : Academic press, Inc.
- Rossi, S. & Lubin, A. (2017). Biais de raisonnement dans la cognition mathématique : origines et remédiation. *Rééducation Orthophonique*, (269), 161-176.

- Swanson, H. L., & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology, 96*(3), 471.
- Sander, E. (2018). La résolution de problèmes à énoncé verbaux. *A.N.A.E., 156*, 611-619.
- Thevenot, C. (2017). Arithmetic Word Problem Solving: The Role of Prior Knowledge. Dans *Acquisition of Complex Arithmetic Skills and Higher-Order Mathematics Concepts*, 47-66. Academic Press.
- Thevenot, C., Coquin, D., & Verschaffel, L. (2006). La résolution de problèmes. Dans Barrouillet P., Camos V. (dir.), *La cognition mathématique chez l'enfant*. Marseille : Solal.
- Thevenot, C., & Fayol, M. (2018). Avant-propos - L'arithmétique cognitive : de la recherche aux interventions. *A.N.A.E., 156*, 527-529.
- van Dijk, T. A., Kintsch, W., & Van Dijk, T. A. (1983). Strategies of discourse comprehension.
- van Garderen, D. (2007). Teaching Students With LD to Use Diagrams to Solve Mathematical Word Problems. *Journal of Learning Disabilities, 40*(6), 540-553. <https://doi.org/10.1177/00222194070400060501>
- Verschaffel, L., Greer, B., & De Corte, E. (2000). *Making sense of word problems*, XVII-X203. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Voyer, D., & Goulet, M.-P. (2013). La compréhension de problèmes écrits d'arithmétique au regard de l'habileté en lecture d'élèves de sixième année (11ans). *Revue des sciences de l'éducation, 39*(3), 491-513. <https://doi.org/10.7202/1026310ar>
- Wang, A. Y., Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (2016). Cognitive and linguistic predictors of mathematical word problems with and without irrelevant information. *Learning and individual differences, 52*, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.10.015>
- Zheng, X., Flynn, L. J., & Swanson, H. L. (2013). Experimental Intervention Studies on Word Problem Solving and Math Disabilities: A Selective Analysis of the Literature. *Learning Disability Quarterly, 36*(2), 97-111. <https://doi.org/10.1177/073194871244277>.
- Zhu, Z. (2007). Gender differences in mathematical problem-solving patterns: A review of literature. *International Education Journal, 8*(2), 187-203.

LISTE DES ANNEXES

- Annexe A : Classification des problèmes additifs selon Riley, Greeno et Heller, 1983.
- Annexe B : Classification des problèmes multiplicatifs selon Ménissier, 2011.
- Annexe C : Tableau des caractéristiques des participantes ($n = 2$).
- Annexe D : Tableau comparatif de l'intervention menée auprès de Marine et Valentine.
- Annexe E : Tableau des résultats quantitatifs établis d'après les moyennes par question (sur 1 point) obtenues par Marine et Valentine, selon une répartition par mesures ASB, AMS et T.

Annexe A : Classifications des problèmes additifs selon Riley, Greeno et Heller, 1983.

Exemples de problèmes de type : combinaison ; changement ; comparaison.

Problèmes additifs.	
Inconnue recherchée	Problèmes de combinaison.
Composition <i>Recherche du tout.</i>	Benny a 4 fleurs et Lou a 6 fleurs. Combien ont-ils de fleurs ensemble ?
Complément <i>Recherche d'une des deux parties.</i>	Benny et Lou ont ensemble 10 fleurs. Benny a 4 fleurs. Combien Lou a-t-elle de fleurs ?
Problèmes de changement.	
Transformation additive. <i>Recherche de l'état final</i>	Benny avait 4 fleurs. Puis Lou lui a donné 6 fleurs. Combien de fleurs a maintenant Benny ?
Transformation additive. <i>Recherche de la transformation.</i>	Benny avait 4 fleurs. Puis Lou lui en a offert. Il en a maintenant 6 Combien de fleurs Benny a-t-il reçu ?
Transformation additive. <i>Recherche de l'état initial</i>	Benny avait des fleurs. Lou lui en a offert 6. Il en a maintenant 10. Combien de fleurs Benny avait-il au début ?
Transformation négative. <i>Recherche de l'état final</i>	Lou avait 10 fleurs. Elle en a offert 4 à Benny. Combien de fleurs Lou a-t-elle maintenant ?
Transformation négative. <i>Recherche de la transformation.</i>	Lou avait 10 fleurs. Puis elle en a offert à Benny. Elle en a maintenant 6. Combien de fleurs Lou a-t-elle offert à Benny.
Transformation additive. <i>Recherche de l'état final.</i>	Lou avait des fleurs. Puis elle en a offert 4 à Benny. Elle en a maintenant 6. Combien de fleurs avait Lou au début ?
Problèmes de comparaison.	
Comparaison additive <i>Recherche de la valeur supérieure.</i>	Benny a 4 fleurs. Lou en a 6 de plus. Combien Lou a-t-elle de fleurs ?
Comparaison additive <i>Recherche de la différence.</i>	Lou a 10 fleurs. Benny a 4 fleurs. combien Lou a-t-elle de fleurs de plus que Benny ?
Comparaison additive <i>Recherche de la valeur inférieure.</i>	Lou a 10 fleurs. C'est 6 fleurs de plus que Benny. Combien Benny a-t-il de fleurs ?
Comparaison négative <i>Recherche de la valeur supérieure.</i>	Benny a 4 fleurs. C'est 6 fleurs de moins que Lou. Combien Lou a-t-elle de fleurs ?
Comparaison négative <i>Recherche de la différence.</i>	Lou a 10 fleurs. Benny a 4 fleurs. Combien de fleurs Benny a-t-il de moins que Lou ?

Comparaison négative <i>Recherche de la valeur inférieure.</i>	Lou a 10 fleurs. Benny a 6 fleurs de moins qu'elle. Combien Benny a-t-il de fleurs ?
--	---

Annexe B : Classification des problèmes multiplicatifs selon Ménessier, 2011.

Exemples de problèmes de type : proportionnalité simple et directe ; comparaison multiplicative des grandeurs ; proportionnalité simple et composée ; proportionnalité multiple.

Problèmes multiplicatifs.

Inconnue recherchée	Problèmes proportionnalité simple et directe.
<i>Recherche de la quantité d'unités</i>	Charlie a 18 €. Il veut acheter des mangas valant 6 € chacun. Combien de mangas peut-il acheter ?
<i>Recherche de la valeur unitaire.</i>	Charlie avait 18 €. Il a acheté 3 mangas. Combien coûte un manga ?
<i>Recherche de la valeur multipliée.</i>	Charlie souhaite acheter 3 mangas coûtant 6 € chacun. Combien va-t-il payer ?
	Problèmes de comparaison multiplicative des grandeurs.
Comparaison multiplicative. <i>Recherche de la valeur supérieure</i>	Charlie a 24 figurines. C'est 4 fois plus que Lola. Combien de figurines possède Lola ?
Comparaison multiplicative. <i>Recherche du rapport scalaire.</i>	Lola a 6 figurines et Charlie en a 24. Combien de fois plus de figurines possède Charlie par rapport à Lola ?
Comparaison multiplicative. <i>Recherche de la valeur inférieure.</i>	Lola possède 6 figurines. Charlie en a 4 fois plus que Lola. Combien de figurines possède Charlie ?
Comparaison de division <i>Recherche de la valeur supérieure</i>	Charlie a 24 figurines. Lola en a 4 fois moins que Charlie. Combien de figurines possède Lola ?
Comparaison de division <i>Recherche du rapport scalaire.</i>	Lola a 6 figurines et Charlie en a 24. Combien de fois moins de figurines possède Lola par rapport à Charlie ?
Comparaison de division <i>Recherche de la valeur inférieure.</i>	Lola a 6 figurines. C'est 4 fois moins que Charlie. Combien de figurines possède Charlie ?
	Problèmes de proportionnalité simple composée.
Recherche de la relation globale.	Paulo achète 2 caisses de Champomette. Il y a 6 bouteilles dans une caisse de Champomette et une bouteille coûte 4 €. Combien doit payer Paulo pour ses achats ?

Recherche d'une des deux relations de proportionnalité.	Paulo achète 2 caisses de Champomette et paye en tout 48 €. Il y a 6 bouteilles dans une caisse de Champomette. Quel est le prix d'une seule bouteille ?
Recherche de la première grandeur.	Arthur a acheté 8 bouteilles, du Pepso et du Fanti, qu'il a rangé dans des caisses identiques. Chaque caisse contient des bouteilles des deux marques et il y a deux bouteilles de chaque marque. Combien de caisses a t'il utilisé pour ranger ses bouteilles ?
Problèmes de proportionnalité multiple.	
Recherche d'une des deux grandeurs.	Pendant 5 jours, Lou, Benny et Charlie ont fait un stage de roller avec le club Glissmax qui leur a demandé de payer en tout 180 euros. Quel était le prix du stage de roller par jour et par personne ?
Recherche de la grandeur-produit.	Lou, Benny et Charlie ont fait un stage de roller de 5 jours avec le club Glissmax. Le stage a coûté 12 euros par jour et par personne. Quelle somme les amis ont-ils donné au club Glissmax ?

Annexe C : Tableau des caractéristiques des participants (n = 2).

Variables	n = 1 Marine (CM2)	n = 1 Valentine (6ème)		
Bilinguisme	Non	Non		
Profession et Catégorie Socioprofessionnelle des parents*	5	5		
Spécification du trouble justifiant le suivi orthophonique.	Trouble de la cognition mathématique.	Trouble de la cognition mathématique.		
Fréquence du suivi orthophonique	1 fois/semaine	1 fois/semaine		
Durée du suivi orthophonique.	> à 12 mois.	> à 12 mois.		
Autres troubles neurodéveloppementaux** (TDL, autres TSA, TDA/H, etc.)	Non	Non		
Bilan neuropsychologique.	Oui	Non		
Bilan de langage.***	Oui	Non		
Nombre d'écart-types de la moyenne aux épreuves d'Examath 8-15. ****	Recrutement	Post-test	Recrutement	Post-test
	10 ans 2 mois	10 ans 5 mois	11 ans 5 mois	11 ans 9 mois
<ul style="list-style-type: none"> • Fluence arithmétique. - addition. - soustraction. - multiplication. - division 	- 2, 04 ET	- 1, 54 ET	- 1, 97 ET	- 2, 28 ET
	- 2, 14 ET	- 2, 37 ET	- 2, 36 ET	- 2, 36 ET
	- 2, 41 ET	- 2, 19 ET	- 1,47 ET	- 1, 24 ET
	non disponible	non disponible	- 2,26 ET	- 1, 89 ET
	TOTAL	- 2, 49 ET (P5)	- 2, 32 ET (P5)	- 2, 62 ET (P5)
<ul style="list-style-type: none"> • Problèmes arithmétiques à énoncés verbaux type additif : - combinaison - transformation - comparaison. 	< -3 ET	< -3 ET	11/12	< -3 ET
	épreuve arrêtée	épreuve arrêtée	< -3 ET	< -3 ET
<p>Notes : * Nomenclature PCS-ESE ; INSEE (2017) ; ** Mini DSM-5 - Critères diagnostiques ; American Psychiatric Association ; Guelfi, J.-D. et Crocq, M.-A. (2016) ; *** Exalang 8-11 ; Thibault, M.-P., Lenfant, M. et Helloin, M.-C. (2012) ; **** Examath 8-15 ; Lafay, A., Helloin, M.-C. (2016).</p>				

**Annexe D : Tableau comparatif de l'intervention menée
auprès de Marine et de Valentine.**

jour	09	16	23	30	06	13	20	24	27	01	04	08	11	15	18	22	02	03	15	19
mois	10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	01	01	01	01
année	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19
Marine					Traitement du problème 1															
	R	Pr T = 30'	Pr T = 30'		i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8		i9		i10			Po T = 30'	Po T = 30'
Valentine					Traitement du problème 1						Traitement du problème 2									
	R	Pr T = 40'		i1	i2	i3	i4	i5		i6		i7		i8				i9	i10	Po T = 45'
Légende :																				
R : recrutement.																				
violet : PrT = pré-test / PoT = post-test (temps de la séance en minutes).																				
blanc i° : 1 intervention par semaine (intervention + numéro de l'intervention).																				
vert : deux interventions par semaine																				
bleu : pas d'intervention pendant 2 semaines consécutives.																				
jaune : fin d'intervention.																				

Annexe E : Tableau des résultats quantitatifs établis d'après les moyennes par question (sur 1 point) obtenues par Marine et Valentine, selon une répartition par mesures ASB, AMS et T.

Type de questions	N° questions	Moyenne par question (sur 1pt) obtenue par Marine		Moyenne par question (sur 1pt) obtenue par Valentine	
		Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
ASB Questions sur la Surface et la Base du texte (sans inférences)	Q1	0.33	0.33	1	0.33
	Q4	0.5	1	1	1
	Q5	0	1	1	1
	Q7	1	1	1	1
	Q8	0	0.67	0	1
	Q9	0	1	0	0.5
	Q11	0.5	1	0.5	0.5
	Q14	0.33	0.67	1	1
AMS Questions sur l'extraction de la Base du texte (avec inférences) et sur l'élaboration du modèle de situation	Q2	0.5	1	1	1
	Q6	0	0	1	1
	Q10	0	0	1	1
	Q12	0	0	0	1
	Q13	0	0.67	0.33	0.33
	Q20	1	1	1	1
T Questions sur la résolution globale du problème	Q3	0.5	1	0	1
	Q15	0.33	0.33	0	0.33
	Q16	0.67	0.67	0.33	0.67
	Q17	0.67	0.67	0	0.67
	Q18	0.33	0.67	1	1
	Q19	1	1	1	0.67

Légende

L'encadré rouge correspond au niveau pour lequel une amélioration significative (.008) a été relevée (comparaison des moyennes par question obtenues en pré et post-test)

L'encadré vert correspond au niveau pour lequel une amélioration marginale (.09) a été relevée (comparaison des moyennes par question obtenues en pré et post-test)

Les chiffres en rouge correspondent à l'amélioration de la moyenne obtenue par question (sur 1 point) lors du post-test.

Titre.

Évaluation de l'effet d'une intervention orthophonique ciblant l'amélioration de la compréhension d'énoncé dans la résolution de problèmes chez les adolescents ayant un trouble des apprentissages en mathématiques.

Title.

Evaluation of the effect of a speech-language therapy intervention targeting word-problem comprehension for middle school students with mathematics learning disabilities.

Résumé.

La compréhension constitue une étape déterminante du processus de résolution de problèmes mais s'avère complexe pour les collégiens présentant un Trouble des Apprentissages en Mathématiques. Cette étude teste l'hypothèse selon laquelle la mise en œuvre d'un protocole d'intervention orthophonique, stimulant l'analyse linguistique et les représentations mentales de l'énoncé, améliore la compréhension et la performance globale en résolution de problèmes. L'évaluation des effets de l'intervention auprès de deux participantes TAM (en CM2 et 6^{ème}) indique, pour l'une d'elles, une amélioration significative sur la Surface et la Base du texte. Une amélioration qualitative des performances globales des deux jeunes est constatée sur les composantes évaluées.

Mots-clés: cognition mathématique ; résolution de problèmes à énoncé verbal ; compréhension ; trouble des apprentissages ; intervention ; orthophonie.

Keywords : mathematics ; word-problem solving ; comprehension ; learning disabilities ; intervention ; speech-language therapy.