

# CARTOGRAPHIE DE LA RECHERCHE EN MATHEMATICS EDUCATION DE 2007 A 2021 SUR LES TROUBLES ET DIFFICULTES D'APPRENTISSAGE EN MATHEMATIQUES

Florence Peteers, Chloé Lemrich, Francesca Gregorio, Marie-Line Gardes

Université de Cergy-Pontoise, LDAR, Haute École Pédagogique du canton de Vaud

Cet article présente une revue de littérature systématique sur les MLD (mathematical learning disabilities, difficultés ou disorder) dans le domaine Mathematics education au cours des quinze dernières années. Les principaux résultats sont exposés à partir de différents critères : la terminologie et les définitions couramment utilisées, les régions géographiques où sont menées les recherches s'intéressant à cette question, l'âge des participants aux recherches, le contenu mathématique traité et l'objet d'étude principal des recherches (identification, intervention ou caractéristiques de l'élève).

Mots clés : MLD ; dyscalculie ; troubles des apprentissages ; difficultés d'apprentissage ; revue de littérature

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, différents domaines de recherche se sont emparés de la question des troubles ou difficultés d'apprentissage en mathématiques. Il s'agit d'un défi sociétal majeur, car les faibles performances en mathématiques sont source d'inégalités éducatives importantes, avec des conséquences sur le quotidien et la vie adulte future, professionnelle et personnelle, des élèves (OECD, 2016).

La terminologie utilisée pour désigner les troubles et difficultés d'apprentissage en mathématiques varie selon les champs de recherche et les pays. En français, difficulté d'apprentissage en mathématiques, troubles d'apprentissage en mathématiques ou encore dyscalculie cohabitent (Dias, 2018). En anglais, quatre expressions sont fréquemment utilisées : *dyscalculia*, *mathematical learning disabilities*, *mathematical learning difficulties* ou *mathematical learning disorder* (Deruaz et al., 2020). Ces différentes terminologies et leurs définitions ne font pas toujours consensus et évoluent encore beaucoup (Lewis & Fisher, 2016), bien qu'elles reconnaissent un groupe d'élèves partageant des caractéristiques communes. Dans cet article, nous regroupons sous l'acronyme MLD, les *mathematical Learning Disabilities*, *Difficulties* et *Disorder*, et nous définissons trois catégories de MLD (*Math disorder*, *Learning disabilities* et *Severe math difficulties*) avec l'objectif d'offrir une cartographie des recherches en *Mathematics Education* sur les troubles et les difficultés d'apprentissage en mathématiques.

De manière générale, dans les recherches en sciences cognitives, ces troubles sont définis comme des troubles neurodéveloppementaux qui se caractérisent par des difficultés importantes en mathématiques qui ne sont pas dues à un retard intellectuel ou à un déficit sensoriel (Castaldi et al., 2020). Les recherches actuelles montrent que les difficultés rencontrées par les personnes présentant un trouble d'apprentissage en mathématiques ne se limitent pas à l'arithmétique, mais sont multiples et affectent plusieurs aspects des compétences mathématiques (Noël & Karagiannakis, 2020). Les sciences cognitives se sont emparées de cette thématique de recherche depuis de nombreuses années (Butterworth, 2005). Cependant, leurs études sont en général menées en laboratoire et permettent difficilement de répondre à la demande croissante des enseignants qui doivent trouver des solutions pour inclure les élèves présentant des troubles d'apprentissage en mathématiques au sein de leurs classes (Baccaglini-Frank et al., 2020), conformément aux attentes institutionnelles suivant les principes de l'école inclusive (DFJC, 2019).

Du côté de la didactique des mathématiques, il existe de nombreuses recherches s'intéressant à des difficultés liées à l'enseignement des contenus mathématiques eux-mêmes (par exemple pour la

numération Tempier, 2020 ; pour les fractions Lortie-Forgues et al., 2015 ; pour l'algèbre Booth, 1984 ; Pilet, 2015 ; pour la géométrie Gal et Linchevski, 2010) et aux élèves avec des difficultés « ordinaires » (par exemple Butlen et Charles-Pézar, 2007 ; Chesnais, 2020). Mais qu'en est-il de la prise en compte des élèves avec des troubles des apprentissages ?

Pour étudier cette question, nous avons mené une première revue de littérature systématique de dimension internationale (Deruaz et al., 2020) pour répondre à la question de recherche suivante : *quel est l'état des lieux des résultats de la recherche actuelle sur le thème de l'enseignement des mathématiques auprès des élèves avec MLD ?* Le champ disciplinaire concerné était les *Mathematics Education* (qui inclut la didactique des mathématiques) pendant une période de dix ans (2007–2016). Les principaux résultats de cette première revue de littérature ont été les suivants :

1. Les trois catégories de MLD étaient utilisées de manière assez équitable ;
2. La plupart des études étaient menées aux États-Unis, une minorité en Europe et seulement une en dehors de ces deux zones géographiques (Israël) ;
3. La plupart des recherches étaient récentes, entre 2013 et 2016 ;
4. Les publications étatsuniennes préféraient le mot-clé “*dysab\**”, alors que celles européennes privilégient “*difficult\**” ;
5. La plupart des études concernaient des élèves entre sept et douze ans ;
6. La plupart des recherches avaient l'arithmétique comme sujet mathématique d'étude ;
7. La plupart des publications étudiaient l'intervention auprès de populations avec MLD et une petite partie l'identification des élèves avec MLD ou les caractéristiques de ces élèves.

L'objectif du présent article est de rendre compte de la suite de cette revue afin de dresser un état des lieux de la recherche en *Mathematics Education* sur les quinze dernières années (2007-2021) et d'étudier l'évolution sur les cinq dernières années par rapport aux résultats déjà publiés.

### TROIS CATÉGORIES DE MLD

Comme nous l'avons précisé en introduction, les terminologies utilisées pour définir les troubles et difficultés d'apprentissage relatives aux mathématiques sont variables selon les domaines de recherche, tant en français qu'en anglais. En sciences cognitives, la persistance des difficultés est fondamentale pour caractériser les troubles. Ainsi, les compétences des élèves sont testées à l'aide de tests standardisés : un test de mathématiques (par exemple Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001) ou ExaMath (Lafay et Helloin, 2016)) et un test pour évaluer le quotient intellectuel (par exemple WISC-V ; Weiss et al., 2016). Cependant, les tests de mathématiques utilisés pour le diagnostic peuvent être assez différents (Peteers, 2020), ce qui favorise une certaine variabilité dans le type de difficultés des élèves repérés à travers ces diagnostics. Notons que ces informations relèvent du secret médical et ne sont pas toujours accessibles à l'enseignant, ce qui ne lui permet pas d'obtenir une description précise des difficultés de l'élève. De plus, l'enseignant doit venir en aide à tous les élèves, qu'ils soient diagnostiqués ou non. Dès lors, dans cette revue de littérature, nous avons choisi d'adopter un point de vue plus global sur les MLD (par rapport à celui des recherches en sciences cognitives) et de considérer également les élèves ne possédant pas de diagnostic médical, mais possédant des difficultés spécifiques aux mathématiques et/ou persistantes. Cela nous a amenés à définir trois catégories de MLD.

La première catégorie regroupe l'ensemble des élèves avec *Math Disorder* qui sont identifiés par un diagnostic médical tel que décrit ci-dessus. Ces élèves ont donc été évalués à l'aide d'un test spécifique standardisé en mathématiques, qui a relevé des difficultés spécifiques et persistantes en mathématiques, et un test de quotient intellectuel pour exclure d'autres troubles ou handicaps associés.

La deuxième catégorie regroupe l'ensemble des élèves avec *Learning Disabilities*. Ces élèves ont été diagnostiqués par un test standardisé avec des difficultés d'apprentissage persistantes, mais non nécessairement spécifiques aux mathématiques. Il peut s'agir, par exemple, d'un déficit en mémoire de travail qui aura des répercussions sur les apprentissages mathématiques ou d'une dyspraxie.

La troisième catégorie se rapporte à l'ensemble des élèves avec *Severe math difficulties*. Ces élèves sont en grande difficulté en mathématiques, mais ils n'ont pas de diagnostic de *Math disorder* comme décrit dans le paragraphe précédent. Ces élèves réussissent nettement moins bien (le critère choisi étant variable selon les études) que les autres lors d'évaluations en mathématiques (par exemple, en classe, aux examens, etc.), mais n'ont pas passé de tests standardisés. Ces élèves présentent donc des difficultés d'apprentissage spécifiques aux mathématiques, mais leur nature et leur caractère persistant ou non ne sont pas avérés.

## QUELQUES ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE

La méthode de recherche utilisée pour cette revue de littérature est identique à celle employée dans Deruaz et al. (2020). Cependant, la période considérée a été étendue jusqu'en 2021 (5 années supplémentaires sont donc prises en compte par rapport à la période initiale de 2007 à 2016). Afin d'assurer un haut niveau de qualité scientifique des articles, ceux-ci ont été sélectionnés dans les revues les plus reconnues (classées en A\*, A ou B) en *Mathematics Education* dans le classement international réalisé par Toerner et Arzarello (2012). Il s'agit de revues internationales, à comité de lecture, pour la plupart anglophones. Nous avons utilisé la formule et les mots-clés suivants : “disab\* OU dyscalcul\* OU difficult\* OU inclus\*”. Ces mots clés ont l'avantage de regrouper l'ensemble des termes utilisés pour les MLD en anglais et en français (pour le processus détaillé, voir Deruaz & al., 2020).

La sélection des articles s'est ensuite déroulée en trois étapes (voir Fig. 1). Tout d'abord, nous avons recherché, dans les revues sélectionnées, l'ensemble des articles ayant au moins l'un des mots-clés dans leur titre, leur résumé ou leurs mots-clés. Cette première étape nous a permis d'identifier 742 articles. Ensuite, nous avons éliminé, sur base de la lecture des titres et résumés, les articles hors sujet. Par exemple, nous n'avons pas conservé les articles se rapportant explicitement aux difficultés des enseignants ou à des difficultés langagières ou culturelles. À la suite de cette deuxième étape, notre liste a été réduite à 76 articles. Enfin, nous avons lu tous les articles restants afin de nous assurer de la cohérence de leur définition de MLD avec nos trois catégories décrites dans la section précédente (*Math disorder*, *Learning disabilities* ou *Severe math difficulties*). Nous nous sommes plus particulièrement focalisés sur la population considérée dans les différentes études analysées. Les articles s'intéressant à des élèves n'entrant pas dans une de nos trois catégories (*math disorder*, *learning disabilities* et *severe math difficulties*) ont été éliminés. C'est par exemple le cas d'études dont les populations sont composées d'élèves présentant une déficience intellectuelle ou un handicap sensoriel. À l'issue de cette dernière étape, notre corpus final comporte 40 articles (la liste complète peut être consultée en Annexe), dont 5 méta-analyses (identifiées par une \* dans l'Annexe).

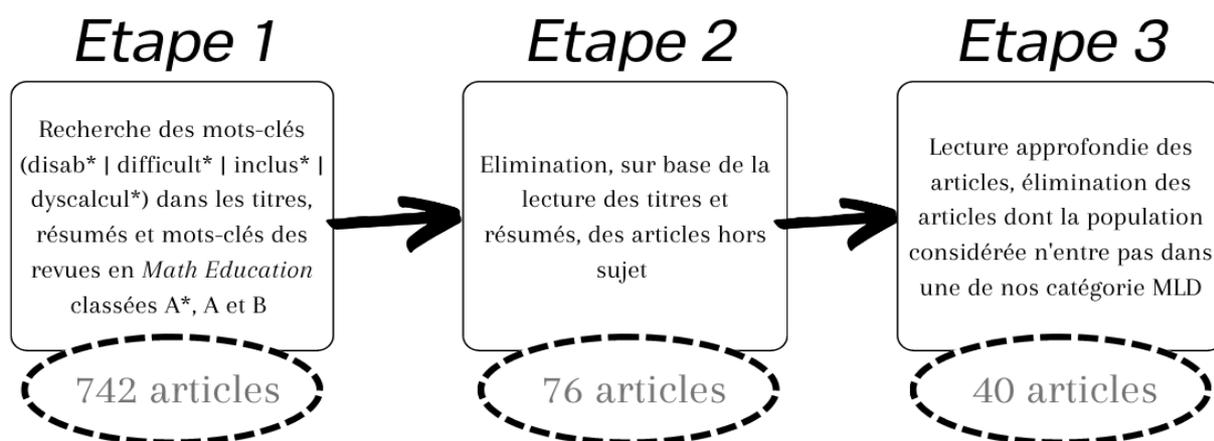


Fig. 1 : Méthodologie de sélection des articles

Dans la section suivante, nous analysons 35 articles du corpus final sur base de différents critères. Tout d'abord, nous effectuons un classement suivant les trois catégories de MLD que nous avons considérées ci-dessus. Ensuite, nous croisons les régions géographiques desquelles sont issus les articles et les années

de publication de ceux-ci avec la catégorie de MLD à laquelle ils appartiennent. Puis, nous analysons les mots-clés utilisés en fonction des régions géographiques. Nous effectuons également un classement des articles selon les niveaux scolaires des participants aux études ainsi que selon les contenus mathématiques abordés. Enfin, nous identifions trois types de recherches en fonction de leur objet d'étude : celles portant sur l'identification d'élèves avec MLD, celles qui proposent ou analysent des méthodes d'intervention auprès d'élèves avec MLD et celles s'intéressant aux caractéristiques de ces élèves.

## RÉSULTATS

### Catégorisation suivant la catégorie de MLD

La Fig. 2 présente le nombre d'articles pour chacune des trois catégories composant le concept élargi de MLD en *Mathematics Education*. Les articles se situant aux intersections entre deux catégories correspondent à des études dans lesquelles la population est constituée de différents types d'élèves. Par exemple, un article à l'intersection entre les catégories *Math Disorder* et *Learning Disabilities* concerne à la fois des élèves diagnostiqués avec des difficultés d'apprentissage persistantes et spécifiques aux mathématiques et des élèves diagnostiqués avec des difficultés d'apprentissage persistantes et non spécifiques aux mathématiques.

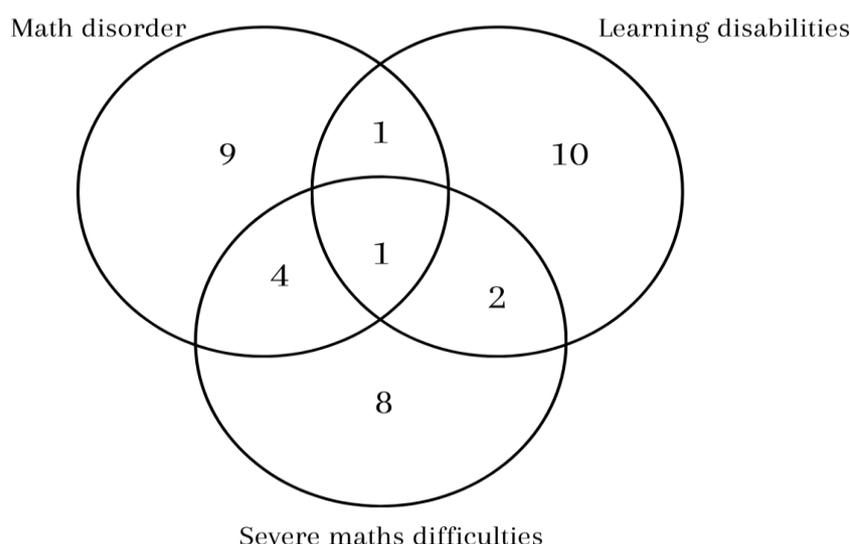


Fig. 2 : Nombre d'articles par catégorie de MLD

Comme c'était déjà le cas dans notre première revue de littérature (Deruaz et al., 2020), nous constatons que les trois catégories sont réparties de manière assez équivalente. Cela montre la pertinence de considérer chacune des trois catégories, en particulier pour les recherches concernant l'enseignement des mathématiques. Notons que ces cinq dernières années, nous assistons à une augmentation de travaux étant à l'intersection des catégories *Math disorder* et *Severe maths difficulties*. Ce constat montre l'ouverture de la recherche sur des études portant à la fois sur des élèves diagnostiqués avec des troubles des apprentissages et des élèves en grande difficulté mathématique, indépendamment de leur cause. Cela peut s'expliquer par l'intérêt de plus en plus marqué de l'approche didactique, qui se joint à l'approche cognitive.

### Régions géographiques et années de publication

La Fig. 3 présente, selon les années de publication, le nombre d'articles issus de chaque région géographique. Le premier constat saillant est le nombre restreint d'études traitant ce sujet malgré l'actualité du sujet de recherche. Approfondir le domaine des MLD en didactique des mathématiques s'avère donc être un sujet de recherche tant pertinent que nécessaire.

	2007-2011	2012-2016	2017-2021
Europe de l'Ouest	1	3	6
Europe du Nord	0	2	0
Amérique du Nord	1	9	12
Asie	0	0	2
Moyen Orient	0	1	0
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>18</b>

Fig. 3 : Nombre d'articles par régions géographiques et année de publication

Nous constatons une forte augmentation du nombre de publications sur les dix dernières années alors qu'entre 2007 et 2011 il n'y avait quasiment aucune étude sur le sujet. Dans les cinq dernières années, nous observons encore une augmentation légèrement plus marquée qu'entre 2012 et 2016, ce qui pourrait indiquer que l'intérêt pour le sujet va encore croître. Outre ces augmentations, notons que plus de la moitié des articles que nous avons identifiés concernent des études menées aux USA. Cependant, par rapport à 2007-2016, les pays européens semblent montrer de plus en plus d'intérêt aux problématiques liées aux MLD. Notons également que des collaborations internationales sont en développement, comme en témoigne l'article de Liu et ses collègues (2020), entre l'Allemagne, l'USA et la Corée du Sud.

### Régions géographiques, mots-clés et catégories de MLD

En regardant les mots-clés utilisés dans les différents articles (voir Fig. 4), nous notons que le terme *disability* est largement utilisé dans les recherches menées en Amérique du Nord (18 articles sur 21 utilisent le mot-clé *disab\**). Ce constat confirme l'analyse de 2020 (Deruaz et al., 2020). Nous avons également fait le constat que les recherches européennes se servaient majoritairement du terme *difficulty*, confirmant d'autres recherches (Scherer & al., 2016). Or, nous constatons qu'en considérant les recherches effectuées ces cinq dernières années (2016-2021), *difficulty* reste encore assez employé mais le terme *dyscalculia* est tout autant utilisé au niveau européen.

	dyscalcul*	disab*	difficult*	inclus*
Europe de l'Ouest	5	3	6	2
Europe du Nord	0	0	2	0
Amérique du Nord	2	18	8	0
Asie	0	1	2	0
Moyen Orient	0	1	1	0

Fig. 4 : Nombre d'articles par régions géographiques et mot-clé

La Fig. 5 présente le nombre d'articles selon les régions géographiques et les catégories de MLD mentionnées dans les études. Chaque article peut avoir été classé dans plus qu'une colonne s'il concerne plusieurs élèves de différentes catégories.

	<i>Math disorder</i>	<i>Learning disabilities</i>	<i>Severe math difficulties</i>
Europe de l'Ouest	6	2	7
Europe du Nord	0	0	2
Amérique du Nord	9	11	6
Asie	0	0	2
Moyen Orient	0	1	0
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>15<sup>a</sup></b>

Fig. 5 : Nombre d'articles par régions géographiques et catégorie de MLD

Ces résultats montrent clairement que selon les zones géographiques où sont effectuées les recherches, les catégories de MLD considérées diffèrent et par conséquent les axes de recherches aussi. En Europe de l'Ouest, les travaux se sont principalement concentrés sur les difficultés spécifiques aux mathématiques en se dédiant surtout aux élèves avec *Severe math difficulties* et avec *Math disorders*. L'Europe du Nord va dans la même direction avec la totalité de ses recherches portant sur des élèves identifiés *Severe math difficulties*. Ce constat concernant l'Europe est cohérent avec celui concernant les mots-clés (Fig. 4). En effet, il y a une utilisation en proportion plus élevée que les autres régions géographiques des termes *difficult\**, *inclus\** (qui caractérisent un intérêt pour les difficultés au sens large, et donc pour élèves avec *Severe math difficulties*) et *dyscalcul\** (qui cible un intérêt spécifique pour les troubles en mathématiques). En Amérique du Nord, au contraire, les recherches se focalisent davantage sur les élèves avec *Learning disabilities* et avec *Math disorder*. Ce résultat est cohérent avec le mot-clé plus fréquemment utilisé : *disab\**. Cependant, par rapport à notre première analyse (Deruaz et al., 2020), nous voyons aussi une augmentation de l'intérêt de l'Amérique du Nord pour les *Severe math difficulties*.

Ces tendances concernant la catégorie de MLD étudiée sont intéressantes non seulement pour une question de vocabulaire, mais elles relèvent surtout d'une véritable différence d'approche sur la question de la prise en compte des élèves en difficultés (focus sur les élèves avec un diagnostic vs. focus sur l'ensemble des élèves avec des difficultés d'apprentissage), ce qui a très probablement des conséquences au niveau éducatif et politique. En effet l'approche des recherches européennes est en cohérence avec la direction prise par différents pays vers une école inclusive où les diversités des élèves sont prises en charge au sein d'une classe ordinaire.

## Niveau scolaire

En regardant le niveau scolaire considéré dans chaque article de notre liste finale (Fig. 6), nous constatons que la majorité des études concernent l'école primaire (24 sur 35), très peu d'études concernent le secondaire I (6 sur 35) et seulement une étude s'intéresse au préscolaire et une autre à l'enseignement post-obligatoire. Cela peut s'expliquer par deux raisons principales : d'une part l'identification de difficultés persistantes et/ou spécifiques aux mathématiques s'effectue dans cette tranche d'âge, et d'autre part, les premières difficultés se manifestent sur les premiers apprentissages mathématiques, notamment en numération, calcul et résolution de problèmes, contenus débutant au début de l'école primaire.

Niveau scolaire	Précolaire 4-7 ans	Primaire 7-12 ans	Secondaire I 12-14 ans	Secondaire II 14-18 ans	Adultes >18 ans
Nombre d'articles	1	24	6	1	3

Fig. 6 : Nombre d'articles par catégorie de MLD

En ce qui concerne les cinq dernières années, aucune nouvelle étude concernant le préscolaire et le secondaire II n'a été faite (Deruaz et al., 2020).

### Contenu mathématique

A propos des contenus mathématiques abordés dans les différentes études, nous observons, de manière analogue à Deruaz et al. (2020), une focalisation sur les contenus arithmétiques (16 articles), les fractions (7 articles) et les problèmes arithmétiques verbaux (11 articles). Une légère diversification des contenus sur les cinq dernières années est constatée avec un article s'intéressant au raisonnement proportionnel (Im & Jitendra, 2020), un autre s'intéressant à l'identification du raisonnement mathématique à travers les écrits des élèves (Hughes et al., 2020) et deux études sur l'algèbre ou préalgèbre (Powell et al., 2020a ; Xin, 2019). En revanche, nous constatons toujours l'absence d'études relatives à des contenus de géométrie ou de mathématiques plus avancées (analyse ou algèbre linéaire par exemple). Ceci est à mettre en relation avec les niveaux scolaires pris en compte dans les recherches. En effet, très peu d'études s'intéressent au niveau secondaire I et post-obligatoire.

### Objet d'étude

Nous avons classé les articles en fonction de leurs centres d'intérêt : identification des difficultés des élèves avec MLD, intervention auprès d'élèves avec MLD et caractéristiques des élèves avec MLD (Fig. 7). Nous constatons qu'une majorité des études portent sur le développement d'interventions auprès d'élèves avec MLD et à l'évaluation de leurs effets sur les apprentissages mathématiques (26 sur 35). Notons que peu de recherches traitent de plusieurs centres d'intérêt. Par exemple, seules deux études cherchent à relier la question de l'identification des difficultés des élèves avec MLD avec celle de l'intervention auprès de ces élèves en fonction de leurs difficultés identifiées (Butterworth et Laurillard, 2010 ; Jankvist & Niss, 2015). Ce constat avait déjà été dressé dans Deruaz et al. (2020). Ces cinq dernières années, le nombre de recherches a doublé dans chacune des trois catégories.

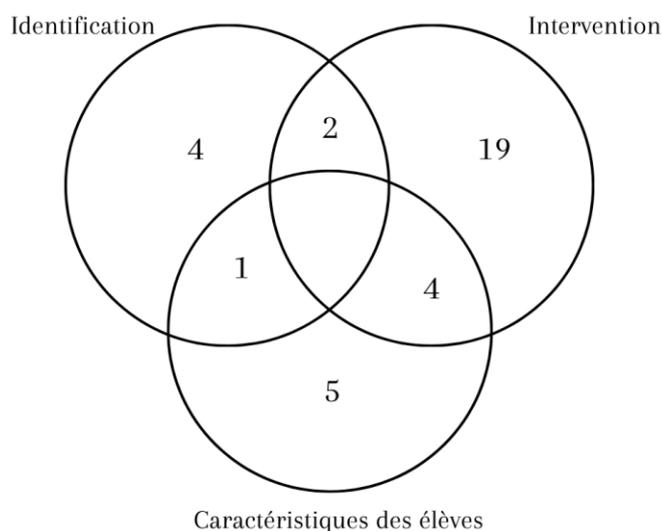


Fig. 7 : Nombre d'articles selon leur objet d'étude

Nous proposons dans les lignes qui suivent une analyse plus fine des articles qui s'intéressent aux interventions auprès d'élèves avec des troubles ou difficultés d'apprentissage en mathématiques, car cela a une importance majeure pour l'enseignement de la discipline et la formation du futur corps enseignant (ordinaire et spécialisé). Cette analyse révèle qu'il s'agit principalement d'interventions individuelles ou en petits groupes et effectuées hors classe, par un chercheur ou un assistant de recherche (14 sur 25). La moitié de ces études (7 sur 14) portent sur une analyse des effets d'une intervention, élaborée par une équipe de recherche sur un objectif mathématique ciblé, s'appuyant sur un enseignement structuré et explicite, souvent couplée avec un enseignement de stratégies, ou sur l'utilisation d'un logiciel ou d'une application informatique. Nous y retrouvons les types d'interventions qui montrent le plus d'effets positifs pour l'apprentissage des élèves avec MLD en mathématiques (Lacombe et al., 2021). Par exemple, Powell et ses collègues (2020b) ont montré l'effet bénéfique d'une intervention intensive (30 minutes trois fois par semaine pendant 13 semaines) sur la résolution de problèmes arithmétiques verbaux appelée *Pirate Math Equation Quest* (<https://piratemathequationquest.com/about.html>) pour des élèves de 8-9 ans avec MLD. Cette intervention propose un enseignement structuré et explicite sur la lecture, l'interprétation, la mise en place et la résolution de problèmes verbaux en mettant l'accent sur les schémas, couplée avec un travail spécifique sur la compréhension du signe égal et la notion d'équations. Chaque session de cet enseignement se décompose en cinq étapes : *Math Fact Flashcards* qui permet aux élèves de travailler la fluidité des faits numériques, *Equation Quest* qui propose des activités dirigées par l'intervenant sur le signe égal, *Buccaneer Problems* qui est une pratique de résolution de problèmes verbaux dirigée par l'intervenant avec enseignement de schémas, *Shipsshape Sorting* qui entraîne les élèves au tri de schémas et *Jolly Roger Review* qui est une révision cumulative de l'ensemble des éléments travaillés dans la session. Ce programme étant proposé en individuel ou en petits groupes, une adaptation pour l'ensemble de la classe pourrait être intéressante à élaborer puis à tester en classe.

Les autres articles rapportent des interventions effectuées en classe (12 sur 25), dont cinq sont des interventions individuelles ou en petits groupes et six avec la classe entière. Les interventions individuelles sont axées sur un enseignement de stratégies ou sur l'utilisation d'un logiciel ou d'une application numérique. Les interventions menées avec toute la classe sont centrées sur des séquences d'enseignement élaborées par une équipe de recherche. La majorité d'entre elles s'appuie sur un enseignement structuré et explicite, couplée à un enseignement de stratégies. Ces séquences d'enseignement sont dispensées par les enseignants de la classe (ordinaires ou spécialisés), formés auparavant par l'équipe de recherche. Par exemple, Im et Jitendra (2020) ont montré un effet positif d'une intervention en classe auprès d'élèves de 12-13 ans (45 minutes cinq fois par semaine pendant six semaines), élaborée par les chercheurs et donnée par l'enseignant (formé en amont par les chercheurs), pour aider les élèves avec MLD à donner du sens au raisonnement proportionnel dans le contexte de résolution de problèmes verbaux. Cette intervention se focalise, d'une part sur un travail des concepts (ratio et relations proportionnelles) et d'autre part sur la résolution de problèmes verbaux multiplicatifs. L'accent est mis sur la connaissance des procédures de résolution pour une classe de problèmes donnés, un enseignement structuré et explicite pour aider les élèves à reconnaître les structures sous-jacentes communes des problèmes d'une même classe, la représentation de la situation à l'aide de représentations appropriées (c'est-à-dire qui illustrent les relations entre les quantités pertinentes du problème), la planification de la manière de résoudre les problèmes d'une classe donnée et le contrôle du caractère raisonnable de la réponse obtenue. Bien que ce programme démontre un effet positif sur les apprentissages des élèves avec MLD, les chercheurs précisent que leurs résultats restent très faibles. Elles identifient deux sources principales : une faible maîtrise des fractions et l'utilisation persistante du raisonnement numérique et additif. Elles concluent en faisant des recommandations pour l'enseignement du raisonnement proportionnel : approfondir en amont les connaissances sur les nombres entiers et les nombres rationnels, sur la signification de la multiplication pour les nombres entiers, expliciter les liens avec la multiplication de nombres rationnels et apprendre à distinguer les situations de comparaison qui nécessitent un raisonnement additif ou multiplicatif.

Cette analyse met en évidence les limites de ces recherches pour impacter les pratiques enseignantes. La majorité des interventions étudiées se déroulent hors classe, en individuel ou en petits groupes et étant dispensées par les chercheurs à l'origine de l'élaboration de l'intervention. Ces interventions semblent

difficiles à transférer dans le contexte de la classe ordinaire. En effet, elles sont construites sur des interactions longues et privilégiées avec chaque élève, ce qui est délicat à mettre en œuvre en classe entière. Certaines interventions, comme *Pirate Math Equation Quest* (Powell et al., 2020b), pourraient être adaptées dans le contexte de l'enseignement ordinaire et pour toute la classe, car le matériel utilisé, les modalités de travail proposées (alternance de phases de travail en individuel et en collectif), la durée et les contenus (axés sur l'introduction des notions et non sur la remédiation) sont compatibles avec un enseignement en classe entière. Cependant, cela demanderait de réaliser un travail de transfert important. Les interventions menées en classe pourraient, elles, être transférées au contexte de classe ordinaire, mais là aussi plusieurs verrous doivent être levés, notamment celui de la formation des enseignants pour donner l'intervention. En effet, les résultats de ces études sont probants, mais les facteurs explicatifs sont peu décrits. Or, un facteur explicatif pourrait être que ce sont les chercheurs, à l'origine de l'élaboration de l'intervention, qui forment les enseignants. Dans un contexte de généralisation, on peut se demander si l'intervention sera efficace s'ils ne sont pas formés par l'équipe de recherche (et dans ce cas, qui serait chargé de dispenser ces formations et sous quelles formes ?). D'autre part, les recherches collaboratives entre chercheurs et enseignants, avec une élaboration coconstruite des contenus des séquences de l'intervention, pourraient être une voie à privilégier pour favoriser le transfert des résultats de recherche à la classe, au profit du développement des compétences des enseignants et des apprentissages des élèves.

## CONCLUSION

Les résultats présentés dans les paragraphes précédents confirment de nombreux aspects de la revue de littérature de Deruaz et al. (2020), tout en indiquant certaines évolutions des cinq dernières années. Tout d'abord, la pertinence des trois catégories définies de MLD (Fig. 2) est confirmée par cet article : les trois catégories contiennent en effet des articles et sont donc nécessaires afin de repérer des recherches à ce sujet. Nous pouvons donc conclure qu'elles sont solidement construites et qu'elles peuvent servir de référence pour caractériser les élèves avec MLD en *Mathematics Education*. En deuxième lieu, l'intérêt pour les MLD augmente au niveau international, ce qui souligne la nécessité de telles recherches, car elles peuvent avoir d'importantes implications pratiques pour l'enseignement des mathématiques, par exemple en ce qui concerne l'adaptation de situations d'apprentissages pour les élèves avec MLD. Malgré cette augmentation, le nombre d'articles sur le sujet reste faible, ce qui laisse encore de nombreuses voies à explorer pour les recherches futures. En particulier, il serait nécessaire d'étudier l'apprentissage et les difficultés d'élèves avec MLD dans d'autres domaines mathématiques que l'arithmétique, en explorant par exemple le raisonnement mathématique, la résolution de problème, la pensée algébrique ou géométrique. Enfin, l'intérêt reconnu des recherches en *Mathematics education* pour l'identification des élèves en difficulté (Fig. 7) est appréciable. En effet, les cadres théoriques et les méthodes offerts par cette discipline constituent un outil essentiel pour identifier les difficultés en mathématiques (Peteers, 2020). Mais au-delà de l'identification, la didactique des mathématiques mérite d'avoir un rôle principal à jouer dans la construction d'interventions pour la classe (et pas seulement en individuel et en dehors de la classe) dans laquelle se trouvent des élèves avec et sans MLD. Un développement de la recherche dans cette direction s'avère aujourd'hui indispensable pour répondre à la demande des écoles, des enseignants et des politiques éducatives dans la visée d'une pédagogie inclusive.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des membres de l'équipe RITEAM (<http://riteam.ch/fr/>) pour leur relecture attentive et leurs conseils précieux : Michel Deruaz, Thierry Dias, Ludivine Hanssen, Cécile Ouvrier-Bufferet et Elisabetta Robotti.

## BIBLIOGRAPHIE

Baccaglini-Frank, A., Di Martino, P. & Maracci, M. (2020). Dalla definizione di competenza matematica ai profili cognitivi e affettivi. Il difficile equilibrio tra ricerca di una definizione teorica dei costrutti e

- sviluppo di strumenti di osservazione e intervento. *XXXVII seminario nazionale di didattica della matematica "Giovanni Prodi"*. [https://www.airdm.org/semnaz2020\\_relazione/](https://www.airdm.org/semnaz2020_relazione/)
- Booth, L. (1984). Erreurs et incompréhensions en algèbre élémentaire. *Petit x*, 5, 5–17.
- Butlen, D., Charles-Pézar, M. (2007). Conceptualisation en mathématiques et élèves en difficulté. Le calcul mental, entre sens et technique. *Grand N*, 79, 7–32.
- Butterworth, B. (2005). Developmental dyscalculia. In J. I. D. Campbell (Éd.), *Handbook of mathematical cognition* (p. 455–468). Psychology Press.
- Butterworth, B., & Laurillard, D. (2010). Low numeracy and dyscalculia: Identification and intervention. *ZDM Mathematics Education*, 42(6), 527–539. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0267-4>
- Castaldi, E., Piazza, M., & Iuculano, T. (2020). Learning disabilities: Developmental dyscalculia. *Handbook of Clinical Neurology*, 174, 61–75.
- Chesnaï, A. (2020). L'apport d'un point de vue de didactique des mathématiques sur la question des inégalités scolaires. *Éducation et didactique*, 14(1), 49–79. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.5378>
- Département de la formation, de la jeunesse et de la culture (DFJC). (2019). *Concept 360°*.
- Auteur-e. (2020). Exploring MLD in mathematics education: Ten years of research. *The Journal of Mathematical Behavior*, 60, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100807>
- Dias, T. (2018). Difficultés d'apprentissage en mathématiques : un regard didactique. In J. Pilet & C. Vendeira (Eds.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques* (pp. 251–259).
- Gal, H., & Linchevski, L. (2010). To see or not to see: analyzing difficulties in geometry from the perspective of visual perception. *Educational studies in mathematics*, 74, 163–183.
- Hughes, E. M., Riccomini, P. J., & Lee, J. Y. (2020). Investigating written expressions of mathematical reasoning for students with learning disabilities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100775>
- Im, S. H., & Jitendra, A. K. (2020). Analysis of proportional reasoning and misconceptions among students with mathematical learning disabilities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2019.100753>
- Jankvist, U. T., & Niss, M. (2015). A framework for designing a research-based “maths counsellor” teacher programme. *Educational Studies in Mathematics*, 90(3), 259–284. <https://doi.org/10.1007/s10649-015-9629-8>
- Lacombe, N., de Chambrier, A.-F. & Dias, T. (2021). Des données probantes au service de l'enseignement différencié des mathématiques. *Revue de mathématiques pour l'école*, 236, 13–26. <https://www.rme.swiss/article/view/1441/1275>
- Lafay, A. & Helloin, M.-C. (2016). *Examath : Batterie d'évaluation des troubles de la cognition mathématique*. HappyNeuron.
- Lewis, K. E., & Fisher, M. B. (2016). Taking stock of 40 years of research on mathematical learning disability: Methodological issues and future directions. *Journal for Research in Mathematics Education*, 47(4), 338–371. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.47.4.0338>
- Lortie-Forgues, H., Tian, J., & Siegler, R. S. (2015). Why is learning fraction and decimal arithmetic so difficult? *Developmental Review*, 38, 201–221. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.008>
- Noël, M. P., & Karagiannakis, G. (2020). *Dyscalculie et difficultés d'apprentissage en mathématiques : Guide pratique de prise en charge*. De Boeck Supérieur.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2016). *Technical report of the survey of adult skills (PIAAC)* (2nd ed.). OECD Publishing.
- Peteers, F. (2020). Apports croisés de la didactique et de la cognition numérique pour l'étude des troubles des apprentissages en mathématiques. *Recherche En Didactique Des Mathématiques*, 40(2), 225–270.
- Pilet, J. (2015). Réguler l'enseignement en algèbre élémentaire par des parcours d'enseignement différencié. *Recherches en didactique des mathématiques*, 35(3), 273–312. <https://revue-rdm.com/2015/reguler-l-enseignement-en-algebre/>

- Powell, S. R., Berry, K. A., & Barnes, M. A. (2020a). The role of pre-algebraic reasoning within a word-problem intervention for third-grade students with mathematics difficulty. *ZDM*, 52(1), 151–163. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01093-1>
- Powell, S. R., Berry, K. A., & Benz, S. A. (2020b). Analyzing the word-problem performance and strategies of students experiencing mathematics difficulty. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100759>
- Scherer, P., Beswick, K., DeBlois, L., Healy, L., & Opitz, E. M. (2016). Assistance of students with mathematical learning difficulties: how can research support practice? *ZDM Mathematics Education*, 48, 633–649. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0800-1>
- Tempier, F. (2020). Des pistes pour enseigner les grands nombres au cycle 3. *Petit x*, 108, 41-66. [https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/108x2\\_1585216594756-pdf](https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/108x2_1585216594756-pdf)
- Toerner, G. & Arzarello, F. (2012). Grading mathematics education research journals. *Newsletter of the European Mathematical Society*, 86, 52–54.
- Jankvist, U. T., & Niss, M. (2015). A framework for designing a research-based “maths counsellor” teacher programme. *Educational Studies in Mathematics*, 90(3), 259–284. <https://doi.org/10.1007/s10649-015-9629-8>
- Van Nieuwenhoven, C. Grégoire, J. et Noël, M.P. (2001). *Tedi-Math. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. ECPA.
- Weiss, L. G., Saklofske, D. H., Holdnack, J. A., & Prifitera, A. (2016). *WISC-V: Advances in the assessment of intelligence*. Academic Press, Elsevier.
- Xin, Y. P. (2019). The effect of a conceptual model-based approach on ‘additive’ word problem solving of elementary students struggling in mathematics. *ZDM*, 51, 139–150. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-1002-9>

#### ANNEXE : ARTICLES ANALYSÉS POUR LA REVUE DE LITTÉRATURE

Les cinq méta-analyses sont marquées d’une \*.

- Alghamdi, A., Jitendra, A. K., & Lein, A. E. (2020). Teaching students with mathematics disabilities to solve multiplication and division word problems: The role of schema-based instruction. *ZDM*, 52, 125–137. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01078-0>
- Baten, E., & Desoete, A. (2019). Metacognition and motivation in school-aged children with and without mathematical learning disabilities in Flanders. *ZDM*, 51, 679–689. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-01024-6>
- Bouck, E. C., Joshi, G. S., & Johnson, L. (2013). Examining calculator use among students with and without disabilities educated with different mathematical curricula. *Educational Studies in Mathematics*, 83(3), 369–385. <https://doi.org/10.1007/s10649-012-9461-3>
- Bunck, M. J. A., Terlien, E., van Groenestijn, M., Toll, S. W. M., & Van Luit, J. E. H. (2017). Observing and analyzing children’s mathematical development, based on action theory. *Educational studies in Mathematics*, 96, 289–304. <https://doi.org/10.1007/s10649-017-9763-6>
- Butterworth, B., & Laurillard, D. (2010). Low numeracy and dyscalculia: Identification and intervention. *ZDM Mathematics Education*, 42(6), 527–539. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0267-4>
- \* Auteur-e. (2020). Exploring MLD in mathematics education: Ten years of research. *The Journal of Mathematical Behavior*, 60, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100807>
- \* Dibbs, R. A., Hott, B. L., Martin, A., Raymond, L., & Kline, T. (2020). Combining Like Terms: A Qualitative Meta-Synthesis of Algebra I Interventions in Mathematics and Special Education. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 8(3), 219–232. <https://doi.org/10.46328/ijemst.v8i3.862>
- Gifford, S., & Rockliffe, F. (2012). Mathematics difficulties: does one approach fit all? *Research in Mathematics Education*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/14794802.2012.657436>

- Ginsburg, H. P., Lee, Y. S., & Pappas, S. (2016). Using the clinical interview and curriculum based measurement to examine risk levels. *ZDM Mathematics Education*, 48(7), 1031–1048. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0802-z>
- Hacker, D. J., Kihara, S. A., & Levin, J. R. (2019). A metacognitive intervention for teaching fractions to students with or at-risk for learning disabilities in mathematics. *ZDM*, 51, 601–612. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01040-0>
- Heyd-Metzuyanim, E. (2013). The co-construction of learning difficulties in mathematics—teacher—student interactions and their role in the development of a disabled mathematical identity. *Educational Studies in Mathematics*, 83(3), 341–368. <https://doi.org/10.1007/s10649-012-9457-z>
- Hobri, H., Susanto, H. A., Hidayati, A., Susanto, S., & Warli, W. (2021). Exploring thinking process of students with mathematics learning disability in solving arithmetic problems. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 9(3), 498–513. <https://doi.org/10.46328/ijemst.1684>
- Holmes, W., & Dowker, A. (2013). Catch up numeracy: a targeted intervention for children who are low-attaining in mathematics. *Research in mathematics education*, 15(3), 249–265. <https://doi.org/10.1080/14794802.2013.803779>
- Hord, C., Tzur, R., Xin, Y. P., Si, L., Kenney, R. H., & Woodward, J. (2016). Overcoming a 4th grader's challenges with working-memory via constructivist-based pedagogy and strategic scaffolds: Tia's solutions to challenging multiplicative tasks. *The Journal of Mathematical Behavior*, 44, 13–33. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2016.09.002>
- Hughes, E. M., Riccomini, P. J., & Lee, J. Y. (2020). Investigating written expressions of mathematical reasoning for students with learning disabilities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100775>
- Hunt, J. H. (2015). Notions of equivalence through ratios: Students with and without learning disabilities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 37, 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2014.12.002>
- Hunt, J. H., & Silva, J. (2020). Emma's negotiation of number: Implicit intensive intervention. *Journal for Research in Mathematics Education*, 51(3), 334–360. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc-2019-0067>
- Hunt, J. H., Tzur, R., & Westenskow, A. (2016). Evolution of unit fraction conceptions in two fifth-graders with a learning disability: An exploratory study. *Mathematical Thinking and Learning*, 18(3), 182–208. <https://doi.org/10.1080/10986065.2016.1183089>
- Hunt, J. H., Westenskow, A., Silva, J., & Welch-Ptak, J. (2016). Levels of participatory conception of fractional quantity along a purposefully sequenced series of equal sharing tasks: Stu's trajectory. *The Journal of Mathematical Behavior*, 41, 45–67. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2015.11.004>
- Im, S. H., & Jitendra, A. K. (2020). Analysis of proportional reasoning and misconceptions among students with mathematical learning disabilities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2019.100753>
- Jankvist, U. T., & Niss, M. (2015). A framework for designing a research-based “maths counsellor” teacher programme. *Educational Studies in Mathematics*, 90(3), 259–284. <https://doi.org/10.1007/s10649-015-9629-8>
- Lambert, R. (2015). Constructing and resisting disability in mathematics classrooms: a case study exploring the impact of different pedagogies. *Educational Studies in Mathematics*, 89(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10649-014-9587-6>
- \* Lambert, R., & Tan, P. (2020). Does disability matter in mathematics educational research? A critical comparison of research on students with and without disabilities. *Mathematics Education Research Journal*, 32, 5–35. <https://doi.org/10.1007/s13394-019-00299-6>
- Lewis, K. E. (2014). Difference not deficit: Reconceptualizing mathematical learning disabilities. *Journal for Research in Mathematics Education*, 45(3), 351–396.
- \* Lewis, K.E. & Fisher, M.B. (2016). Taking stock of 40 years of research on mathematical learning disability: methodological issues and future direction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 47(4), 338–371. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.47.4.0338>

- Lewis, K. E., Sweeney, G., Thompson, G. M., & Adler, R. M. (2020). Integer number sense and notation: A case study of a student with a mathematics learning disability. *The Journal of Mathematical Behavior*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100797>
- Liu, H. (2020). Low-numerate adults, motivational factors in learning, and their employment, education and training status in Germany, the US, and South Korea. *ZDM*, 52(3), 419–431. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01108-x>
- Lucangeli, D., Fastame, M. C., Pedron, M., Porru, A., Duca, V., Hitchcott, P. K., & Penna, M. P. (2019). Metacognition and errors: The impact of self-regulatory trainings in children with specific learning disabilities. *ZDM*, 51, 577–585. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01044-w>
- Millon-Fauré, K., & Gombert, A. (2021). Analyse d'une situation en mathématiques pour une élève dyscalculique. Méthodologie pour la conception d'adaptations pédagogiques et didactiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 41(2), 143–176.
- Peteers, F. (2020). Apports croisés de la didactique et de la cognition numérique pour l'étude des troubles d'apprentissages en mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 40(2), 225–268.
- Pfister, M., Opitz, E. M., & Pauli, C. (2015). Scaffolding for mathematics teaching in inclusive primary classrooms: A video study. *ZDM Mathematics Education*, 47(7). <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0713-4>
- Powell, S. R., Berry, K. A., & Barnes, M. A. (2020a). The role of pre-algebraic reasoning within a word-problem intervention for third-grade students with mathematics difficulty. *ZDM*, 52(1), 151–163. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01093-1>
- Powell, S. R., Berry, K. A., & Benz, S. A. (2020b). Analyzing the word-problem performance and strategies of students experiencing mathematics difficulty. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100759>
- Salminen, J., Koponen, T., Räsänen, P., & Aro, M. (2015). Preventive support for kindergarteners most at-risk for mathematics difficulties: Computer-assisted intervention. *Mathematical Thinking and Learning*, 17(4), 273–295. <https://doi.org/10.1080/10986065.2015.1083837>
- \* Scherer, P., Beswick, K., DeBlois, L., Healy, L., & Opitz, E. M. (2016). Assistance of students with mathematical learning difficulties: how can research support practice? *ZDM Mathematics Education*, 48, 633–649. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0800-1>
- van Garderen, D., Scheuermann, A., & Poch, A. (2014). Challenges students identified with a learning disability and as high-achieving experience when using diagrams as a visualization tool to solve mathematics word problems. *ZDM*, 46(1), 135–149. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0519-1>
- Xin, Y. P. (2008). The effect of schema-based instruction in solving mathematics word problems: An emphasis on prealgebraic conceptualization of multiplicative relations. *Journal for Research in Mathematics Education*, 39(5), 526–551. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.39.5.0526>
- Xin, Y. P. (2019). The effect of a conceptual model-based approach on 'additive' word problem solving of elementary students struggling in mathematics. *ZDM*, 51, 139–150. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-1002-9>
- Xin, Y. P., Park, J. Y., Tzur, R., & Si, L. (2020). The impact of a conceptual model-based mathematics computer tutor on multiplicative reasoning and problem-solving of students with learning disabilities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100762>
- Zhang, D., & Rivera, F. D. (2021). Predetermined accommodations with a standardized testing protocol: Examining two accommodation supports for developing fraction thinking in students with mathematical difficulties. *The Journal of Mathematical Behavior*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2021.100861>