



HAL
open science

Validation d'épreuves de résolution de problèmes au sein d'une batterie informatisée (Examath) d'évaluation des troubles de la cognition mathématique

Alicia Maquelle

► To cite this version:

Alicia Maquelle. Validation d'épreuves de résolution de problèmes au sein d'une batterie informatisée (Examath) d'évaluation des troubles de la cognition mathématique. Sciences cognitives. 2016. dumas-01373160

HAL Id: dumas-01373160

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01373160>

Submitted on 28 Sep 2016

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.

**Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité en
Orthophonie**

VALIDATION D'ÉPREUVES DE RÉSOLUTION DE
PROBLÈMES AU SEIN D'UNE BATTERIE INFORMATISÉE
(EXAMATH) D'ÉVALUATION DES TROUBLES DE LA
COGNITION MATHÉMATIQUE

Présenté par Alicia Maquelle

Née le 13 décembre 1990

Sous la co-direction de :

Marie-Christel Helloin, Orthophoniste

Anne Lafay, Ph.D, orthophoniste

REMERCIEMENTS

En premier lieu, un grand merci à mes directrices de mémoire, Mesdames Marie-Christel Helloin et Anne Lafay, pour m'avoir consacré tant de temps. Leurs conseils avisés et leur soutien ont été une aide précieuse dans l'élaboration de ce travail.

Je remercie également Madame Bérengère Guillery et Madame Valérie Arnoux d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des patients et des enfants « contrôles » qui ont accepté de participer à cette étude et m'ont offert de leur temps. Merci aux nombreuses orthophonistes qui se sont mobilisées afin de m'aider dans le recrutement des patients.

Un grand merci à mes maîtres de stage, Christel, Isabelle et Marie pour leur investissement et leur gentillesse, et pour m'avoir transmis leurs connaissances et leur savoir-faire.

Merci à mes amies futures orthophonistes pour ces quatre belles années et un merci tout particulier à Marie-Elise pour sa gentillesse, sa générosité et son hospitalité.

Merci à ma famille qui m'a toujours soutenue dans ce projet.

Merci à Bruno de m'avoir encouragée et d'avoir cru en moi.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE	2
1. Résolution de problèmes arithmétiques à énoncés verbaux.....	2
1.1 Définition	2
1.2 Modèle de résolution de problèmes	2
1.3 Composantes cognitives mises en jeu.....	3
1.3.1 Composantes mnésiques.....	3
1.3.2 Fonctions exécutives	4
1.4 Présentation des classifications de problèmes.....	4
1.4.1 Classification des problèmes additifs	4
1.4.2 Classification des problèmes multiplicatifs	6
2. Dyscalculie développementale	7
2.1 Définition	7
2.2 Hypothèses cognitives explicatives	7
2.3 Liens entre habiletés numériques et arithmétiques et résolution de problèmes	8
3. Dysphasie ou trouble spécifique du langage oral (TSLO).....	9
3.1 Définition	9
3.2 Hypothèses cognitives explicatives	9
3.3 Liens entre langage et résolution de problèmes	10
4. Outils d'évaluation mathématique	11
4.1 Limites des outils existants	11
4.2 Présentation de la batterie Examath.....	11
5. Validation : les qualités psychométriques d'un test	12
5.1 La validité.....	12
5.2 La fidélité	12
5.3 Sensibilité.....	12
PARTIE EXPERIMENTALE.....	13

1.	Problématique.....	13
2.	Objectifs et hypothèses	13
3.	Méthodologie.....	14
3.1	Population	14
3.1.1	Enfants ne présentant pas de pathologie (Ctrl)	14
3.1.2	Enfants avec difficultés mathématiques (DM)	14
3.1.3	Enfants avec trouble spécifique du langage (TSL)	14
3.1.4	Tableau récapitulatif des trois cohortes.....	15
3.2	Matériel	15
3.2.1	Evaluation cognitive générale.....	15
3.2.2	Tâches expérimentales	16
3.3	Procédure générale.....	19
3.3.1	Lieu.....	19
3.3.2	Déroulement.....	19
3.4	Hypothèses opérationnelles.....	19
4.	Résultats	20
4.1	Age.....	20
4.2	Evaluation cognitive	21
4.2.1	Scores au TTR.....	21
4.2.2	Scores au Numeracy Screener	21
4.2.3	Scores à Exalang 8-11	21
4.2.4	Synthèse.....	22
4.3	Tâches expérimentales	22
4.3.1	Scores à l'ensemble des problèmes et par critères.....	22
4.3.2	Scores par types de problèmes et par critères	23
	DISCUSSION	26
1.	Interprétation des résultats	26
1.1	Hypothèse 1 : le module Résolution de problèmes, suffisamment discriminant pour permettre d'objectiver une pathologie	26

1.2	Hypothèse 2 : Le module Résolution de problèmes dispose d'une bonne validité de construit	27
1.2.1	Les TSL et les DM échoueraient de façon significative aux trois critères, mais, pour le critère Justification, l'échec des TSL serait plus important	27
1.2.2	Les TSL et les DM échoueraient par rapport aux Ctrl à l'épreuve de Gestion des énoncés mais l'échec des TSL serait plus important	28
1.2.3	Synthèse.....	30
2.	Limites du protocole et démarche clinique prospective pour l'évaluation	31
2.1	Limites méthodologiques	31
2.2	Limites et perspectives cliniques pour la batterie Examath	31
2.2.1	Pertinence de l'épreuve Proportionnalité simple composée	31
2.2.2	Critère de justification	32
2.3	Vers une démarche de l'évaluation.....	33
2.3.1	Impact du modèle choisi.....	33
2.3.2	En pratique orthophonique	34
	CONCLUSION	36
	REFERENCES.....	37
	ANNEXES	

INTRODUCTION

La résolution des problèmes est un exercice bien connu des enfants : cette tâche est en effet au centre de l'activité mathématique dans les programmes scolaires du cycle 3. (Durpaire et Mégard, 2012). Bénéficiant d'une forte valorisation institutionnelle, la résolution des problèmes est au cœur des préoccupations pédagogiques. Pour autant, toutes les études internationales s'accordent à conclure que cette activité est celle dans laquelle les élèves rencontrent le plus de difficultés (Thévenot, Coquinet Verschaffel, 2005). Si cette tâche est si complexe, c'est qu'elle mobilise de nombreuses connaissances et compétences : des connaissances factuelles, la maîtrise des techniques opératoires, le langage, la mémoire, les fonctions exécutives, etc.

La prise en charge des difficultés mathématiques fait partie des compétences des orthophonistes. Les difficultés en résolution de problèmes constituent d'ailleurs un motif fréquent de consultation. Faisant intervenir conjointement des capacités mathématiques et langagières, ces plaintes se retrouvent principalement chez les enfants dyscalculiques et les enfants avec trouble spécifique du langage.

Des matériels d'évaluation de la cognition mathématique ont été créés mais ils restent souvent limités et peu précis. L'objectif de ce mémoire est la validation d'épreuves de résolution de problèmes au sein d'un nouvel outil d'évaluation des troubles de la cognition mathématique, la batterie Examath (Lafay et Helloin, en préparation). Ces épreuves ont été administrées à des enfants sans difficulté, des enfants avec difficultés mathématiques et des enfants avec trouble spécifique du langage.

Après avoir défini et décrit l'activité de résolution de problèmes, nous présenterons la dyscalculie et la dysphasie ainsi que leurs hypothèses cognitives explicatives. Nous ferons également état des tests et batteries existants et décrirons les qualités psychométriques nécessaires à la validation d'une batterie. Dans une deuxième partie, nous développerons nos hypothèses concernant le travail de validation mené dans le cadre de ce mémoire, puis nous étudierons les résultats du groupe « sans difficulté » ainsi que ceux du groupe « avec difficultés en mathématiques » et « avec trouble spécifique du langage ». Enfin, notre travail s'achèvera par une discussion qui permettra de faire le bilan et l'interprétation des données trouvées en discutant les hypothèses posées. Il permettra aussi de présenter les limites de ce travail et les perspectives qui auront alors émergé.

PARTIE THEORIQUE

1. Résolution de problèmes arithmétiques à énoncés verbaux

1.1 Définition

Les problèmes arithmétiques à énoncés verbaux¹ correspondent à des textes brefs décrivant une situation-problème et comportant une ou plusieurs questions. La ou les réponses attendues s'obtiennent grâce à la réalisation d'opérations mathématiques après la mise en relation des données numériques figurant dans le texte. Certaines de ces quantités sont présentées de façon explicite, d'autres doivent être déduites (De Corte, Verschaffele Van De Ven, 2001, cités par Thévenot, Coquinet Verschaffel, 2005).

1.2 Modèle de résolution de problèmes

L'activité de résolution de problèmes est une tâche progressive. Différentes étapes sont nécessaires avant d'aboutir à l'écriture de la solution. Ménissier (2011) décrit un modèle de résolution en cinq étapes :

- Etape n°1 : la traduction du problème. Elle correspond à la lecture de l'énoncé et à sa compréhension qui en découle (Coquin-Viennot, 2001). En effet, l'énoncé raconte une histoire, même si celle-ci est brève, et à l'exception des valeurs numériques, il fait peu intervenir le symbolisme mathématique. Cette bonne compréhension est permise grâce à la mise en jeu d'opérations cognitives (identification de ce dont il est question, compréhension du vocabulaire, réalisation d'inférences) ; grâce aux connaissances linguistiques permettant le décryptage du langage mathématique et des tournures syntaxiques ; grâce aux connaissances factuelles, dépendantes des expériences vécues par l'enfant et grâce à la capacité d'appréhender les nombres, les quatre opérations arithmétiques et les expressions relationnelles. Cette compréhension doit aboutir en une représentation interne de l'énoncé.
- Etape n°2 : l'intégration du problème. Elle correspond à la construction d'un modèle mental ou modèle épisodique de situation (Devidal, Fayolet Thevenot, 2005), c'est-à-dire une représentation interne dont la structure est comparable à celle de la situation qu'il représente. L'élaboration de ce modèle nécessite de bonnes capacités d'abstraction. Cette

¹ Par la suite, cet intitulé sera désigné uniquement par « problèmes ».

représentation s'élabore grâce à une compréhension globale de l'énoncé verbal et au repérage de différents éléments : les données pertinentes de l'énoncé, l'inconnue et les relations qui unissent ces différents éléments. C'est grâce à la bonne représentation de l'énoncé que le type de problème peut être identifié (cf. 1.4. Présentation des classifications de problème). Une façon de vérifier l'intégrité de cette étape, selon Ménessier, consiste à demander un rappel de l'énoncé une fois le problème résolu : la restitution de l'énoncé, reformulé et non rappelé littéralement, évoque l'élaboration d'un schéma de représentation et donc d'intégration du problème.

- Etape n°3 : la planification des actions. L'élaboration d'une représentation mentale va faire naître une stratégie de résolution. Pour que celle-ci permette d'atteindre la solution, une planification des différentes opérations mentales doit être réalisée en hiérarchisant les objectifs intermédiaires fixés (le choix des opérations, l'ordre dans lequel elles doivent être réalisées).
- Etape n°4 : l'exécution des calculs. Il s'agit de l'étape au cours de laquelle les opérations sont réalisées. Les calculs peuvent être exécutés soit en récupérant des faits arithmétiques stockés en mémoire à long terme soit en utilisant des procédures adaptées permettant de parvenir à la solution. La sélection de la stratégie adéquate s'opère en fonction de variables intrinsèques au problème, c'est-à-dire en fonction de la sémantique de celui-ci et de la représentation qui en a découlé, mais également en fonction de variables extrinsèques, qui sont des variables environnementales, c'est-à-dire liées à l'individu.
- Etape n°5 : l'autocontrôle du résultat. Cette ultime étape consiste à évaluer le résultat des actions entreprises. Si des erreurs sont détectées, cette étape peut conduire à une remise en cause des représentations initialement construites et donc à des réajustements.

1.3 Composantes cognitives mises en jeu

La résolution de problèmes est une tâche complexe faisant intervenir différentes composantes cognitives.

1.3.1 Composantes mnésiques

Pour parvenir à résoudre un problème, la mémoire de travail joue un rôle essentiel. En effet, il est nécessaire de se souvenir du but de la tâche et des résultats intermédiaires tout en opérant un traitement sur les différentes informations. De plus, Thevenot et Perret (2009) ont démontré que les modèles mentaux élaborés lors de la résolution de problèmes, à l'étape

d'intégration du problème, étaient construits et maintenus en mémoire de travail. Enfin, la compréhension qui est requise pour résoudre le problème lors de l'étape de traduction du problème est sous le contrôle de la mémoire de travail (Fayol et Gaonach, 2003; Schelstraete et Demanet, 2002).

La mémoire à long terme intervient aussi dans cette activité. Les faits arithmétiques, le lexique sémantique et les connaissances factuelles nécessaires à la compréhension de l'énoncé sont en effet stockés au sein de ce système de mémoire.

1.3.2 Fonctions exécutives

Les fonctions exécutives, fonctions cognitives de haut niveau, occupent une place importante dans le processus de résolution de problèmes. C'est le cas de la planification. En effet, dès lors qu'une situation-problème comporte plusieurs étapes successives, elle nécessite une planification (Mazeau, 2003). Celle-ci va permettre d'anticiper le but à atteindre mais aussi le chemin pour l'atteindre (Moret et Mazeau, 2013). Elle intervient essentiellement lors de l'étape de planification des actions. Par ailleurs, la flexibilité mentale, qui permet le passage d'un comportement à un autre en fonction des exigences environnementales, est une fonction exécutive également sollicitée dans la résolution de problème. En effet, l'étape d'autocontrôle du résultat peut entraîner un réajustement de la représentation du problème et des procédures de résolution. Enfin, l'inhibition intervient aussi. Elle permet d'empêcher les données non pertinentes d'entrer en mémoire de travail et d'interférer avec les données utiles.

1.4 Présentation des classifications de problèmes

1.4.1 Classification des problèmes additifs

C'est au cours de l'étape d'intégration du problème qu'intervient la prise en compte de la sémantique des éléments. La complexité des problèmes ne peut être imputable uniquement à l'opération arithmétique en jeu, mais surtout et avant tout aux caractéristiques sémantiques des éléments et des relations qu'ils entretiennent entre eux (Riley, Greeno et Heller, 1983). L'importance de ce facteur a donné lieu à une classification établie par Riley, distinguant trois grandes catégories de problèmes additifs, présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Classification des problèmes additifs

Type de problème	Définition
Combinaison	Ces problèmes concernent des situations statiques (les événements se produisent en même temps et aucun état ne subit de transformation) renvoyant à la combinaison de deux états pour en obtenir un troisième. Il existe deux types de problèmes en fonction de l'inconnue recherchée : il peut s'agir du tout, c'est-à-dire des deux parties regroupées (les deux sous-ensembles sont alors connus) ou un des sous-ensembles (l'autre partie et le tout sont donc connus).
Changement	Il s'agit de problèmes comportant une dimension temporelle : l'état initial subit une transformation pour arriver à un état final. Il existe six problèmes de changement en fonction du type de transformation subi par l'état initial (transformation positive : gain/ajout, ou négative : perte/retrait) et en fonction de la nature de l'inconnue (état initial, transformation ou état final).
Comparaison	Il s'agit de problèmes comparant des situations statiques. Il existe six problèmes de comparaison en fonction de la valeur de la comparaison (comparaison additive : formulation de type « n de plus (que) » ; comparaison soustractive : formulation de type « n de moins (que) ») et de la nature de l'inconnue (valeur inférieure, valeur supérieure, ou différence).

Selon cette classification, quatorze formes de problèmes additifs sont donc répertoriés. Des exemples sont présentés en annexe 1.

La complexité ne dépend pas uniquement du choix de l'opération (addition ou soustraction) mais davantage du type de problème et de la nature de l'inconnue. De façon globale, les problèmes de type Changement sont reconnus comme étant les plus faciles. Néanmoins, au sein de ces problèmes, l'état final est plus facile à trouver que la transformation, et la transformation est plus facile à trouver que l'état initial. Concernant les problèmes de Combinaison, la nature de l'inconnue est en grande partie responsable de la complexité du problème : la recherche du tout est très rapidement maîtrisée (dès la maternelle) tandis que celle d'une des deux parties est plus tardive (à partir du CE2). Enfin, les problèmes de Comparaison sont globalement les plus difficiles quels que soient la nature de l'inconnue et le type de formulation de comparaison (Riley, 1984 cité par Devidal, Fayol et Thévenot, 2005).

1.4.2 Classification des problèmes multiplicatifs

En s'appuyant sur le champ conceptuel des structures multiplicatives, quatre grandes classes de problèmes multiplicatifs peuvent être définies (Ménissier, 2011). Le tableau 2 présente cette classification.

Tableau 2 : Classification des problèmes multiplicatifs

Type de problème	Définition
Proportionnalité simple et directe	Présence de deux domaines de grandeur et d'une relation multiplicative entre ces deux domaines. Quatre quantités y sont décrites dont trois sont connues. Il existe trois types de problèmes en fonction de la nature de l'inconnue : la valeur multipliée (réalisation d'une multiplication), la valeur unitaire c'est-à-dire la valeur d'une part (réalisation d'une division de type partition) ou la quantité d'unités c'est-à-dire le nombre de parts (réalisation d'une division de type quotient).
Comparaison multiplicative des grandeurs	Présence d'un seul domaine de grandeurs et d'un rapport scalaire (nombre sans unité qui exprime la relation entre les deux grandeurs) qui est exprimé avec les relations « n fois plus que » ou « n fois moins que ». Il existe six types de problèmes, en fonction de la nature de la relation (multiplicative ou de division) et de la nature de l'inconnue (valeur supérieure, valeur inférieure ou rapport scalaire).
Proportionnalité simple composée	Composition d'au moins deux relations de proportionnalité simple faisant intervenir au moins trois domaines de grandeurs. Cette catégorie de problèmes comprend trois sous-types de problèmes en fonction de la nature de l'inconnue : la relation composée, c'est-à-dire la relation globale (en effectuant des procédures multiplicatives), une des deux relations de proportionnalité (en effectuant une division), ou la première grandeur (en effectuant une division). La complexité réside, entre autres, dans la bonne intégration des données nécessaires pour pouvoir anticiper et déterminer les calculs intermédiaires.
Proportionnalité multiple	Problèmes pour lesquels une grandeur est simultanément proportionnelle à plusieurs grandeurs. Il existe deux sous-types de problèmes en fonction de l'inconnue qui peut être la grandeur-produit ou l'une des deux grandeurs. Ces problèmes, non abordés à l'école primaire, ne seront pas détaillés car le protocole de ce mémoire concerne les enfants de niveau CM1.

Selon cette classification, quatorze formes de problèmes multiplicatifs sont donc répertoriés. Des exemples sont présentés en annexe 2. A ma connaissance, il n'existe aucune donnée expérimentale concernant ces problèmes.

2. Dyscalculie développementale

2.1 Définition

La dyscalculie développementale est définie comme un trouble durable et spécifique du développement et du traitement des nombres et des apprentissages mathématiques (American Psychiatric Association, 2013). Elle se manifeste par un niveau en mathématiques inférieur à ce qui est attendu à l'âge de l'enfant (concernant le sens du nombre, le stockage des faits arithmétiques, le calcul et/ou le raisonnement arithmétique), malgré une prise en charge individualisée et une adaptation pédagogique ciblée. Elle ne peut être expliquée par un trouble intellectuel, mental, moteur ou sensoriel.

2.2 Hypothèses cognitives explicatives

Différentes hypothèses cognitives sont proposées pour rendre compte des difficultés observées dans la dyscalculie développementale. Certaines soulignent que la dyscalculie est une manifestation secondaire de facteurs généraux ; d'autres postulent l'existence d'un déficit spécifiquement numérique responsable d'une dyscalculie primaire.

Concernant l'hypothèse d'un déficit de facteurs cognitifs généraux, une atteinte de la mémoire de travail (Barrouillet, 2006) ou encore un traitement phonologique déficitaire (Hecht, Torgesen, Wagner et Rashotte, 2001) sont rendus responsables par ces auteurs d'une dyscalculie qualifiée de « secondaire ».

A propos du déficit numérique de base comme origine de la dyscalculie, deux hypothèses coexistent : le déficit du sens du nombre et le déficit d'accès au sens du nombre via les codes symboliques (nombres arabes ou mots-nombres). Ces deux hypothèses sont plus largement détaillées dans les revues de Lafay, Saint-Pierre et Macoir (2014) et Noël, Rousselle et De Visscher (2013).

Concernant le déficit du sens du nombre, un déficit dans la représentation des quantités analogiques serait responsable de la dyscalculie. Ce déficit serait caractérisé par une lenteur et/ou un manque de précision dans la discrimination et dans l'estimation de quantités (Andersson et Östergren, 2012; Ashkenazi, Mark-Zigdon et Henik, 2013). Les études menant à cette conclusion observaient que les enfants dyscalculiques avaient des difficultés à comparer des quantités présentées de façon non symbolique (ou analogique), telles que des ensembles de points.

En revanche, certaines études ont montré que les enfants dyscalculiques obtenaient des performances équivalentes à celles de sujets contrôles dans la tâche de comparaison non

symbolique, mais des performances inférieures dans la comparaison symbolique (De Smedt et Gilmore, 2011; Desoete, Ceulemans, De Weerdet Pieters, 2012). Ces résultats ont alors mené à émettre l'hypothèse non pas d'un déficit du sens du nombre mais d'un déficit d'accès au sens du nombre à partir des codes symboliques.

2.3 Liens entre habiletés numériques et arithmétiques et résolution de problèmes

Dans une tâche de résolution de problèmes, le calcul est le processus qui permet d'aboutir à la solution. Il intervient lors de l'étape d'exécution des calculs. Butlen et Pezard (2003) ont mené une étude portant sur l'effet d'une pratique régulière de calcul mental sur la résolution de problèmes auprès d'un groupe témoin et d'un groupe entraîné au calcul mental. Les résultats ont alors montré une différence significative entre les deux groupes dans les performances en résolution de problèmes après l'entraînement au calcul mental, en faveur du groupe entraîné. L'étude de Kail et Hall (1999) va également dans ce sens. Ceux-ci ont montré que l'amélioration, entre 8 et 12 ans, des résultats aux opérations arithmétiques entraîne consécutivement une amélioration dans la tâche de résolution de problèmes. Au cours de cette même étude, les auteurs ont pu conclure que les performances concernant les opérations arithmétiques constituaient le deuxième meilleur prédicteur de réussite en résolution de problèmes après les performances en lecture (compréhension de textes).

Enfin, le calcul dans la tâche de résolution de problèmes implique une maîtrise de stratégies et de procédures de calcul. Considérons par exemple les deux énoncés suivants : « Eric avait 47 billes puis a perdu 3 billes. Combien en a-t-il maintenant ? » et « Eric avait 47 billes puis a perdu 44 billes. Combien en a-t-il maintenant ? ». Ces énoncés, pourtant comparables (problèmes de transformation négative avec recherche de l'état final), entraînent respectivement 54 et 15 % de réussite chez des enfants de CP (Brissiaud, 1995, cité par Bideaud, Lehalle et Vilette, 2004). En effet, le premier énoncé renvoie à une opération facile à résoudre analogiquement ($47 - 3$: emploi d'une stratégie de comptage à rebours, rapide dans cette situation). En revanche pour le second énoncé, l'opération est plus difficile à se représenter mentalement et empêche les jeunes enfants d'adopter la stratégie la plus appropriée, celle de comptage en avant. Ils n'accèdent pas à l'équivalence des procédures (comptage à rebours et comptage en avant) et réemploient une stratégie de comptage à rebours, longue, fastidieuse et qui génère des erreurs.

Dans la tâche de résolution de problème, l'élaboration d'un modèle mental numérique, impliquant un bon accès au sens du nombre, est également nécessaire. Il s'agit de la

correspondance analogique entre la représentation du problème et le type de problème dont il s'agit. L'élaboration de ce modèle intervient au cours de l'étape d'intégration du problème.

3. Dysphasie ou trouble spécifique du langage oral (TSLO)

3.1 Définition

La dysphasie, ou trouble spécifique du langage oral, renvoie à un trouble développemental du langage oral se traduisant par des troubles de la production et/ou de la compréhension du langage parlé (Leclercq et Leroy, 2012). Il survient précocement au cours du développement et ses conséquences fonctionnelles persistent dans le temps (American Psychiatric Association, 2013). Les différentes composantes langagières (phonologie, morphologie, syntaxe, sémantique, pragmatique) peuvent être affectées, et cela à des degrés divers (Friedmann et Novogrodsky, 2007).

La spécificité de ce trouble qui en faisait un des principaux critères diagnostiques (OMS, 2000) semble être remise en doute par la comorbidité, très fréquente, de troubles non langagiers tels qu'une dyspraxie, un trouble attentionnel, un trouble mnésique (Leclercq et Leroy, 2012) ou encore des capacités d'abstraction (Lussier et Flessas, 2001).

3.2 Hypothèses cognitives explicatives

De nombreuses hypothèses explicatives sont avancées concernant les causes de ce déficit mais, à ce jour, aucune ne fait véritablement consensus. Seront développées ici uniquement les hypothèses cognitives permettant de comprendre, de façon directe ou indirecte, les difficultés en mathématiques rencontrées par les sujets avec dysphasie : l'hypothèse d'un déficit de la mémoire phonologique à court terme et celle plus générale d'une limitation des capacités de traitement.

La mémoire de travail, et plus précisément la boucle phonologique, joue un rôle primordial dans l'acquisition du langage. La présence d'un déficit de la mémoire phonologique à court terme préexistant aux troubles langagiers chez de nombreux patients dysphasiques a conduit Gathercole et Baddeley (1990) à émettre l'hypothèse d'un lien de causalité entre déficit mnésique et déficit langagier.

D'autre part, différents troubles autres que langagiers se retrouvent chez les enfants avec dysphasie (ralentissement des temps de réaction, difficultés exécutives et attentionnelles). Plusieurs auteurs tels que Kail (1994) et Léonard (1998) (cités par Maillard et Schelstraete, 2012) émettent l'hypothèse d'une limitation des ressources cognitives générales générant un

traitement moins rapide et moins efficace des informations reçues et donc une mauvaise intégration de ces dernières.

3.3 Liens entre langage et résolution de problèmes

Le langage est fondamental dans l'activité de résolution de problèmes : les caractéristiques sémantiques des éléments du problème et les relations qu'ils entretiennent entre eux déterminent en grande partie la complexité du problème (cf 1.4 : Présentation des classifications de problèmes). En effet, l'absence de certains éléments nécessitant la production d'inférences, la multiplicité des termes relationnels exigeant la compréhension du lexique mathématique contribuent à accroître la complexité de cette tâche (Devidal *et al.*, 2005). Daroczy, Wolska, Meurers et Nuerk (2015) ont mis en évidence l'importance de la syntaxe dans les énoncés en recensant les structures syntaxiques entraînant une baisse des performances. Ainsi, une modification de la structure linguistique des énoncés affecte les performances (Abedi et Lord, 2001) et peut faire varier nettement les résultats (De Corte, Verschaffel et Win, cités par Lacert et Camos, 2003). De plus, Kail et Hall (1999) ont montré une forte corrélation entre les capacités en compréhension de texte et les performances en résolution de problèmes verbaux.

Tous ces facteurs sont ceux impliqués dans la première étape du modèle de résolution de problèmes qui conduit à la compréhension de l'énoncé. Une étude de Hegarty, Mayer, et Monk (1995) a d'ailleurs montré que les personnes ayant des difficultés en résolution de problèmes n'élaboraient pas leur représentation mentale du problème en se fondant sur une compréhension globale de l'énoncé, mais en se focalisant sur certains mots-clés et sur les valeurs numériques, une stratégie qualifiée de « traduction directe » et qui est source d'erreurs. Les capacités de compréhension écrite et orale sont donc primordiales dans la tâche de résolution de problèmes (Devidal *et al.*, 2005; Lacert et Camos, 2003) : une incompréhension du texte conduit à des résultats erronés indépendamment de toute difficulté mathématique.

Le langage intervient également lors de l'utilisation de stratégies permettant l'exécution des calculs. Les stratégies verbales telles que le « compter tout » (recompter à partir de un), le surcomptage (compter à partir du premier opérande), ou la stratégie du minimum (compter à partir du plus grand) (Baroody et Ginsburg, 1986) font appel à la comptine numérique qui se met en place grâce à l'apparition du langage. La stratégie de récupération des faits arithmétiques stockés en mémoire à long terme implique elle aussi le langage : ces faits, encodés verbalement sous forme de récitation verbale, nécessiteraient des processus verbaux afin de recoder l'opération et récupérer la réponse sous forme orale (Dehaene, 1992).

Enfin, une étude de Hecht, Torgesen, Wagner et Rashotte (2001) a montré que les résultats à des activités de conscience phonologique étaient prédictifs du niveau ultérieur des capacités numériques, lesquelles sont requises lors de la résolution de problèmes.

4. Outils d'évaluation mathématique

4.1 Limites des outils existants

Lafay, Saint-Pierre et Macoir (2014a) ont inventorié dans une revue l'ensemble des batteries et tests évaluant les troubles de la cognition mathématique, dont la résolution de problèmes. Les batteries évaluant ces différents domaines ont comme principaux manques de ne pas couvrir l'ensemble des problèmes additifs et multiplicatifs ; c'est le cas pour la batterie ERLA, le Zareki-R, la batterie B-LM, le Tedi-Math, le Tedi-Math grand² et les batteries Exalang 8-11 et 11-15. De plus, ces différents tests et batteries portent sur une tranche d'âge relativement restreinte et ne prennent pas en compte la justification du sujet, pourtant primordiale pour une analyse qualitative. Ces différents tests et batteries sont présentés en annexe 3.

Le module Résolution de problèmes a pour objectif de combler ces manques. Comportant un énoncé pour chaque type de problème, soit 28, ainsi qu'un problème à étapes et une épreuve de gestion d'énoncés comportant 5 énoncés, un étalonnage à partir de la classe de CE2 et jusqu'à la classe de troisième est prévu. Ses trois critères de cotation, que sont le choix de l'opération, la réussite à l'opération et la justification, visent à avoir une idée précise du profil de l'enfant et donc à compléter l'analyse quantitative.

4.2 Présentation de la batterie Examath

La batterie Examath comportera six modules couvrant différents domaines de la cognition mathématique dans l'objectif de les évaluer et de pouvoir objectiver des difficultés mathématiques ou le diagnostic de dyscalculie. Chaque module est composé de différentes épreuves. Le premier module « Habiletés numériques de base » visera l'évaluation du traitement des quantités présentées dans les codes analogique, arabe et oral ; le second

² Ce test diagnostique, publié en 2015, ne figure pas dans la revue recensant l'ensemble des batteries et tests évaluant les troubles de la cognition mathématique (Lafay *et al.*, 2014a) mais il nous paraît important de l'évoquer, celui-ci comportant des épreuves de résolution de problèmes.

« Numération » évaluera la maîtrise des nombres au travers de huit épreuves ; le module 3 « Arithmétique » portera sur l'évaluation des opérations et des calculs ; le module 4 évaluera la maîtrise des mesures ; le module 5 « Résolution de problèmes », au cœur de ce mémoire, sera détaillé au point 3.2.2 (Tâches expérimentales) de la partie expérimentale. Enfin, le module 6 évaluera le raisonnement et le langage.

5. Validation : les qualités psychométriques d'un test

Pour pouvoir prétendre constituer des instruments d'évaluation valable, les épreuves doivent répondre à des caractéristiques psychométriques (Rondal, 2003).

5.1 La validité

La validité sert à vérifier si le test mesure bien ce qu'il est censé mesurer et avec quel degré de précision il le mesure (Laveault et Grégoire, 2002). Il existe trois grands types de validité : 1) la validité empirique, comprenant la validité concomitante (vérifie l'existence d'une corrélation suffisante entre les scores du test utilisé et ceux obtenus à un autre test évaluant le même domaine) et la validité prédictive (correspond à la capacité à prédire les résultats des sujets dans des tâches similaires à celles du test utilisé) ; 2) la validité de contenu qui réfère à la pertinence du contenu du test, le domaine d'intérêt doit être clairement identifié et basé sur des fondements théoriques précis ; 3) la validité de construit, à laquelle nous allons nous intéresser, qui correspond à la capacité d'un test à mesurer un construit théorique en lien avec la validité de contenu. Cette validité doit permettre, en s'appuyant sur un modèle théorique, de mesurer ce qu'elle prétend réellement mesurer. C'est cette validité qui sera évaluée, en particulier, la validité en lien avec les caractéristiques des individus.

5.2 La fidélité

La fidélité correspond à l'obtention de résultats reproductibles au test lors d'une seconde passation après un certain délai (fidélité temporelle) ou lors de l'administration du test par d'autres juges (fidélité inter-juge). La fidélité ne sera pas mesurée dans ce travail de recherche.

5.3 Sensibilité

Cette qualité correspond à la capacité à discriminer le plus finement possible des sujets, qui sont effectivement différents, par rapport à l'aptitude mesurée. Plus il y a d'items sur la même aptitude, plus le test est sensible ; à l'inverse, plus il y a d'aptitudes à évaluer moins le test est sensible.

PARTIE EXPERIMENTALE

1. Problématique

La résolution de problèmes est une compétence primordiale dans le développement mathématique et l'autonomie de vie. Une évaluation orthophonique mathématique se doit donc de comporter une évaluation de la résolution de problèmes : les enfants avec trouble du langage oral, tout comme les enfants avec troubles mathématiques, présentent très souvent des difficultés importantes de résolution de problèmes. C'est d'ailleurs une des plaintes principales des enfants consultant en orthophonie pour des difficultés en mathématiques. Or, très peu d'outils sont consacrés à cette compétence (Lafay, St-Pierre et Macoir, 2014) ; parmi ceux existants et évaluant la résolution de problèmes, très peu s'appuient sur des modèles de classification et permettent une analyse fine des compétences de l'enfant. Un des modules de la batterie informatisée Examath (module 5 : Résolution de problèmes), concernant la tranche d'âge 8-15 ans est dévolu à ce type d'évaluation, basé sur une typologie de problèmes arithmétiques à énoncé verbal.

2. Objectifs et hypothèses

L'objectif de ce mémoire est la validation des épreuves de résolution de problèmes de la batterie Examath en les soumettant à différents groupes (un groupe contrôle : Ctrl, un groupe avec trouble spécifique du langage : TSL et un groupe avec des difficultés en mathématiques : DM) afin d'en vérifier le caractère discriminant. Un second objectif est visé, celui de mener une analyse qualitative en observant si des profils cognitifs différents sont identifiables auprès des trois groupes.

En lien avec les objectifs fixés précédemment, nous émettons tout d'abord l'hypothèse que le module Résolution de problèmes de la batterie Examath est suffisamment discriminant pour permettre d'objectiver une pathologie. Nous supposons également que ces épreuves ont une bonne validité de construit : le déficit cognitif différent des TSL et des DM devrait permettre de dégager un profil cognitif particulier, aux épreuves de problèmes, selon le type de trouble.

3. Méthodologie

3.1 Population

3.1.1 Enfants ne présentant pas de pathologie (Ctrl)

Ce groupe est constitué de 12 enfants recrutés au sein de deux écoles primaires : une école de campagne, publique : l'école de Bernouville dans l'Eure et une école de ville, privée : l'école Sainte Anne de l'Institut Saint Dominique à Rouen, en Seine-Maritime.

Les critères d'inclusion pour le recrutement sont une scolarisation en CM1 pour l'année scolaire 2014/2015 ou en CM2 pour des tests effectués à la rentrée de septembre 2015 et le français comme langue maternelle.

Les critères d'exclusion sont un redoublement, un suivi orthophonique antérieur ou actuel et un antécédent de retard de parole et/ou de langage.

3.1.2 Enfants avec difficultés mathématiques (DM)

Ces enfants ont été recrutés au sein de cabinets d'orthophonistes et sont au nombre de 10.

Les critères d'inclusion sont une scolarisation en CM1 pour l'année scolaire 2014/2015 ou en CM2 pour des tests effectués à la rentrée de septembre 2015, un suivi actuel en orthophonie pour « rééducation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique" (AMO 10.2) et le français comme langue maternelle.

Les critères d'exclusion sont une déficience intellectuelle, un trouble sensoriel, un trouble spécifique du langage oral, un trouble envahissant du développement (T.E.D) et un trouble moteur.

3.1.3 Enfants avec trouble spécifique du langage (TSL)

Ces enfants, recrutés auprès d'orthophonistes, sont au nombre de 18.

Les critères d'inclusion sont une scolarisation en CM1 pour l'année scolaire 2014/2015 ou en CM2 pour des tests effectués à la rentrée de septembre 2015, un suivi actuel en orthophonie pour « rééducation de retard de parole, du langage oral » (AMO 12.1) ou « rééducation de dysphasie » (AMO 14) et le français comme langue maternelle.

Les critères d'exclusion sont une déficience intellectuelle, un trouble sensoriel, un T.E.D et un trouble moteur.

3.1.4 Tableau récapitulatif des trois cohortes

Les trois cohortes sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Récapitulatif des trois cohortes

Groupes	Nombre	Age minimum	Age maximum	Age moyen	Ecart-type
Ctrl	12	9 ans 3 mois (111 mois)	10 ans 2 mois (122 mois)	9 ans 9 mois (117 mois)	4,21
DM	10	9 ans 8 mois (116 mois)	11 ans 6 mois (138 mois)	10 ans 4 mois (124 mois)	8,12
TSL	18	9 ans 4 mois (112 mois)	11 ans 1 mois (133 mois)	10 ans 2 mois (122 mois)	6,45

3.2 *Matériel*

3.2.1 Evaluation cognitive générale

Concernant l'évaluation cognitive, dont l'objectif est de déterminer le profil de chaque enfant de façon précise, les tests TTR (Tempo Test Rekenen ; De Vos, 1992), Numeracy Screener (Nosworthy, Bugden, Archibald, Evans et Ansari, 2013) et quatre subtests de la Batterie Exalang 8-11 (Thibault, Lenfant et Helloin, 2012) ont été administrés aux trois groupes.

Préalablement, les tests TTR et Numeracy Screener ont été administrés auprès de 59 enfants recrutés dans leur classe de CM1 afin d'établir une normalisation pour ce niveau scolaire, car il n'en existait aucune chez une population d'enfants français francophones scolarisés en CM1. Cette normalisation a permis de disposer d'un outil de référence pour sélectionner les cohortes de l'étude expérimentale.

Ces deux tests ont été sélectionnés pour l'évaluation cognitive car ils sont d'administration rapide et permettent de renseigner sur le niveau mathématique des sujets. Le TTR renseigne sur les performances en calcul : le sujet a à chaque fois une minute pour effectuer une série d'opérations (additions, soustractions, multiplications, divisions et opérations mélangées). Néanmoins, après analyse des résultats des 59 sujets, il s'est avéré qu'un effet plancher était constaté pour la série « divisions » et « opérations mélangées », les divisions étant un apprentissage trop récent pour les enfants de CM1. Il a donc été décidé de ne pas prendre en compte ces deux séries et de s'appuyer uniquement sur les séries additions, soustractions et multiplications pour caractériser le profil des enfants. Quant au Numeracy Screener, il permet d'évaluer le traitement du code analogique et du code arabe des nombres et renseigne donc respectivement sur la présence ou non d'un déficit du sens du nombre ou d'un déficit d'accès

au sens du nombre via le code numérique arabe. L'épreuve comprend 4 pages d'évaluation du code analogique (56 items) et 4 pages d'évaluation du code arabe (56 items). Pour chacun des codes, l'enfant dispose d'une minute pour tenter de réaliser un maximum d'items (<http://www.numeracyscreener.org>). Concernant la Batterie Exalang 8-11, les épreuves ont été sélectionnées dans le but d'attester rapidement du niveau de langage oral des sujets concernant le vocabulaire mathématique (épreuve « lexique mathématique »), la production (épreuve « complétion de phrases »), la réception (épreuve « compréhension de phrases ») et la pragmatique (épreuve « habiletés pragmatiques et discursives »).

3.2.2 Tâches expérimentales

Les épreuves du module 5, « Résolution de problèmes », de la Batterie Examath ont été administrées après l'évaluation cognitive.

Ce module est constitué de 9 épreuves : 7 épreuves (épreuves 25 à 31) de problèmes additifs et multiplicatifs référant aux classifications de Riley et Vergnaud décrites par Ménissier (2011), une épreuve comportant un problème composé (épreuve 32) et une épreuve de gestion d'énoncés (épreuve 39).

3.2.2.1 Épreuves 25 à 31 : problèmes additifs et multiplicatifs

Les trois premières épreuves (épreuves 25, 26 et 27) comportant l'ensemble des problèmes additifs sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Présentation des épreuves de problèmes additifs

Type de problèmes	Sous-catégorie	Inconnue du problème
<i>Epreuve 25 :</i> Problèmes de combinaison	Aucune	Le tout (composition) Une des deux parties (complément)
<i>Epreuve 26 :</i> Problèmes de transformation	Transformation additive	Situation finale Transformation Situation initiale
	Transformation soustractive	Situation finale Transformation Situation initiale

<i>Epreuve 27 :</i> Problèmes de comparaison	Comparaison additive (formulation « n de plus »)	Valeur inférieure Valeur supérieure Différence
	Comparaison soustractive (formulation « n de moins »)	Valeur inférieure Valeur supérieure Différence

Les quatre épreuves suivantes (épreuves 28, 29, 30 et 31) correspondant à l'ensemble des problèmes multiplicatifs, sont présentées dans le tableau 5. Seule l'épreuve 30 n'y figure pas, celle-ci n'étant pas traitée dans ce mémoire, car réservée aux collégiens.

Tableau 5 : Présentation des épreuves de problèmes multiplicatifs

Type de problèmes	Sous-catégorie	Inconnue du problème
<i>Epreuve 28 :</i> Problèmes de proportionnalité simple et directe	Aucune	Quantité d'unités Valeur unitaire Valeur multipliée
<i>Epreuve 29 :</i> Problèmes de proportionnalité simple composée	Aucune	Troisième relation globale Une des deux relations de proportionnalité Grandeur-produit
<i>Epreuve 31 :</i> Problèmes de comparaison	Formulation « n fois plus »	Valeur inférieure Valeur supérieure Rapport
	Formulation « n fois moins »	Valeur inférieure Valeur supérieure Rapport

Concernant la cotation de chacun de ces problèmes, trois critères ont été pris en compte à chaque fois :

1) le critère « choix de l'opération » sur 3 points : 0 point si le sujet ne trouve pas l'opération correcte ou s'il choisit une opération erronée, 3 points s'il effectue la bonne opération ;

2) le critère « résultat de l'opération » sur 2 points : 0 point si le sujet ne parvient pas à résoudre l'opération ou si le résultat trouvé est erroné, 2 points si l'opération est correctement menée ;

3) le critère « justification » sur 1 point : 0 point si le sujet n'est pas capable de justifier sa réponse ou s'il fournit une justification erronée, 1 point s'il a pu expliquer clairement sa stratégie.

Certaines épreuves disposent d'un critère d'arrêt :

- Epreuve 26 : passage à l'épreuve 27 dès trois échecs consécutifs
- Epreuve 27 : passage à l'épreuve 28 dès trois échecs consécutifs
- Epreuve 28 : saut de l'épreuve 29 et passage directement à l'épreuve 31 dès trois échecs consécutifs
- Epreuve 29 : passage à l'épreuve 31 dès trois échecs consécutifs.
- Epreuve 31 : passage à l'épreuve 32 dès trois échecs consécutifs.

La consigne donnée aux sujets était la suivante : « après avoir écouté et lu l'histoire, écris sur une feuille ton calcul avec la réponse et explique-moi comment tu as fait ». Une réponse écrite est demandée aux sujets.

3.2.2.2 Epreuve 32 : problème composé

Cette épreuve, comportant un problème composé, nécessite plusieurs opérations intermédiaires pour parvenir à la solution finale. L'objectif est de tester l'intégration de données multiples en lien avec la composition de plusieurs types de problèmes.

Concernant la cotation de ce problème, un point est attribué à chacune des opérations intermédiaires (au nombre de 5) ainsi qu'au résultat de chaque opération, 2 points sont attribués au résultat final ainsi qu'à la non utilisation de données non pertinentes, soit un score sur 14.

La consigne est identique à celle des épreuves 25 à 31.

3.2.2.3 Epreuve 39 : gestion d'énoncés

Dans cette épreuve, le sujet doit déterminer, pour chaque problème, s'il est possible de le résoudre ou non. S'il l'est, il doit indiquer les données utiles pour la résolution ; le cas échéant, il doit indiquer quelles sont les données manquantes. Dans cette épreuve, il n'est pas demandé au sujet d'effectuer de calcul ni de résoudre les problèmes. Cette épreuve fait appel à la bonne traduction du problème et à l'intégration de celui-ci car le sujet doit comprendre correctement le problème pour être capable de repérer la pertinence ou non des données de l'énoncé et donc la faisabilité ou non du problème.

Concernant la cotation de cette épreuve, chaque bonne réponse apporte 1 point mais chaque réponse erronée en retire un. Si le sujet obtient un score négatif, un 0 est attribué par défaut. Pour la deuxième partie du problème concernant le choix des données utiles ou des données manquantes, une sélection de toutes les données entraîne automatiquement 0 point. En cas de trois échecs consécutifs, l'épreuve est stoppée.

3.3 Procédure générale

3.3.1 Lieu

Concernant les sujets ne présentant pas de pathologie, les passations ont eu lieu dans l'établissement scolaire, dans une pièce isolée, hormis pour les épreuves TTR et Numeracy Screener dont la passation a été collective car effectuée auprès de tous les enfants de la classe pour réaliser la normalisation. Concernant les sujets avec DM et les sujets avec TSL, le testing s'est déroulé dans la majeure partie des cas dans le cabinet de leur orthophoniste, plus rarement au domicile du patient.

3.3.2 Déroulement

Les évaluations ont été menées d'avril 2015 à septembre 2015, regroupées principalement au cours du mois d'avril et au cours de l'été. Les passations se sont déroulées en deux ou trois fois, les épreuves expérimentales étant réalisées séparément de l'évaluation cognitive générale. Plus rarement, la passation s'est faite en une seule fois quand c'était plus arrangeant pour les parents ou quand le lieu de passation était éloigné. Pour ces cas-là, un gros créneau de 2 heures était prévu afin de pouvoir faire une pause au milieu de la passation.

Concernant le TTR et le Numeracy Screener, deux épreuves non informatisées, elles se sont faites sur papier avec un chronomètre. Pour le Numeracy Screener, quand un sujet parvenait à terminer la partie code analogique et/ou la partie code arabe avant la fin (avant 1 minute), son temps a été relevé. Pour les 4 subtests de la Batterie Exalang 8-11, l'épreuve a été effectuée avec le logiciel. Enfin, la batterie Examath, étant en cours d'élaboration, les épreuves du module « résolution de problèmes » ont été présentées sous forme de diaporama sur un ordinateur portable avec le logiciel Power point et les résultats reportés manuellement sur des tableaux de synthèse.

3.4 Hypothèses opérationnelles

En lien avec la première hypothèse générale selon laquelle le module Résolution de problèmes devrait être suffisamment discriminant pour permettre d'objectiver une pathologie, nous supposons que le groupe Ctrl aura des résultats globaux significativement supérieurs à ceux des deux groupes pathologiques TSL et DM.

Notre deuxième hypothèse générale suggère que ces épreuves doivent avoir une bonne validité de construit (en particulier, validité en lien avec les caractéristiques des individus),

c'est-à-dire qu'elles permettent de dégager un profil cognitif particulier, aux épreuves de problèmes, selon le type de trouble (TSL ou DM). Nous présumons que les groupes TSL et DM vont échouer de façon significative par rapport aux Ctrl aux trois critères : choix de l'opération, réussite à l'opération et justification ; cependant, au critère « justification », l'échec des TSL serait plus massif et donc significativement inférieur à celui des DM. Nous supposons que l'échec des DM à ce critère découlerait directement du déficit numérique : puisque le problème n'a pu être correctement résolu, la justification apportée serait erronée. Dans le cas de problèmes bien résolus, les DM ne devraient pas avoir de difficultés spécifiques de justification. En revanche, concernant les TSL, nous supposons que les difficultés de justification seraient systématiques puisqu'inhérentes à leur trouble du langage oral. Les difficultés des DM en justification ne devraient apparaître que pour les problèmes non ou mal résolus, tandis que celles des TSL seraient systématiques.

Toujours en lien avec l'hypothèse de mise à jour d'un profil cognitif différent selon le type de trouble, nous supposons que les groupes DM et TSL auront des résultats inférieurs aux Ctrl pour l'épreuve de gestion des énoncés mais que les TSL seront davantage en difficulté que les DM.

4. Résultats

Les analyses statistiques obtenues aux tâches cognitives mais également aux tâches expérimentales ont été effectuées avec le logiciel de traitement statistique SPSS version 22. Des analyses de variance (ANOVA) et des analyses de variance multivariée (MANOVA) ont été réalisées. En ce qui concerne l'analyse post-hoc des effets, la correction Bonferroni a été appliquée. Ces résultats ont été vérifiés avec des analyses non-paramétriques pour les séries montrant une distribution non gaussienne. Les résultats de ces dernières, montrant des conclusions similaires sur la significativité des effets, ne sont pas détaillés.

4.1 Age

Une ANOVA (ANalysis Of VAriance) a été réalisée pour analyser l'âge des sujets selon le plan expérimental $S_{40} < G_3 >$ où S représente le facteur aléatoire Sujet, G représente le facteur fixe à mesures indépendantes Groupe à trois modalités (Ctrl vs. TSL vs. DM). L'analyse montre un effet de Groupe ($F(2, 40) = 4.42, p = .02$). L'analyse post-hoc rapporte que le groupe DM est significativement plus âgé que les deux autres groupes ($p = .02$). Ainsi, pour cette raison, l'âge sera pris en compte comme covariable des analyses suivantes.

4.2 *Evaluation cognitive*

4.2.1 **Scores au TTR**

Une ANOVA a été réalisée pour analyser les résultats totaux au TTR (somme des résultats des additions, des soustractions et des multiplications) selon le plan expérimental $S_{40} < G_3 >$ où S représente le facteur aléatoire Sujet, G représente le facteur fixe à mesures indépendantes Groupe à trois modalités (Ctrl vs. TSL vs. DM). L'analyse des scores montre un effet de Groupe significatif ($F(2, 40) = 5.22, p = .01$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL et les DM. Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$). Lorsque l'âge est covariable des analyses (ANCOVA), l'effet décrit ci-dessus reste significatif ($F(3, 40) = 8.35, p = .001$).

4.2.2 **Scores au Numeracy Screener**

Une ANOVA a été réalisée pour analyser les résultats à l'épreuve Numeracy Screener selon le même plan expérimental. L'analyse des scores à cette épreuve ne montre aucun effet de groupe ($F(2, 40) = .23, p = .79$). Lorsque l'âge est covariable des analyses (ANCOVA), l'absence d'effet persiste ($F(3, 40) = .44, p = .65$).

4.2.3 **Scores à Exalang 8-11**

Une ANOVA a été réalisée pour analyser les résultats globaux aux quatre subtests sélectionnés de la batterie Exalang 8-11 : Lexique mathématique, Complétion de phrases, Compréhension de phrases et Habiletés pragmatiques et discursives. L'analyse des scores à l'ensemble de ces épreuves montre un effet de Groupe significatif ($F(2, 40) = 10.01, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl et les DM sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .002$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les Ctrl et les DM ($p = 1.00$). Lorsque l'âge est covariable des analyses (ANCOVA), l'effet décrit ci-dessus reste significatif ($F(3, 40) = 9.7, p < .001$).

Une MANCOVA (avec l'âge comme covariable) a été réalisée pour analyser les sous-scores correspondant aux quatre subtests sélectionnés.

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif à l'épreuve Lexique Mathématique ($F(3, 39) = 14.13, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les Ctrl et les DM ($p = 1.00$).

L'analyse des scores à l'épreuve Complétion de phrases ne montre aucun effet de groupe ($F(3, 39) = .53, p = .59$).

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif à l'épreuve Compréhension de phrases ($F(3, 39) = 9.54, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .016$) et que les DM sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les Ctrl et les DM ($p = .78$).

Enfin, l'analyse des scores à l'épreuve Habilités pragmatiques et discursives montre un effet de Groupe à la limite de la significativité ($F(3, 39) = 2.97, p = .06$). L'analyse post-hoc révèle que les DM sont meilleurs que les TSL ($p = .05$).

4.2.4 Synthèse

Les DM sont inférieurs aux Ctrl en arithmétique (TTR). Quant aux TSL, ils sont inférieurs aux Ctrl en arithmétique et aux épreuves langagières Lexique mathématique, Compréhension de phrases et Habilités pragmatiques et discursives (Exalang 8-11). Enfin, les DM et les TSL se différencient aux épreuves de Lexique mathématique, Compréhension de phrases et Habilités pragmatiques et discursives. Pour ces trois épreuves, les TSL sont inférieurs aux DM.

4.3 *Tâches expérimentales*

4.3.1 Scores à l'ensemble des problèmes et par critères

Une ANCOVA (avec comme covariable l'âge) a été réalisée pour analyser les résultats à l'ensemble des épreuves de problèmes, tous critères confondus.

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif ($F(3, 40) = 24.4, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

Une MANCOVA (avec l'âge comme covariable) a été réalisée pour analyser les résultats à l'ensemble des problèmes en fonction des trois critères de cotation.

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif concernant le choix de l'opération ($F(3, 40) = 25.87, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

L'analyse des scores concernant la réussite aux opérations montre un effet de Groupe significatif ($F(3, 40) = 26.5, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont

significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif concernant la justification ($F(3, 40) = 25.65, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = .72$).

4.3.2 Scores par types de problèmes et par critères

Les scores des différents groupes à l'ensemble des problèmes sont répertoriés ci-dessous dans le tableau 6.

Tableau 6 : Récapitulatif des scores à l'ensemble des problèmes

Type de problèmes	Critères	Ctrl (n = 12) Moyenne (écart type)	DM (n = 9) Moyenne (écart type)	TSL (n = 19) Moyenne (écart type)
Problèmes additifs	Ch Op (/42)	37,5 (3,26)	28,67 (5,83)*	28,74 (7,16)*
	R (/28)	24,5 (2,58)	17,56 (4,45)*	18,11 (5,56)*
	J (/14)	12,17 (1,11)	6,33 (2)*	7 (3,13)*
Problèmes multiplicatifs	Ch Op (/36)	22,5 (8,34)	5 (3,35)*	6,32 (6,39)*
	R (/24)	13,83 (5,15)	2,22 (2,54)*	3,79 (3,26)*
	J (/12)	7,25 (2,86)	1,11 (1,36)*	2,32 (2,14)*
Totaux problèmes additifs et multiplicatifs	Ch Op (/78)	60 (9,74)	33,67 (7,62)*	35,05 (10,39)*
	R (/52)	38,33 (6,60)	19,78 (5,33)*	21,89 (7,19)*
	J (/26)	19,42 (3,37)	7,44 (2,79)*	9,32 (4,53)*
Problème composé	Score / 14	10,92 (3,03)	8 (3,94)	5,74 (4,77)*
Problème de gestion des énoncés	Score / 17	11,25 (2,63)	8,11 (3,55)	8,16 (3,37)*
Ensemble des problèmes (E25 à E31)	Score / 187	139,08 (22,35)	77 (18,28)*	80,21 (25,53)*

Ch Op : choix de l'opération

R : Réussite à l'opération

J : Justification

* Une différence significative est observée par rapport aux Ctrl.

4.3.2.1 Problèmes additifs

Une MANCOVA (avec l'âge comme covariable) a été réalisée pour analyser les résultats aux problèmes additifs en fonction des trois critères de cotation : choix de l'opération, résultat aux opérations, justification.

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif concernant le choix de l'opération ($F(3, 40) = 10.36, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .001$) et que les DM ($p = .005$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

L'analyse des scores concernant la réussite aux opérations montre un effet de Groupe significatif ($F(3, 40) = 9.01, p = .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .002$) et que les DM ($p = .005$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

L'analyse révèle aussi un effet de Groupe significatif concernant la justification ($F(2, 40) = 16.28, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

4.3.2.2 Problèmes multiplicatifs

Une MANCOVA (avec l'âge comme covariable) a également été réalisée pour analyser les résultats aux problèmes multiplicatifs en fonction des trois critères : Choix de l'opération, Réussite aux opérations et Justification.

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif concernant le choix de l'opération ($F(3, 40) = 21.24, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = 1.00$).

L'analyse des scores concernant la réussite aux opérations montre un effet de Groupe significatif ($F(3, 40) = 28.19, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .005$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = .94$).

L'analyse révèle un effet de Groupe significatif concernant la justification ($F(2, 40) = 18.96, p < .001$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les

TSL ($p < .001$) et que les DM ($p < .001$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les TSL et les DM ($p = .58$).

4.3.2.3 Problème composé

Une ANCOVA (avec comme covariable l'âge) a été réalisée pour analyser les résultats au problème composé. L'analyse révèle un effet de Groupe significatif ($F(3, 40) = 4.59$, $p = .017$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .005$). Cette différence significative ne se retrouve pas entre les Ctrl et les DM ($p = .37$) ni entre les DM et les TSL ($p = .55$).

4.3.2.4 Problèmes de gestion des énoncés

Une ANCOVA (avec comme covariable l'âge) a aussi été réalisée pour analyser les résultats aux problèmes de gestion des énoncés. L'analyse révèle un effet de Groupe significatif ($F(3, 40) = 4.06$, $p = .026$). L'analyse post-hoc révèle que les Ctrl sont significativement meilleurs que les TSL ($p = .039$) et révèle aussi une tendance entre Ctrl et DM ($p = .09$). Aucune différence significative n'est retrouvée entre les DM et les TSL ($p = 1.00$).

4.3.2.5 Synthèse

Les TSL obtiennent des scores significativement inférieurs aux Ctrl pour chacune des épreuves de problèmes (E25 à E39). Les DM obtiennent des scores significativement inférieurs aux Ctrl aux problèmes additifs et multiplicatifs pour chacun des critères. En revanche aucune différence significative n'est retrouvée à l'épreuve de gestion des énoncés et une différence marginale est retrouvée à l'épreuve de problème composé. Quant aux DM et TSL, aucune différence significative n'est retrouvée entre eux.

DISCUSSION

L'objectif de ce mémoire était la validation d'épreuves de résolution de problèmes afin d'en vérifier le caractère discriminant ainsi que la validité de construit. La littérature ayant montré d'une part, des liens entre résolution de problème et habiletés numériques et arithmétiques et d'autre part, entre résolution de problèmes et langage oral, il apparaissait pertinent de soumettre ces épreuves à un groupe présentant des difficultés mathématiques et un groupe présentant un trouble spécifique du langage oral. Afin de pouvoir comparer leurs résultats à une norme, ces épreuves ont été également administrées à un troisième groupe, un groupe sans difficulté, le groupe contrôle.

Les conduites des sujets ont été observées à travers trois critères : le choix de l'opération, la réussite à l'opération et la justification et à travers le score total obtenu (tous problèmes et critères confondus).

La présente discussion permettra d'interpréter les résultats obtenus et de confirmer ou infirmer les hypothèses émises, de poser un regard critique sur l'étude menée, d'ouvrir sur les perspectives naissantes et sur les implications cliniques de cette étude.

1. Interprétation des résultats

1.1 Hypothèse 1 : le module Résolution de problèmes, suffisamment discriminant pour permettre d'objectiver une pathologie

L'hypothèse principale émise suggérait que le module Résolution de problèmes de la batterie Examath serait suffisamment discriminant et sensible pour permettre d'objectiver une pathologie. Nous présumons que le groupe contrôle aurait des résultats globaux significativement supérieurs à ceux des deux groupes pathologiques. Cette première hypothèse est confirmée par les analyses statistiques qui révèlent un effet principal de groupe en faveur du groupe Ctrl. Les deux groupes pathologiques (DM et TSL) ont de moins bons résultats que ceux du groupe Ctrl sur l'ensemble des problèmes. Notre évaluation s'avère être pertinente et permet de confirmer le caractère discriminant et sensible de ce module en objectivant une pathologie.

1.2 Hypothèse 2 : Le module Résolution de problèmes dispose d'une bonne validité de construit

1.2.1 Les TSL et les DM échoueraient de façon significative aux trois critères, mais, pour le critère Justification, l'échec des TSL serait plus important

Une deuxième hypothèse émise était la vérification de la validité de construit c'est-à-dire que le module 5 devrait permettre de dégager un profil cognitif particulier, aux épreuves de problèmes, selon le type de trouble (TSL ou DM). Nous présumions tout d'abord que les groupes TSL et DM devraient échouer de façon significative par rapport aux Ctrl aux trois critères : Choix de l'opération, Réussite à l'opération et Justification ; mais qu'au critère Justification l'échec des TSL serait plus important. Les analyses statistiques montrent effectivement un échec significatif des groupes TSL et DM pour l'ensemble des trois critères par rapport au groupe Ctrl. Néanmoins, le groupe DM n'est pas meilleur que le groupe TSL pour le critère Justification. Cette hypothèse n'est donc pas vérifiée complètement.

Concernant les observations qualitatives, les erreurs rencontrées pour ce critère ont été de deux types. D'une part, les DM, tout comme les TSL, ont souvent employé des formules d'échec de type « je ne sais pas comment expliquer » même lorsque le problème avait été bien résolu. D'autre part, quand une tentative de justification était faite, il s'agissait très souvent d'un rappel littéral de l'énoncé, sans aucune reformulation.

Ces résultats nous amènent à penser que l'impossibilité de justifier manifestée par des formules d'échecs chez les DM et les TSL, dans le cas de problèmes bien résolus, pourrait être liée à une surcharge cognitive importante causée par la tâche de résolution de problèmes. En effet, cette activité est complexe et l'est d'autant plus pour des enfants en difficulté. Parvenir à trouver la solution du problème est déjà une tâche difficile qui implique un coût cognitif important. Les enfants en difficulté verraient alors leur mémoire de travail surchargée et ne parviendraient pas à justifier leur résultat.

Nous pouvons aussi penser que cette tâche de justification est anxiogène pour les enfants en difficulté. Leur atteinte, langagière pour les TSL, numérique pour les DM, est souvent source d'échec scolaire. On peut alors penser que leurs difficultés récurrentes les amènent à manquer de confiance en eux. Cela peut alors se manifester, pour la tâche de justification, par une formule de type « je ne sais pas comment expliquer ». Plutôt qu'essayer et risquer de se tromper, ils adopteraient cette formule d'échec. Passolunghi (2011) montre d'ailleurs que les enfants dyscalculiques sont plus angoissés que les enfants contrôles pour réaliser des tâches mathématiques.

Pour les TSL, cette impossibilité de justifier pourrait également s'expliquer par ce que nous supposons initialement, à savoir leurs difficultés verbales, obstacle dans l'élaboration d'une argumentation alors même que le problème a été bien résolu.

Concernant le rappel littéral de l'énoncé, en guise de justification, observé tant chez les TSL que chez les DM, cela témoigne de l'absence d'élaboration d'un schéma de représentation si l'on se réfère à nouveau au modèle à étapes (Ménissier, 2011). Les sujets ne se sont pas réappropriés le problème, ne l'ont pas bien intégré ; ils ne parviennent alors pas à se détacher de l'énoncé initial. Ces difficultés d'intégration du problème, qui se répercutent sur la justification, peuvent s'expliquer chez les TSL par leur déficit langagier qui se révèle être un obstacle important à la compréhension de l'énoncé. Puisque le traitement est déficitaire, la lecture de l'énoncé ne permet pas l'élaboration d'une représentation mentale ; l'étape d'intégration est alors échouée. Quant aux DM, leur déficit numérique entrave la création d'un modèle mental des quantités, court-circuitant l'étape d'intégration.

1.2.2 Les TSL et les DM échoueraient par rapport aux Ctrl à l'épreuve de Gestion des énoncés mais l'échec des TSL serait plus important

Enfin, toujours en lien avec notre hypothèse selon laquelle le module Résolution de problèmes aurait une bonne validité de construit, c'est-à-dire qu'il permettrait de dégager un profil cognitif particulier selon le type de trouble (TSL ou DM), nous avons supposé que les groupes DM et TSL devraient échouer par rapport aux Ctrl à l'épreuve de Gestion des énoncés, mais que les TSL devraient être davantage en difficulté que les DM. On retrouve une différence significative entre les Ctrl et les TSL et une tendance entre les Ctrl et les DM lors du traitement statistique. Néanmoins, au vu de l'analyse qualitative et des résultats aux statistiques descriptives révélant des moyennes identiques entre DM et TSL, nous ne pouvons pas objectiver de réelle différence entre ces deux groupes. Notre hypothèse n'est pas vérifiée. Cette épreuve est légèrement différente des autres : il ne s'agit pas là de résoudre un problème mais de juger si le problème est possible ou non. Aucun calcul n'est donc demandé. On peut alors penser que cette épreuve requiert uniquement l'intégrité des deux premières étapes du modèle de Ménissier (2011) : la traduction du problème et l'intégration du problème. Pour pouvoir juger si un problème est possible ou non, il faut effectivement être en mesure de comprendre l'énoncé (traduction du problème) et se créer un modèle de situation et un modèle mental numérique, à savoir une représentation de l'histoire ainsi que des nombres et des quantités (intégration du problème). Or, comme expliqué supra, le déficit langagier des TSL perturbe la compréhension de l'énoncé soit l'étape de traduction et ne permet alors pas l'élaboration d'un

modèle mental normalement mis en place lors de l'étape d'intégration du problème. Quant aux DM, la traduction du problème est possible mais l'élaboration du modèle mental numérique est rendue difficile par leur trouble numérique. Ainsi, le déficit des TSL à l'étape de traduction et consécutivement à l'étape d'intégration du problème ainsi que le déficit des DM à l'étape d'intégration du problème génèrent un échec de l'épreuve de gestion des énoncés.

Ainsi, aux problèmes additifs et multiplicatifs de même qu'à l'épreuve de gestion des énoncés, il n'a pu être mis en évidence aucune différence, qu'elle soit qualitative ou quantitative, entre les deux groupes. En effet, bien que le déficit cognitif entre DM et TSL soit différent, les conséquences en résolution de problèmes se révèlent finalement similaires. Cela peut s'expliquer par le fait que les TSL échouent à toutes les étapes du modèle. Ils échouent initialement à l'étape « traduction » et s'agissant d'un modèle en cascade, les autres étapes sont forcément déficitaires. Pour les DM, ils échouent dès l'étape d'intégration et leur déficit numérique impacte ensuite chacune des autres étapes. Nous supposons alors que l'échec des groupes pathologiques en résolution de problèmes est directement consécutif de leur déficit cognitif spécifique mais que les manifestations en résolution de problèmes sont identiques.

Quant au problème composé, les résultats montrent que les DM n'ont pas de résultats significativement différents des Ctrl et des TSL mais qu'il existe une différence significative entre Ctrl et TSL. Cette absence paradoxale de différence entre les DM et les deux autres groupes incite à affiner l'analyse par une nouvelle analyse statistique pour chaque sous-score (choix des opérations, réussite aux résultats intermédiaires, résultat final et non-utilisation des données inutiles) afin de voir comment les DM se comportent dans le détail. Cette analyse supplémentaire est réalisée à l'aide du test non-paramétrique de Kruskal-Wallis, au vu de la petite amplitude de chaque score (de 0 à 5 ou de 0 à 2), suivi de comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Conover-Iman. Concernant le sous-score « choix des opérations », nous retrouvons cette absence de différence entre DM et Ctrl ($p = .13$) et entre DM et TSL ($p = .14$) pouvant s'expliquer par les notes brutes des DM : leur moyenne (3,11/5) se situe entre celle des Ctrl (4,08/5) et celle des TSL (2,10/5). Pour le sous-score « réussite aux résultats intermédiaires », le test de Kruskal-Wallis révèle une tendance à la significativité entre DM et Ctrl ($p = .10$). Au sous-score « résultat final » le test de Kruskal-Wallis révèle une tendance à la significativité pour l'effet de groupe ($p = .08$) et les comparaisons multiples par paires montrent une différence significative entre Ctrl et TSL ($p = .03$) ainsi qu'une tendance entre les Ctrl et les DM ($p = .08$). Enfin, aucune différence n'est mise en évidence pour le sous-

score « non-utilisation des données inutiles » entre Ctrl et DM ($p = .22$) contrairement aux TSL significativement inférieurs aux DM ($p = .008$). Cela laisse suggérer que le déficit langagier des TSL, responsable d'un déficit dans l'étape de traduction du problème (Ménissier, 2011) ne permet pas le repérage de données non pertinentes. En revanche, le déficit numérique des DM n'entraîne pas d'impact sur la sélection des informations pertinentes.

Ainsi, l'analyse détaillée concernant le comportement des DM révèle une tendance à la significativité pour plusieurs sous-scores, ce qui suggère finalement que les DM ne se comportent pas strictement comme les Ctrl dans un problème composé. Toutefois, leurs difficultés semblent moindres que dans les autres épreuves. Cela peut laisser penser que dans cette épreuve, où l'énoncé ne comprend que des petits nombres, l'élaboration d'un modèle mental numérique serait moins difficile à mettre en place que pour des énoncés comportant des plus grands nombres. Il serait toutefois pertinent de poursuivre cette analyse avec des échantillons plus importants afin de pouvoir statuer de façon précise sur les performances des DM dans ce type d'épreuve.

1.2.3 Synthèse

Nous pensions mesurer la validité de construit en mettant à jour des profils cognitifs distincts chez les TSL et chez les DM en raison de leur déficit cognitif spécifique (langagier chez les TSL, numérique chez les DM). Les résultats n'ont finalement pas mis en évidence de différence stricte entre ces deux groupes. Toutefois, en nous appuyant sur le modèle à étapes (Ménissier, 2011), il s'avère que les TSL et les DM échouent respectivement dès la première étape et dès la deuxième étape, cela paraît alors de fait cohérent que leurs conduites soient similaires dans les étapes suivantes. Ainsi, les conduites observées chez les TSL et les DM se révèlent être en adéquation avec le modèle à étapes, la validité de construit s'en trouve vérifiée : le déficit cognitif spécifique des TSL et des DM génère des difficultés dans la résolution de problèmes, l'ensemble des étapes sont déficitaires chez les TSL et le sont dès l'étape d'intégration pour les DM ; par conséquent ils se comportent globalement de la même façon dans cette tâche complexe.

2. Limites du protocole et démarche clinique prospective pour l'évaluation

2.1 Limites méthodologiques

Tout d'abord, le caractère discriminant et sensible mis en avant grâce à la vérification de la première hypothèse ne constitue qu'un premier élément de validité. Pour être assurément certain de la validité de ces épreuves, il aurait fallu aller plus loin dans ce critère et calculer le pourcentage de sensibilité (le pourcentage d'enfants pathologiques identifiés pathologiques grâce au test) et de spécificité (le pourcentage d'enfants Ctrl identifiés sans difficulté grâce au test). L'administration de ces épreuves aux trois groupes a toutefois permis de mettre en évidence des différences entre le groupe Ctrl et les groupes pathologiques, suggérant alors le pouvoir discriminant de ce module.

Il est aussi important de relever la question d'homogénéité des groupes. Puisque notre analyse a porté sur le groupe en tant qu'entité et non sur chaque sujet de façon individuelle, il est important que chaque groupe soit bien homogène. Toutefois, nous n'avons pas réalisé d'évaluation complète en langage et en mathématique et nous ne pouvons donc pas statuer sur les habiletés cognitives précises de chaque groupe. Les déficits langagiers et numériques peuvent s'exprimer de façon différente chez chacun : le degré peut être variable, les manifestations peuvent aussi être variables. Pour le déficit langagier par exemple, différentes composantes du langage peuvent être touchées et à des degrés divers (Friedmann & Novogrodsky, 2007). Nous ne pouvons donc pas affirmer l'homogénéité des groupes et cela reste une limite à prendre en compte dans l'interprétation des résultats.

2.2 Limites et perspectives cliniques pour la batterie Examath

2.2.1 Pertinence de l'épreuve Proportionnalité simple composée

L'observation des résultats à l'épreuve 29, problèmes de proportionnalité simple composée, comportant trois problèmes, a montré que :

- 33 % des enfants Ctrl ont échoué au problème de recherche de la relation globale,
- 50 % des enfants Ctrl ont échoué au problème de recherche d'une des deux relations de proportionnalité,
- 75 % des enfants Ctrl ont échoué au problème de recherche de la première grandeur.

Au total, 52,67 % des enfants ont donc échoué à au moins un des trois problèmes de cette épreuve. Ces résultats révélant un effet plancher (une réussite sous le seuil du hasard), cette épreuve ne sera proposée qu'à partir du collège dans la version finale de la batterie.

2.2.2 Critère de justification

Nous pouvons également évoquer comme limite le critère Justification qui se révèle imprécis dans ce qu'il visait à mesurer. L'interprétation d'un échec à ce critère s'en trouve alors difficile. En effet, si l'introduction de ce critère dans les critères de cotation avait pour but d'évaluer l'élaboration d'une représentation mentale du problème, l'échec à ce critère peut finalement être causé par diverses difficultés. La justification peut être rendue difficile par des difficultés d'expression et/ou d'argumentation alors même que l'enfant sera parvenu à créer un modèle mental. Les sujets peuvent aussi avoir des difficultés à élaborer leur pensée au-delà de ce qu'ils ont écrit : le fait d'avoir posé une opération et d'avoir inscrit la réponse peut être considéré par les sujets comme une justification en soi, et ceux-ci ne verraient alors pas comment justifier autrement. Cette impossibilité de justification peut aussi être expliquée par une surcharge cognitive avec un traitement cognitif important alloué à la résolution du problème et donc un manque de ressources cognitives pour la tâche de justification. Ainsi, si des conduites identiques peuvent être observées lors de cette tâche de justification, le déficit initial peut être tout à fait différent. C'est d'ailleurs le cas dans les résultats retrouvés : les DM et les TSL se comportent de la même façon face à cette consigne de justification alors qu'ils présentent un déficit initial différent (langagier chez les TSL, numérique chez les DM). Un score bas à ce critère ne permet donc pas de déterminer d'emblée le déficit cognitif sous-jacent.

Nous pourrions alors imaginer, à la place du critère Justification, demander aux sujets un rappel de l'énoncé après résolution du problème. En effet, selon Ménissier (2011), il s'agit d'un bon indicateur de la représentation du problème. Un rappel quasiment littéral signifierait l'absence d'élaboration d'un modèle mental alors qu'un énoncé reconstruit serait preuve d'une représentation du problème. Cela permettrait d'éviter certaines difficultés se présentant chez les DM et les TSL lors de la tâche de justification, comme l'impossibilité d'élaborer leur pensée au-delà de ce qu'ils ont écrit ou la difficulté à dépasser leur manque de confiance en eux.

Il aurait également pu être intéressant de demander la réalisation d'un schéma ou un choix de schéma parmi plusieurs distracteurs. Cela aurait permis de cibler l'évaluation de l'étape d'intégration en contrôlant la contrainte verbale des TSL puisqu'aucune argumentation orale n'aurait été demandée.

2.3 *Vers une démarche de l'évaluation*

2.3.1 **Impact du modèle choisi**

L'interprétation du modèle de résolution de problèmes (Ménissier, 2011) peut être discutable. En particulier, la frontière entre l'étape de traduction du problème et l'étape d'intégration du problème est ténue. Selon l'auteur, la première étape, celle de traduction, doit permettre la compréhension de l'énoncé à travers une représentation interne tandis que l'étape d'intégration doit faire naître la création d'un modèle mental. Nous avons interprété la traduction du problème comme une étape de compréhension littérale de ce qui y figure (connaissances factuelles, compréhension du lexique, des tournures linguistiques etc.).

De plus, il est intéressant de tenter d'évaluer la fonctionnalité de chaque étape de résolution, même si celles-ci paraissent difficiles à évaluer isolément.

Pour l'évaluation des capacités de traduction (première étape), une épreuve de Lexique mathématique couplée à une épreuve de Compréhension de phrases serait utile, en cas de suspicion d'échec à ce niveau.

L'étape 2 d'intégration du problème, étant difficilement dissociable de l'étape 1 de traduction, la proposition faite supra de demander un rappel d'énoncé plutôt qu'une justification ou la possibilité de sélectionner dans un choix multiple le schéma du problème permettrait effectivement de tester l'étape d'intégration du problème mais aussi l'étape de traduction. Seuls l'analyse qualitative et le croisement de données entre différents types d'énoncés au sein d'une même série de problèmes permettra de mettre à jour une éventuelle dissociation traduction - intégration.

Pour l'étape de planification des actions, le critère Choix de l'opération présent dans la cotation de ce module peut l'évaluer. Néanmoins, ici encore, cette étape ne peut être évaluée isolément. En effet, pour qu'un sujet parvienne à choisir la bonne opération, il doit au préalable avoir compris l'énoncé et s'être créé un modèle mental. Ce critère Choix de l'opération évalue alors les étapes 1, 2 et 3.

Concernant l'étape d'exécution des calculs, la présence du critère Réussite à l'opération permet de l'évaluer de façon indépendante. Néanmoins, il peut être intéressant de comparer les performances en arithmétique *versus* les performances de calculs en contexte. Une dissociation peut en effet être possible : les calculs au sein d'énoncés arithmétiques pourraient être facilités par le contexte, les performances seraient alors meilleures qu'en calculs seuls. A l'inverse, le traitement du calcul au sein d'une tâche complexe de résolution de problèmes pourrait entraîner

une surcharge de la mémoire de travail et serait alors plus difficile que dans une tâche de faits arithmétiques.

Enfin, pour l'étape d'autocontrôle, qui permet de juger de la pertinence du résultat trouvé, nous pourrions envisager une épreuve pour laquelle le sujet aurait à juger de la plausibilité ou non d'un résultat en réponse à un problème. Par exemple : « Dans une camionnette, 10 colis sont transportés pour un poids total de 500 kg ». « Un colis pourrait-il peser 5000 kg ? ». Néanmoins cette épreuve ne testerait pas uniquement l'autocontrôle. En effet, pour juger de la plausibilité ou non de cette réponse, il est nécessaire de comprendre l'énoncé et de se le représenter mentalement. Un énoncé de ce type évaluerait de ce fait aussi les étapes de traduction et d'intégration du problème.

Ainsi la majorité des étapes ne peuvent être évaluées isolément mais l'évaluation de la résolution de problèmes doit mettre en relation l'ensemble de plusieurs épreuves. Des croisements et des déductions cliniques sont essentiels pour comprendre le profil de l'enfant.

Puisque la résolution de problème fait intervenir le raisonnement, nous aurions pu faire passer une épreuve de type « inférences logiques non verbales » comme celle présente dans le module 6 d'Examath pour le niveau collège en nous centrant sur la perception d'algorithmes séquentiels non numériques et sur les inférences spatiales. Ces items, qui ne mettent en jeu ni compétences verbales ni compétences numériques, auraient permis de déterminer si le trouble du raisonnement présenté par les TSL et les DM dans la tâche de résolution de problèmes était la conséquence de leur déficit respectif ou un trouble associé de type trouble du raisonnement non verbal. En effet, un échec à ces items permettrait de conclure que le trouble du raisonnement est un trouble associé. Dans ce cas, ce trouble viendrait se surajouter aux difficultés langagières des TSL et aux difficultés numériques des DM et permettraient de comprendre d'autant plus les conduites similaires observées chez les deux groupes. L'épreuve existante n'a cependant été construite que pour le niveau « collège » et aurait été inadaptée pour les CM1.

2.3.2 En pratique orthophonique

Au-delà de cette étude expérimentale, il sera nécessaire au cours d'un bilan orthophonique d'investiguer d'autres aspects de la cognition mathématique, en proposant des épreuves des différents modules de la batterie par exemple. La passation de l'intégralité des épreuves « Résolution de problèmes » s'avérant difficile et longue pour les sujets DM et TSL, sélectionner un nombre restreint d'épreuves du module, tout en gardant une démarche clinique adaptée au patient, paraît pertinent. La démarche évaluative peut être ascendante (si échec à une

des premières séries, ne pas proposer les séries plus complexes), descendante (si réussite à une série complexe, ne pas tester une série plus simple) ou mixte (commencer par une série de difficulté intermédiaire pour ajuster ensuite le parcours de tests). Dans cet esprit, il pourrait être intéressant de s'appuyer sur une récente étude de Boonen, de Koning, Jolles et Van der Schoot (2016), mettant en évidence un effet de consistance pour les problèmes de comparaison additive : les problèmes inconsistants sémantiquement simples (comportant la formulation « plus que » mais impliquant une soustraction), qui nécessitent de bonnes habiletés de représentation mentale, sont réussis par les enfants sans difficulté mais échoués par les enfants en difficulté ; alors que les problèmes consistants (comportant la formulation « plus que » et impliquant une addition) sont réussis par tous, ceux en difficulté pouvant appliquer une stratégie de traduction directe. Cet effet de consistance n'a pas été spécifié dans la classification initiale des problèmes de la batterie Examath, mais une analyse qualitative croisant ce critère de consistance à la réussite ou l'échec dans l'épreuve de comparaison additive, effectuée en première intention, permettrait d'orienter la suite de la passation. La réussite à des problèmes inconsistants (étape de traduction « nécessaire mais insuffisante », étape d'intégration « nécessaire »), pourrait amener à faire l'économie des autres épreuves additives et à proposer directement les épreuves multiplicatives et/ou le problème composé.

A contrario, un échec sur les problèmes inconsistants (intégration non efficiente), combiné à une réussite sur les consistants (traduction « nécessaire et suffisante ») incitera à proposer de préférence les épreuves de combinaison et transformation additive d'une part (démarche descendante), à privilégier l'épreuve de gestion d'énoncés pour approfondir les étapes de traduction et d'intégration, et d'autre part à faire l'économie des épreuves multiplicatives.

Un échec sur les problèmes consistants évoquerait un échec dès l'étape de traduction, incitant à approfondir les aspects langagiers en priorité.

Enfin ce travail de recherche montre qu'il est difficile d'objectiver une différence entre des sujets avec difficultés en mathématiques et des sujets avec troubles spécifiques du langage tout aussi déficitaires dans la résolution de problèmes. Il convient alors de mettre en relation différentes épreuves telles que des épreuves purement mathématiques (traitement des quantités, maîtrise des nombres, etc.), des épreuves de raisonnement non verbal et des épreuves de langage oral pour mieux comprendre le profil clinique de l'enfant lors du bilan. Il serait alors pertinent d'envisager, chez un enfant TSL, d'évaluer et d'intégrer au projet thérapeutique la résolution de problèmes à énoncés verbaux, au cours de son évolution, même si ce n'est pas en première intention.

CONCLUSION

Ce travail de recherche avait pour objectif la validation du module Résolution de problèmes au sein d'une batterie informatisée visant le diagnostic de troubles de la cognition mathématique. Il s'est appuyé sur le modèle à étapes de résolution de problèmes (Ménissier, 2011) ainsi que sur les caractéristiques des enfants dyscalculiques et des enfants avec trouble spécifique du langage fréquemment porteurs d'une plainte dans ce domaine.

Afin de vérifier le pouvoir discriminant et la validité de construit, les épreuves ont été administrées à trois groupes : des sujets sans difficulté (groupe contrôle : Ctrl), des sujets avec difficultés en mathématiques (DM) et des sujets avec trouble spécifique du langage (TSL). Les données recueillies ont permis d'affirmer le pouvoir discriminant des épreuves, les Ctrl ayant obtenu des résultats globalement significativement supérieurs aux groupes pathologiques à l'ensemble des problèmes. Néanmoins, malgré la spécificité du groupe DM (prégnance d'un déficit numérique) et du groupe TSL (prégnance d'un déficit langagier), aucune différence n'a été mise en évidence entre ces deux groupes. Il semblerait alors que le déficit langagier des TSL soit responsable d'un déficit dans la traduction du problème, c'est-à-dire dans la compréhension de l'énoncé. Cette mauvaise traduction du problème entraînerait en cascade un échec de toutes les étapes suivantes d'où les difficultés en résolution de problèmes. Quant au déficit numérique des DM, il serait responsable d'un déficit dans l'étape d'intégration du problème, c'est-à-dire dans l'élaboration d'un modèle mental. Les difficultés d'accès au sens du nombre peuvent en effet perturber le traitement des nombres donc la création d'un modèle mental numérique nécessaire à la résolution d'un problème. Les étapes suivantes du modèle se trouvent consécutivement déficitaires, mais elles le sont de façon spécifique en raison du déficit numérique. Ainsi, malgré un déficit cognitif sous-jacent bien distinct, les manifestations en résolution de problèmes se révèlent similaires.

Néanmoins, l'épreuve de problème composé met en évidence des difficultés moins marquées pour les DM, ce qui pourrait être expliqué par la présence uniquement de petits chiffres, favorisant peut-être l'élaboration d'un modèle mental numérique.

La validation du module Résolution de problèmes a nécessité la passation de l'ensemble des problèmes. Toutefois, dans le cadre clinique du bilan orthophonique, la nécessité d'économie de passation, a conduit à une réflexion sur un essai de modélisation du parcours de tests, permettant une adaptation individualisée en fonction des premiers résultats obtenus par le patient. Celle-ci est envisageable en mettant en perspective modèle à étapes et notion de consistance des problèmes.

REFERENCES

- Abedi, J. et Lord, C. (2001). The Language Factor in Mathematics Tests. *Applied measurement in education*, 14(3), 219–234. http://doi.org/10.1207/S15324818AME1403_2
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. Washington, D.C. <http://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.744053>
- Andersson, U. et Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and individual differences*, 22(6), 701–714. <http://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004>
- Ashkenazi, S., Mark-Zigdon, N. et Henik, A. (2013). Do subitizing deficits in developmental dyscalculia involve pattern recognition weakness? *Developmental science*, 16(1), 35–46. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01190.x>
- Baroody, A. J. et Ginsburg, H. P. (1986). The relationship between initial meaningful and mechanical knowledge of arithmetic. *Conceptual and procedural knowledge: the case of mathematics*, (December), 75–112.
- Barrouillet, P. (2006). Les troubles de l'arithmétique et de la dyscalculie. Dans P. Barrouillet et V. Camos (dir.), *La cognition mathématique chez l'enfant* (p. 181 – 211). Marseille: Solal.
- Bideaud, J., Lehalle, H. et Vilette, B. (2004). *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion.
- Boonen, A. J. H., de Koning, B. B., Jolles, J. et Van der Schoot, M. (2016). Word Problem Solving in Contemporary Math Education: A Plea for Reading Comprehension Skills Training. *Frontiers in psychology*, 7(February), 191. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00191>
- Butlen, D. et Pezard, M. (2003). Une contribution à l'étude des rapports entre habiletés calculatoires et résolution de problèmes numériques à l'école élémentaire et au début du collège. *Spirale, revue de recherche en éducation*, 31, 117–140.
- Coquin-Viennot, D. (2001). Problèmes arithmétiques verbaux à l'école : pourquoi les élèves ne répondent-ils pas à la question posée ? *Enfance*, Vol. 53(2), 181–196. Récupéré http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=ENF_532_0181
- Daroczy, G., Wolska, M., Meurers, W. D. et Nuerk, H.-C. (2015). Word problems: a review of linguistic and numerical factors contributing to their difficulty. *Frontiers in psychology*, 06(April), 1–13. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00348>
- De Smedt, B. et Gilmore, C. K. (2011). Defective number module or impaired access?

- Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of experimental child psychology*, 108(2), 278–92.
<http://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.09.003>
- De Vos, T. (1992). Tempo Test Rekenen. Nijmegen: Berkhout.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1–42.
[http://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-N](http://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N)
- Desoete, A., Ceulemans, A., De Weerdt, F. et Pieters, S. (2012). Can we predict mathematical learning disabilities from symbolic and non-symbolic comparison tasks in kindergarten? Findings from a longitudinal study. *The british journal of educational psychology*, 82(Pt 1), 64–81. <http://doi.org/10.1348/2044-8279.002002>
- Devidal, M., Fayol, M. et Thevenot, C. (2005). La résolution de problèmes. Dans M.-P. Noël (dir.), *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant* (p. 193–221). Marseille: Solal.
- Durpaire, J.-L. et Mégard, M. (2012). *Le nombre au cycle 3 : apprentissages numériques*. Canopé - CNDP.
- Fayol, M. et Gaonach, D. (2003). La compréhension : une approche de psychologie cognitive. Dans M. Fayol et D. Gaonach (dir.), *Aider les élèves à comprendre : du texte au multimédia*. Paris: Hachette.
- Friedmann, N. et Novogrodsky, R. (2007). Is the movement deficit in syntactic SLI related to traces or to thematic role transfer? *Brain and language*, 101(1), 50–63.
<http://doi.org/10.1016/j.bandl.2006.09.006>
- Gathercole, S. et Baddeley, A. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children : is there a causal connection ? *Journal of memory and language*, 29(3), 336 – 360. [http://doi.org/10.1016/0749-596X\(90\)90004-J](http://doi.org/10.1016/0749-596X(90)90004-J)
- Hecht, S. a, Torgesen, J. K., Wagner, R. K. et Rashotte, C. a. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: a longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of experimental child psychology*, 79(2), 192–227. <http://doi.org/10.1006/jecp.2000.2586>
- Hegarty, M., Mayer, R. E. et Monk, C. a. (1995). Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers. *Journal of educational psychology*, 87(1), 18–32. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.87.1.18>
- Kail, R. et Hall, L. K. (1999). Sources of developmental change in children's word-problem performance. *Journal of educational psychology*, 91, 660–668.
- Lacert, P. et Camos, V. (2003). Les difficultés de calcul du dysphasique. Dans C. Gérard et V.

- Brun (dir.), *Les dysphasies* (p. 111 – 117). Paris: Masson.
- Lafay, A. et Helloin, M.-C. (en préparation). *Examath : Batterie d'évaluation des troubles de la cognition mathématique*. Grenade: HAPPYneuronPro.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C. et Macoir, J. (2014a). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, 116, 33–58.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C. et Macoir, J. (2014b). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale : déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mental? *Canadian psychology/psychologie canadienne*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/a0037264>
- Laveault, D. et Grégoire, J. (2002). *Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation*. Bruxelles: De Boeck.
- Leclercq, A.-L. et Leroy, S. (2012). Introduction générale à la dysphasie : caractéristiques linguistiques et approches théoriques. Dans C. Maillard et M.-A. Schelstraete (dir.), *Les dysphasies : de l'évaluation à la rééducation*. Issy-Les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- Lussier, F. et Flessas, J. (2001). *Neuropsychologie de l'enfant. Troubles développementaux et de l'apprentissage*. Paris: Dunod.
- Maillard, C. et Schelstraete, M.-A. (2012). *Les dysphasies : de l'évaluation à la rééducation*. Paris: Elsevier Masson.
- Mazeau, M. (2003). *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*. Paris: Elsevier Masson.
- Ménissier, A. (2011). Analyser, comprendre et travailler les problèmes arithmétiques. Dans V. Brun, F. George-Poracchia, M. Habib et M.-P. Noël (dir.), *Calcul et dyscalculies. Des modèles à la rééducation* (p. 79–129). Paris: Masson.
- Moret, A. et Mazeau, M. (2013). *Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent. Répercussions scolaires et comportementales*. Paris: Elsevier Masson.
- Noël, M.-P., Rousselle, L. et De Visscher, A. (2013). La dyscalculie développementale : à la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux. *Développements*, 15, 24–31. <http://doi.org/10.3917/devel.015.0024>
- Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B. et Ansari, D. (2013). A Two-Minute Paper-and-Pencil Test of Symbolic and Nonsymbolic Numerical Magnitude Processing Explains Variability in Primary School Children's Arithmetic Competence. *PLoS ONE*, 8(7). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0067918>
- OMS. (2000). *CIM-10 / ICD-10 Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement : critères diagnostiques pour la recherche*. Paris: Masson.

- Passolunghi, M. C. (2011). Cognitive and Emotional Factors in Children with Mathematical Learning Disabilities. *International journal of disability, development and education*, 58(1).
- Riley, M., Greeno, J. et Heller, J. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. Dans H. . Ginsburg (dir.), *The development of mathematical thinking*. New-York: Academic Press.
- Rondal, J.-A. (2003). *L'évaluation du langage* (2nd ed.). Liège: Mardaga.
- Schelstraete, M.-A. et Demanet, L. (2002). Les composants de la mémoire verbale impliqués dans la compréhension de textes. *Cahiers de La SBLU*, 15–25.
- Thévenot, C., Coquin, D. et Verschaffel, L. (2005). La résolution de problèmes. Dans P. Barrouillet et V. Camos (dir.), *La cognition mathématique chez l'enfant*. Marseille: Solal.
- Thevenot, C. et Perret, P. (2009). Le développement du raisonnement dans la résolution de problèmes : l'apport de la théorie des modèles mentaux. *Développements*, 2, 49–56. <http://doi.org/10.3917/devel.002.0049>
- Thibault, M.-P., Lenfant, M. et Helloin, M.-C. (2012). *Exalang 8-11, Bilan informatisé pour l'examen du langage et des compétences transversales chez l'enfant de 8 à 11 ans*. Mont-Saint-Aignan: Orthomotus.

ANNEXES

Annexe n°1 : Exemples de problèmes additifs selon la classification de Riley.³

Tableau 7 : Exemples de problèmes additifs de type Combinaison

Problèmes de combinaison	
Composition (recherche du tout)	Complément (recherche d'une des deux parties)
Dans un parc, il y a 9 sapins et 3 chênes. Combien y a-t-il d'arbres ?	Dans un parc, il y a 12 arbres. 9 de ces arbres sont des sapins et les autres sont des chênes. Combien y a-t-il de chênes dans ce parc ?

Tableau 8 : Exemples de problèmes additifs de type Changement

Problèmes de changement					
Recherche de l'état initial	Transformation positive		Recherche de l'état initial	Transformation négative	
	Recherche de la transformation	Recherche de l'état final		Recherche de la transformation	Recherche de l'état final
Pierre avait des billes. Il en a gagné 9 et en a maintenant 12. Combien de billes Pierre avait-il au début ?	Pierre avait 12 billes. Il en a gagné. Il en a maintenant 15. Combien de billes Pierre a-t-il gagnées ?	Pierre avait 12 billes. Il en a gagné 3. Combien de billes Pierre a-t-il maintenant ?	Pierre avait des billes. Il en a perdu 9 et en a maintenant 3. Combien de billes Pierre avait-il au début ?	Pierre avait 12 billes. Il en a perdu. Il en a maintenant 3. Combien de billes Pierre a-t-il perdues ?	Pierre avait 12 billes. Il a perdu 9 billes. Combien de billes Pierre a-t-il maintenant ?

³ Pour chacun des trois types de problèmes : combinaison, changement et comparaison, un problème est issu des exemples de Ménissier (2011) et les autres ont été créés afin de conserver la même situation énonciative.

Tableau 9 : Exemples de problèmes additifs de type Comparaison

Problèmes de comparaison					
Comparaison additive			Comparaison soustractive		
<i>Recherche de la valeur inférieure</i>	<i>Recherche de la différence</i>	<i>Recherche de la valeur supérieure</i>	<i>Recherche de la valeur inférieure</i>	<i>Recherche de la différence</i>	<i>Recherche de la valeur supérieure</i>
<p>Rémi a 12 petites voitures. C'est 3 de plus que Paul. Combien Paul a-t-il de petites voitures ?</p>	<p>Rémi a 12 petites voitures. Paul a 9 petites voitures. Combien de petites voitures Rémi a-t-il de plus que Paul ?</p>	<p>Paul a 9 petites voitures. Rémi en a 3 de plus. Combien Rémi a-t-il de petites voitures ?</p>	<p>Rémi a 12 petites voitures. Paul a 3 petites voitures de moins. Combien Paul a-t-il de petites voitures ?</p>	<p>Rémi a 12 petites voitures. Paul a 9 petites voitures. Combien de petites voitures Paul a-t-il de moins que Rémi ?</p>	<p>Paul a 9 petites voitures. C'est 3 de moins que Rémi. Combien Rémi a-t-il de petites voitures ?</p>

Annexe n°2 : Exemples de problèmes multiplicatifs⁴

Tableau 10 : Exemples de problèmes multiplicatifs de type Proportionnalité simple et directe

Problèmes de proportionnalité simple et directe		
Recherche de la quantité d'unités	Recherche de la valeur unitaire	Recherche de la valeur multipliée
Paul a 12 €. Il veut acheter des pochettes d'images valant 4 €. Combien de pochettes peut-il acheter ?	Paul avait 12 €. Il a acheté 3 pochettes d'images. Combien coûte une pochette d'images ?	Paul veut acheter 3 pochettes d'images valant 4 € l'unité. Combien va-t-il payer ?

Tableau 11 : Exemples de problèmes multiplicatifs de type Comparaison multiplicative des grandeurs

Problèmes de comparaison multiplicative des grandeurs					
Comparaison multiplicative			Comparaison de division		
<i>Recherche de la valeur inférieure</i>	<i>Recherche du rapport scalaire</i>	<i>Recherche de la valeur supérieure</i>	<i>Recherche de la valeur inférieure</i>	<i>Recherche du rapport scalaire</i>	<i>Recherche de la valeur supérieure</i>
Vivien a 21 billes. C'est 3 fois plus que Léa. Combien de billes possède Léa ?	Léa a 7 billes et Vivien a 21 billes. Combien de fois plus de billes Vivien a-t-il par rapport à Léa ?	Léa a 7 billes. Vivien a 3 fois plus de billes que Léa. Combien de billes possède Vivien ?	Vivien a 21 billes. Léa en a trois fois moins. Combien de billes possède Léa ?	Léa a 7 billes et Vivien a 21 billes. Combien de fois moins de billes Léa a-t-elle par rapport à Vivien ?	Léa a 7 billes. C'est trois fois moins que Vivien. Combien de billes possède Vivien ?

⁴ Pour chacun des quatre types de problèmes (proportionnalité simple et directe, comparaison multiplicative des grandeurs, proportionnalité simple composée et proportionnalité multiple) un problème est issu des exemples de Ménissier (2011) et les autres ont été créés afin de conserver la même situation énonciative.

Tableau 12 : Exemples de problèmes multiplicatifs de type Proportionnalité simple composée

Problèmes de proportionnalité simple composée		
Recherche de la relation globale	Recherche d'une des deux relations de proportionnalité	Recherche de la première grandeur
Clément achète 2 packs de coca-calo. Il y a 4 bouteilles dans un pack de coca-calo et une bouteille coûte 3 €. Quel est le prix payé par Clément pour son achat ?	Clément achète 2 packs de coca-calo qui coûtent en tout 24 €. Il y a 4 bouteilles dans un pack. Combien coûte une seule bouteille ?	Clément a acheté 8 bouteilles qu'il a réparties dans des packs identiques. Dans chaque pack il a mis 2 bouteilles différentes et pour chaque bouteille, il a mis deux marques différentes. Combien de packs a-t-il remplis ?

Tableau 13 : Exemples de problèmes multiplicatifs de type Proportionnalité multiple⁵

Problèmes de proportionnalité multiple	
Recherche d'une des deux grandeurs	Recherche de la grandeur-produit
A la fin d'un séjour en camping, qui a duré 7 jours, une famille de 5 personnes a déboursé 70 € pour le camping. Quel était le prix par jour et par personne ?	Thomas, Louise et leurs 3 enfants partent en camping pendant 7 jours. Le propriétaire du camping demande à chaque membre de la famille 2 € par jour. Quelle somme cette famille va-t-elle déboursé ?

⁵ Des problèmes de proportion multiple sont présents dans la batterie Examath mais il a été prévu de les administrer uniquement aux collégiens. Ces problèmes n'ont donc pas été proposés aux sujets de notre protocole.

Annexe n°3 : Tableau récapitulatif des tests et/ou batteries évaluant la résolution de problèmes

Tableau 14 : Récapitulatif des tests et/ou batteries évaluant la résolution de problèmes

Nom du test ou de la batterie	Age / niveaux scolaires	Effectif de normalisation	Normalisation
			Problèmes évalués
ERLA	Sans étalonnage		Problèmes additifs (combinaison, comparaison additive et soustractive, transformation additive et soustractive)
Zareki-R	6 ans à 11 ans et demi	250	Problèmes additifs (les trois sous-types de transformations soustractives, comparaison additive avec recherche de la valeur inférieure et de la différence, comparaison soustractive avec recherche de la valeur inférieure)
B-LM Cycle II	5 ans à 8 ans	298	Un problème additif de combinaison, un problème à étapes comportant des problèmes multiplicatifs et un problème insoluble
Tedi-Maths	5 ans à 8 ans	583	Problèmes additifs dont des problèmes énoncés oralement (l'ensemble des problèmes de transformation additive et soustractive) et des problèmes énoncés oralement avec support imagé (combinaison avec recherche du tout, transformation soustractive avec recherche de l'état final)
Tedi-Maths Grand	CE2 à la cinquième	254	17 problèmes : 9 dont l'enfant doit juste énoncer le(s) calcul(s) (5 problèmes additifs et 4 multiplicatifs) et 8 dont il doit donner directement la réponse (1 problèmes additif à étapes et 7 problèmes multiplicatifs)
Exalang 11-15	11 ans à 15 ans	370	Repérage de la question logique parmi 3 choix de questions pour répondre à dix problèmes, repérage de la donnée manquante dans des énoncés de problèmes additifs et multiplicatifs.

RESUME : Validation d'épreuves de résolution de problèmes au sein d'une batterie informatisée (Examath) d'évaluation des troubles de la cognition mathématique.

La résolution de problèmes, activité cognitive complexe mobilise, entre autres, des compétences langagières et numériques. Les dysphasiques et les dyscalculiques sont fréquemment porteurs d'une plainte dans ce domaine. Les bilans orthophoniques d'évaluation de la cognition mathématique doivent alors évaluer cette composante. C'est ce que propose la batterie Examath dans son module « Résolution de problèmes ». L'objectif de l'étude est la validation de ce module dont les épreuves ont été administrées à trois groupes : groupe avec difficultés en mathématiques (DM), groupe avec trouble spécifique du langage (TSL) et groupe sans difficulté (groupe contrôle : Ctrl). Ceux-ci ont été évalués sur la résolution complète des différents types de problèmes additifs et multiplicatifs ainsi que sur un problème composé et l'analyse d'énoncés. Les résultats ont montré, comme attendu, un effet de groupe en faveur du groupe contrôle sur l'ensemble des épreuves validant le pouvoir discriminant du module. En revanche, aucune différence de résultats entre DM et TSL, envisagée en raison de leur déficit cognitif spécifique, n'a pu être mise à jour pour les problèmes additifs, multiplicatifs et la gestion des énoncés. Cela suggère que l'échec dès la traduction du problème pour les TSL et dès l'intégration du problème pour les DM (Ménissier, 2011) entraîne des difficultés similaires dans la tâche de résolution de problèmes. Les résultats obtenus par les DM au problème composé indiquent des difficultés moins marquées pour cette épreuve, suggérant que le traitement de nombres plus petits faciliterait l'élaboration d'un modèle mental numérique chez les DM.

Mots-clés : validation, résolution de problèmes, dyscalculie, dysphasie, bilan orthophonique

ABSTRACT : Validation of problem solving tests included in a computer-based set (Examath) for the evaluation of mathematical cognition impairment.

Mathematical word problem solving is a complicated cognitive activity, it requires language and numeracy skills, among others. Commonly, people suffering from specific language impairment and dyscalculia present difficulties to complete this task. Language therapy assessments of mathematical cognition must consider that matter. This is the goal of the « Problem solving » unit of the Examath set. The aim of this study is to validate this unit; its tests were assayed on three populations: one with Mathematic Learning Difficulties (MLD), one with Specific Language Impairment (SLI) and one with no difficulties (control population: Ctrl). The three populations were evaluated on their abilities to fully resolve different kind of problems involving additions and multiplications as well as multi steps problems and problem statement analysis. As expected, the results showed a Group effect : Ctrl were significantly more successful than the others the two other populations on all the tests of the unit. Due to the specificity of the cognition impairments, differences between the results of MLD and SLI for problem solving were expected. However, none were found for problems involving additions, multiplications or statement analysis. This outcome suggests that the failure of the problem translation for the SLI and the failure of the problem modelling for the MLD (Ménissier, 2011) are followed by similar difficulties to solve problems. The MLD presented less severe difficulties than the SLI in the multi-step problem test involving small numbers, suggesting that their processing promotes the numerical modelling in MLD.

Key-words : Validation, mathematical word problem solving, dyscalculia, dysphasia, speech and language assesment

Nombre de références bibliographiques : 44.