

Comment améliorer le niveau des élèves en mathématiques ?

La réponse de l'Education Endowment Foundation

Nathalie ROQUES

Septembre 2021

Résumé

Les procédures et les résultats de l'examen des preuves *Improving Mathematics in Key Stages Two and Three : Evidence Review* publié en 2018 par l'Education Endowment Foundation (EEF) au Royaume-Uni sont décrits et commentés. Dans un premier temps, le cadre de cette synthèse est détaillé à partir des éléments (explicites ou non) fournis par les auteurs. Dans un second temps, les méta-analyses qui ont été (ou non) exploitées par les auteurs, les 24 questions de recherche posées dans cet examen des preuves et les réponses apportées aux 10 questions de recherche *a priori* les mieux documentées sont analysées. Le manque de clarté de cette synthèse est alors discuté au regard de ses résultats et de l'absence des procédures qui devraient encadrer ce type d'analyse.

Avant-propos

Le terme *méta-analyse* utilisé dans le texte fait référence à la synthèse quantitative d'études sélectionnées selon des critères précisément définis. Quand aucun traitement statistique n'est conduit, on parlera plus largement de *synthèse*.

Ce document a été écrit après la rédaction de *Comment enseigner les maths ? La réponse du What Works Clearinghouse* qui fournit des informations sur les principes suivis par les méta-analyses de premier ordre et qui rend compte également de quelques questions et discussions relatives à ce type de synthèses. Ces éléments ne seront pas repris ici.

Certaines traductions de l'anglais sont accompagnées de leur expression originale écrite en *italique*. Des documents annexes (fichiers Excel) peuvent être téléchargés sur le site www.mathadoc.fr. A la fin du texte, un glossaire donne les définitions des mots écrits en **gras** à leur première apparition dans le texte.

Cet **examen des preuves** constitue le socle scientifique sur lequel repose presque entièrement le guide d'orientation *Improving mathematics in key stages two and three* publié en 2018 par Education Endowment Foundation (EEF) dont une traduction en français est téléchargeable sur le site www.mathadoc.fr.

Tous les documents publiés par Education Endowment Foundation sont librement téléchargeables sur leur site internet <https://educationendowmentfoundation.org.uk/>.

Introduction

Une équipe de quatre chercheurs britanniques a conduit ce qui sera ici dénommé un examen des preuves portant sur l'enseignement des mathématiques en primaire et au collège. Ce travail a été mené au sein de l'Education Endowment Foundation (EEF) qui, depuis 2011, rassemble les éléments probants issus d'études quantitatives portant sur des questions relatives à l'enseignement au Royaume-Uni. Leurs conclusions ont été publiées dans le rapport intitulé *Improving Mathematics in Key Stages Two and Three : Evidence Review*¹ en mars 2018 (ou encore rapport EEF dans la suite de ce texte). La finalité de ce travail était de synthétiser l'ensemble des preuves disponibles qui permettent d'évaluer l'efficacité de stratégies déployées pour faciliter l'apprentissage des mathématiques à l'école primaire (*key stage two*) et au collège (*key stage three*). Pour y parvenir, 24 questions de recherche ont été formulées qui correspondent entre autres à des caractéristiques pédagogiques, des domaines mathématiques et des outils ou supports utilisés par l'enseignant et les élèves². Afin d'assurer un niveau de preuve suffisant, les résultats collectés et synthétisés lors de cet examen devaient être issus d'expériences contrôlées randomisées ou d'expériences quasi-expérimentales. Le nombre d'**études primaires** quantitatives concernées par ces 24 questions étant jugé trop important, les chercheurs ont choisi d'utiliser en priorité les résultats publiés par des **méta-analyses**. Pour certaines de ces 24 questions, les méta-analyses faisant défaut, ce sont des examens systématiques (*systematics reviews*), voire même des études primaires (*single studies*), qui ont permis de conclure.

¹ <https://educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/evidence-reviews/mathematics-in-key-stages-2-and-3>

² D'autres thèmes, comme les devoirs ou l'implication des parents ont été également analysés.

La méthode suivie par l'examen des preuves

Les grandes lignes des procédures suivies par les auteurs sont succinctement décrites dans les premières pages du rapport EEF et sont complétées par des annexes. Aucun **protocole** n'a été publié, et de nombreux aspects de ce processus ne sont pas explicités ; certaines étapes décrites par la suite dans ce texte ont été identifiées après lecture complète du rapport EEF.

Pour chacune des 24 questions de recherche, les auteurs ont sélectionné des méta-analyses pour en faire une synthèse. Le schéma 1 ci-dessous présente les grandes lignes de ce travail ; il convient de noter ici que ce ne sont pas des études primaires qui ont été recherchées. L'hétérogénéité des méta-analyses sélectionnées n'a pas permis aux auteurs de mener une synthèse quantitative (c'est-à-dire une **méta-analyse de second ordre**) et c'est donc une synthèse narrative qui est proposée (ou encore examen des preuves comme nous l'avons déjà signalé). Les conclusions et résultats de chaque synthèse ont été publiés dans un chapitre dénommé ici **module**.

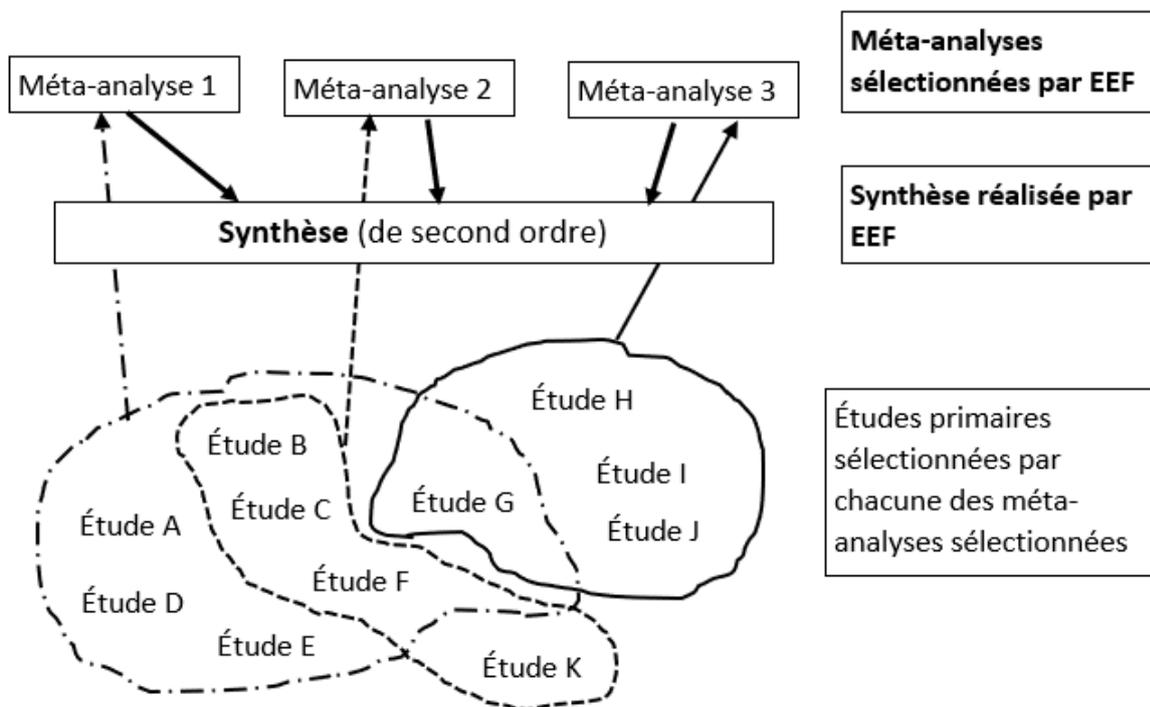


Schéma 1 : genèse d'une synthèse fictive

Pour chacune des questions de recherche, trois étapes seront systématiquement suivies qui sont détaillées ci-dessous. La première consiste à rassembler les méta-analyses **éligibles**, les revues systématiques et parfois les études primaires. La seconde consiste à sélectionner parmi les méta-analyses éligibles celles dont la qualité méthodologique est jugée satisfaisante. On notera que la notion d'éligibilité n'apparaît pas dans le rapport EEF et la première étape a été rajoutée ici pour clarifier le propos. D'une façon plus générale, très peu d'éléments explicites sont communiqués au sujet de la sélection des études (méta-analyses ou autre). Enfin la dernière étape consiste à proposer une réponse à la question de recherche en lui associant un **niveau de preuve**.

Première étape : rassembler les méta-analyses éligibles

Une recherche bibliographique systématique est menée pour chacun des modules qui s'appuie sur des mots-clés pouvant être différents d'un module à l'autre (la liste des critères d'éligibilité est donnée en annexe p.200 et les mots clés p.193 dans le rapport EEF). Pour être éligibles, les méta-analyses devaient être publiées après 1970 et avant février 2017¹, publiées en anglais, et concerner des élèves âgés de 9 à 14 ans. Elles ne pouvaient pas être éligibles si elles concernaient des élèves ayant des difficultés spécifiques d'apprentissages².

Deuxième étape : sélectionner les méta-analyses

La qualité méthodologique de chacune des méta-analyses éligibles a ensuite été évaluée en utilisant 6 critères développés pour cet examen. Bien que cela ne soit pas explicitement mentionné, cette évaluation semble ne pas concerner les examens systématiques ni les études primaires. Les auteurs citent deux ressources externes³ sur lesquelles ils se sont appuyés mais ne donnent aucune information sur les 6 critères qu'ils ont utilisés. A partir de ces évaluations (qui resteront donc inconnues pour le lecteur) les auteurs procèdent à une **sélection** : chaque méta-analyse a été soit sélectionnée (et donc retenue dans la synthèse), soit exclue (et donc non retenues dans la synthèse). Dans les faits, les méta-analyses éligibles ont été réparties dans trois catégories : les méta-analyses sélectionnées et exploitées (ou plus simplement exploitées dans la suite de ce texte), les méta-analyses sélectionnées et non exploitées et enfin les méta-analyses non sélectionnées ou exclues. On notera que ces méta-analyses pouvaient être de second ordre. Ces trois catégories sont détaillées ci-dessous.

- Les méta-analyses sélectionnées et exploitées (ou tout simplement exploitées) sont des méta-analyses de premier ordre de suffisamment bonne qualité, qualité qui a été évaluée par une note (1, 2 ou 3) qui sera désignée comme leur **niveau de qualité** dans la suite de ce texte⁴. Leurs conclusions sont mentionnées dans le rapport EEF et certains de leurs résultats quantitatifs (tailles d'effet, nombre d'études) ainsi que leur niveau de qualité sont communiqués dans un tableau de synthèse⁵. Tous ces éléments sont utilisés pour répondre à la question de recherche. On remarquera qu'aucun niveau de qualité globale n'est proposé.
- Les méta-analyses sélectionnées mais non exploitées sont des méta-analyses de premier ordre de suffisamment bonne qualité mais dont le niveau de qualité n'est pas publié et dont aucun résultat quantitatif n'est communiqué. Aucun critère n'a été trouvé qui expliquerait pourquoi les résultats quantitatifs de ces méta-analyses ne sont pas exploités. Leurs conclusions sont mentionnées dans le rapport EEF et utilisées pour répondre à la question de recherche. Dans la deuxième partie de ce texte, elles seront incluses dans la catégorie des méta-analyses rejetées.

¹ Les études primaires sélectionnées par ces méta-analyses peuvent donc avoir été publiées avant 1970.

² On verra plus loin que ce critère n'a pas été interprété à chaque fois de la même façon.

³ PRISMA (<http://www.prisma-statement.org/>) et AMSTAR (<https://amstar.ca/index.php>)

⁴ Plus la note est élevée meilleure est la qualité

⁵ Les résultats des méta-analyses incluses dans deux méta-analyses de second ordre ont été exploités dans le module 9.1 sans avoir fait l'objet d'une évaluation.

- Les méta-analyses non sélectionnées (ou exclues) sont des méta-analyses de premier ordre de qualité insuffisante qui n'ont pas été retenues. Elles sont citées dans les références et le motif de leur exclusion est succinctement décrit. Leurs conclusions ne sont bien sûr pas mentionnées dans le rapport EEF, et dans la deuxième partie de ce texte elles seront incluses dans la catégorie des méta-analyses rejetées.

Pour chacune des 24 questions de recherche, les listes des références sont ordonnées de la façon suivante : d'abord sont citées les méta-analyses sélectionnées et exploitées (*meta-analyses included*), puis les méta-analyses sélectionnées et non exploitées (*secondary meta-analyses included*)¹, puis les méta-analyses non sélectionnées ou exclues (*meta-analyses excluded*), puis les examens systématiques (*systematic reviews*), et enfin les autres références, dont les études primaires (*other references*). On notera que les trois premières catégories constituent la catégorie des méta-analyses éligibles².

Le vocabulaire employé dans la suite de ce texte est résumé dans le **tableau 1**.

Dans le rapport EEF	Dénominations utilisées dans ce texte			
	M.a. = Méta-analyse			
<i>Meta-analysis included</i>	A - M.a. sélectionnées et exploitées	A M.a. exploitées	A + B M.a. sélectionnées	A + B + C M.a. citées (ou éligibles)
<i>Secondary meta-analysis</i>	B - M.a. sélectionnées et non exploitées	B + C M.a. rejetées	C M.a. non sélectionnées (exclues)	
<i>Meta-analysis excluded</i>	C - M.a. non sélectionnées			

Tableau 1 : vocabulaire utilisé dans ce texte

Troisième étape : répondre et évaluer le niveau de preuve

Pour chacune des questions de recherche, une réponse est apportée qui consiste en un résumé des faits importants la concernant sous la forme d'un court paragraphe au début de chaque module (repris également dans le résumé au début du rapport EEF) qui prend en compte tous les éléments à disposition des auteurs (c'est-à-dire toutes les publications retenues à un niveau ou à un autre). La **transposabilité** (*directness*) des conclusions³ au territoire britannique est mesurée en évaluant 5 menaces (voir **tableau 2**) par une note entière allant de 1 (pour une menace forte) à 3 (pour une absence de menace). Aucune évaluation globale de cette transposabilité n'est proposée ici (en dehors d'une éventuelle remarque dans le texte comme nous le constaterons plus tard).

Les questions posées les menaces potentielles.
--------------------------	-------------------------------

¹ A l'exception des modules 6.5 et 6.6 qui ne différencie pas ces deux catégories.

² La liste des méta-analyses non éligibles n'est pas publiée.

³ L'origine de ces conclusions n'est pas précisée (méta-analyses éligibles ? sélectionnées ? autres études ?)

Quand et où ont été menées les études ?	Les études par comparaison sont souvent effectuées aux Etats-Unis. Des méta-analyses peuvent être anciennes.
Les définitions et mises en œuvre des interventions correspondent-elles à l'enseignement britannique ?	Certaines pratiques pédagogiques ou certains outils peuvent ne pas être suffisamment précisés et/ou adaptés aux enseignants britanniques.
Y-a-t il des causes d'inflation des tailles d'effet possibles ?	Des échantillons restreints à un type d'élèves particuliers peuvent augmenter les tailles d'effet.
Les conclusions s'appliquent-elles à l'ensemble des domaines mathématiques ?	Certaines interventions ne sont efficaces que dans certains domaines.
Les conclusions s'appliquent-elles aux élèves de primaire et du collège ?	Certaines études peuvent avoir concerné des lycéens ou des élèves de maternelles.

Tableau 2 : les 5 critères pour évaluer la transposabilité au Royaume-Uni

Le niveau de preuve est alors donné en se basant sur le système GRADE utilisé en médecine : « il s'agit d'une approche fondée sur le jugement d'experts qui est informé, mais non piloté, par des mesures quantitatives (telles que le nombre d'études incluses). Ces jugements ont pris en compte le nombre d'études originales, la qualité méthodologique de la méta-analyse (y compris les limites de l'approche ou du corpus d'études considéré), la cohérence des résultats, la transposabilité des résultats, toute imprécision et tout biais connu » (p.30). Ce niveau de preuve peut être soit faible, soit modéré, soit élevé.

Le **schéma 2** résume les procédures de cet examen des preuves.

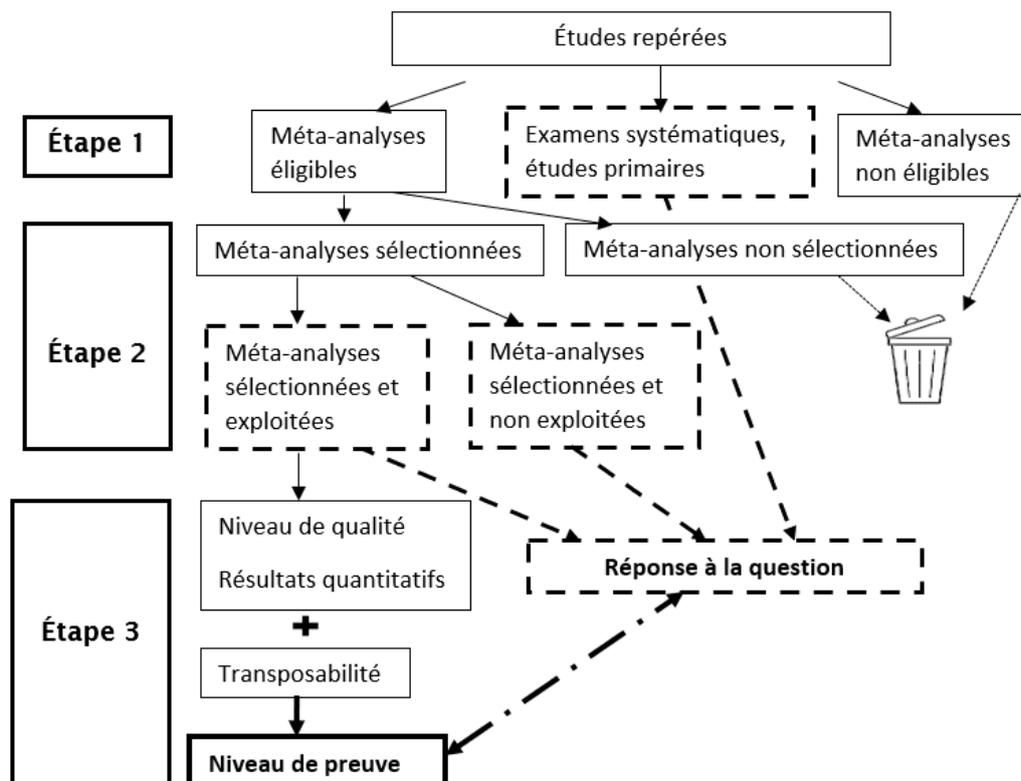


Schéma 2 : procédures suivies par l'examen des preuves

La question du **chevauchement** (*overlap*) des méta-analyses sélectionnées dans un même module fait parfois, dans certains modules, l'objet de commentaires. Quand plusieurs méta-analyses sur un même thème sont sélectionnées, elles partagent inévitablement un certain nombre d'études primaires. Par exemple, dans le **schéma 1**, 75 % des études de la méta-analyse 2 sont aussi exploitées par la méta-analyse 1 et les résultats de ces deux méta-analyses ne sont donc pas indépendants. Cette question n'est pas traitée dans la présentation générale (encore une fois, peu d'éléments concrets explicitent la réalisation de cet examen des preuves) et sera évoquée dans la discussion à la fin de ce texte.

Présentation des modules

Chaque module (qui traite d'une question de recherche) est rédigé de cette façon :

- Une première partie présente la question de recherche, la réponse apportée par les auteurs (un paragraphe) et le niveau de preuve qui lui a été associé (pour trois modules, deux niveaux de preuve sont présentés pour des sous-parties de la question, voir plus loin).
- Une seconde partie détaille les conclusions de toutes les études analysées (méta-analyses sélectionnées, examens systématiques, études primaires), discute du niveau de preuve et de la transposabilité au système britannique.
- Une troisième partie rassemble les résultats quantitatifs sous la forme de plusieurs tableaux. En général un premier tableau donne les éléments permettant de juger de la transposabilité, un deuxième donne des informations générales sur les méta-analyses sélectionnées et exploitées (nombre d'études incluses, niveau de qualité et étendue des dates des études) et un dernier donne pour chacune d'entre elles la ou les **tailles d'effet** globales (parfois accompagné d'un intervalle de confiance à 95 %), le nombre d'études concernées par ce(s) résultat(s) et un commentaire dans lequel figure parfois d'autres tailles d'effet calculées pour d'autres groupes d'élèves par exemple.
- Enfin, une dernière partie donne la liste des références (voir ci-dessus pour son organisation).

D'une façon générale, on retiendra que :

- Chaque module est traité indépendamment et applique les trois étapes vues ci-dessus de manière autonome.
- Aucune règle de sélection n'est communiquée concernant les examens systématiques ni les études primaires. Ils ont été de ce fait laissés de côté dans la suite de ce texte.
- Aucune synthèse globale n'est proposée pour l'ensemble des résultats de cet examen des preuves.

Les résultats

Dans un premier temps, on va s'intéresser aux méta-analyses identifiées comme éligibles par les auteurs, puis présenter les 24 modules et terminer par une analyse des 10 modules *a priori* les mieux documentés.

Les méta-analyses

Tous les résultats présentés dans ce chapitre sont inclus dans un fichier Excel (annexe 1) à télécharger sur le site www.mathadoc.fr.

Comme cela a été annoncé au chapitre précédent, les méta-analyses sélectionnées mais dont le niveau de qualité n'a pas été publié et dont les données n'ont pas été exploitées ont été intégrées ici dans la catégorie des méta-analyses rejetées. En effet, le parti pris était d'analyser les données factuelles mises à disposition du lecteur de cet examen des preuves, et l'absence d'informations sur les méta-analyses sélectionnées mais dont les données n'ont pas été publiées m'a conduit à les traiter de la même façon que les méta-analyses non sélectionnées. Pour la même raison, les synthèses systématiques ou les études primaires citées par les auteurs mais dont les critères de sélection n'ont pas été communiqué n'ont pas non plus été incorporées dans cette analyse.

Les 91 méta-analyses citées¹ (voir **tableau 3**) sont référencées dans chacun des modules concernés mais également à la fin du document (p.172) où elles sont également codées comme étant de premier ou de second ordre². Parmi elles, 10 sont des méta-analyses de second ordre.

On s'est intéressé aux méta-analyses pouvant apparaître plusieurs fois, soit dans des catégories précédemment définies (méta-analyses exploitées, rejetées, ...) différentes, soit dans des modules différents. Dans la suite de ce texte, les titres des modules ont été remplacés par les numéros de chapitre tels qu'ils apparaissent dans le rapport EEF (**tableau 7**).

Méta-analyses uniquement exploitées	53
Méta-analyses exploitées et rejetées	13
Méta-analyses uniquement rejetées	25

Tableau 3 : utilisation des 91 méta-analyses citées

Treize méta-analyses ont été exploitées par certains modules et rejetées par d'autres modules (**tableau 3 et 4**) ; les motifs de leur rejet sont présentés dans le **tableau 5**. Ainsi la méta-analyse conduite par CHEN (2004) a été exploitée par deux modules (6.4 et 6.7), sélectionnée mais non exploitée par le module 6.2 et non sélectionnée par le module 7.2. Pour ces deux derniers modules, le motif du rejet concerne la population cible de cette méta-analyse, c'est-à-dire les

¹ Qui sont donc les méta-analyses éligibles.

² Deux références étaient absente de cette liste, 3 méta-analyses n'étaient pas codées et les 5 publications de SLAVIN correspondant en fait à deux méta-analyses de premier ordre ont donc été comptabilisées comme 2 méta-analyses ici.

élèves en difficulté¹ (c'est d'ailleurs le motif le plus fréquemment rencontré dans ce tableau). Les motifs de rejet des méta-analyses qui ont uniquement été rejetées sont mentionnés dans l'annexe 1. Parmi les 10 méta-analyses de second ordre, 8 ont été uniquement rejetées, une a été uniquement exploitée et une autre (Education Endowment Foundation, 2017) a été exploitée par un module et rejetée par un autre.

Modules	6.1	6.2	6.4	6.5	6.6	6.7	6.9	7.2	7.3	7.5	8.2	8.3	9.1
Chen, H. (2004)		-1	1			1		-1					
Dennis, M. S., et al. (2016)			1					-1					
Education Endowment Foundation (2017)				-1									1
Gersten, R., et al. (2009)	1		1		-1	1							
Haas, M. (2005)		1	1					1	-1		1		
Hughes, E. M., et al. (2014)									-1		1		
Kroesbergen, E. H., et al. (2003)			1			1		-1				1	
Lee, D. S. (2000)		-1				1		-1					
Rakes, C. R., et al. (2010)		-1		1				1	-1		1		
Slavin, R. E., et al. (2008)		1						-1		1			
Slavin, R. E., et al. (2009)		1						-1		1			
Wittwer, J., et al. (2010)		-1					1						
Xin, Y. P., et al. (1999)					-1		1						

Tableau 4 : les 13 méta-analyses exploitées pour certains modules et rejetées par d'autres
1 : sélectionnée ; -1 : rejetée ; la liste des modules est donnée dans le **tableau 7**

	Numéro du module concerné et motif du rejet
Chen, H. (2004)	6.2 : Élèves en difficulté 7.2 : Élèves en difficulté
Dennis, M. S., et al. (2016)	7.2 : Élèves en difficulté
Education Endowment Foundation (2017)	6.5 : Motif inconnu (car méta-analyse de second ordre ?)
Gersten, R., et al. (2009)	6.6 : Élèves en difficulté
Haas, M. (2005)	7.3 : Doublet avec une autre méta-analyse
Hughes, E. M., et al. (2014)	7.3 : Élèves en difficulté
Kroesbergen, E. H., et al. (2003)	7.2 : Élèves en difficulté
Lee, D. S. (2000)	6.2 : Élèves en difficulté 7.2 : Élèves en difficulté
Rakes, C. R., et al. (2010)	6.2 : L'enseignement collaboratif est un modérateur mais aucune analyse n'a été menée 7.3 : Doublet avec une autre méta-analyse
Slavin, R. E., et al. (2008)	7.2 : Motif inconnu
Slavin, R. E., et al. (2009)	7.2 : Motif inconnu
Wittwer, J., et al. (2010)	6.2 : Concerne plutôt l'utilisation d'exercices résolus
Xin, Y. P., et al. (1999)	6.6 : Doublet avec une autre méta-analyse sélectionnée

Tableau 5 : motifs de rejet des méta-analyses par ailleurs exploitées dans un autre module
En **gras** : méta-analyses sélectionnées mais non exploitées. Les autres ont été exclues (non sélectionnées) par les auteurs

¹ Cette dénomination englobe les élèves en difficulté scolaire et/ou présentant des troubles de l'apprentissage (*students with learning disabilities*).

Enfin certaines méta-analyses ont été exploitées dans plusieurs modules. Leurs évaluations ont été rassemblées dans le **tableau 6**. Pour deux d'entre elles (HARTLEY, 1977 et OTHMAN, 1996), des évaluations différentes ont été proposées sans que l'on puisse comprendre pourquoi.

	Modules											
	6.1	6.2	6.4	6.5	6.6	6.7	7.2	7.5	8.2	8.3	8.4	9.2
Haas, M. (2005)		2	2				2		2			
Baker, S., et al. (2002)	2		2			2						
Gersten, R., et al. (2009)	3		3			3						
Kroesbergen, et al. (2003)			2			2				2		
Rakes, C. R., et al. (2010)				3			3		3			
Savelsbergh, et al. (2016)		3			3		3					
Chan, K. K., et al. (2014)							2				2	
Chen, H. (2004)			3			3						
Hartley, S. S. (1977)						2	1					
Othman, N. (1996)		2				1						
Scheerens, et al.(2007)	2				2							
Slavin, R. E., et al. (2008)		3						3				
Slavin, R. E., et al. (2009)		3						3				
Steenbergen-Hu, S., et al. (2013)							3					3

Tableau 6 : évaluations des méta-analyses exploitées plusieurs fois

En **gras** : méta-analyses avec des niveau de qualité différents

Les modules

Les données publiées dans le rapport EEF ont été analysées, et certains résultats (comme les nombres de méta-analyses exploitées ou rejetées pour chaque module) ont été calculés. Tous ces éléments sont présentés dans un fichier Excel (annexe 2) sur le site www.mathadoc.fr.

Les titres originaux des 24 modules (analysant les 24 questions de recherches) sont présentés dans le **tableau 7**, accompagnés de leur traduction en français. Pour chaque module, le nombre des méta-analyses exploitées, des méta-analyses rejetées ainsi que le niveau de preuve sont rassemblés dans le **tableau 8**. Pour trois modules, deux niveaux de preuve ont été donnés, qui sont associés à deux sous-questions.

	#	Titre anglais	Titre français	En bref*
Méthodes pédagogiques	6.1	<i>Feedback and formative assessment</i>	Feedback / rétroaction et évaluation formative	Feedback
	6.2	<i>Collaborative learning</i>	Enseignement collaboratif	Collaboratif
	6.3	<i>Discussion</i>	Discussion	Discussion
	6.4	<i>Explicit teaching and direct instruction</i>	Enseignement explicite et instruction directe	Explicite
	6.5	<i>Mastery learning</i>	Enseignement par la maîtrise	Maîtrise
	6.6	<i>Problem solving</i>	Résolution de problèmes	Problèmes
	6.7	<i>Peer and cross-age tutoring</i>	Tutorat par des pairs et des élèves d'âges différents	Tutorat
	6.8	<i>Misconception</i>	Idées fausses	Erreurs
	6.9	<i>Thinking skills, metacognition and self-regulation</i>	Compétences cognitives, métacognition et auto-régulation	Métacognition
Outils et ressources	7.1	<i>Calculators</i>	Calculatrices	Calculatrices
	7.2	<i>Technology : technological outils and computer-assisted instruction (CAI)</i>	Technologie : outils numériques et enseignement assisté par ordinateur	Ordinateur
	7.3	<i>Concrete manipulatives and other representations</i>	Représentations concrètes et semi-concrètes	Représentations
	7.4	<i>Tasks</i>	Tâches	Tâches
	7.5	<i>Textbooks</i>	Manuels scolaires	Manuels
Thèmes	8.2	<i>Algebra</i>	Algèbre	Algèbre
	8.3	<i>Number and calculation</i>	Nombres et calculs	Calculs
	8.4	<i>Geometry</i>	Géométrie	Géométrie
	8.5	<i>Probability and Statistics</i>	Probabilité et statistiques	Statistiques
Établissement	9.1	<i>Grouping by attainment or ability</i>	Groupes de niveau ou de compétences	Niveau
	9.2	<i>Homework</i>	Devoirs	Devoirs
	9.3	<i>Parental engagement</i>	Implication des parents	Parents
	10	<i>Attitudes and disposition</i>	Attitudes et disposition	Attitudes
	11	<i>Transition from Primary to Secondary</i>	Transition école primaire-collège	École-collège
	12	<i>Teacher knowledge and professional development</i>	Connaissances des enseignants et développement professionnel	Enseignants

Tableau 7 : titre des modules (anglais et français)

* : utilisés dans les annexes et dans les **tableaux 8, 9 et 10**.

#	Modules	Méta-analyses exploitées	Méta-analyses rejetées	Niveau de preuve
7.2	Ordinateur	13	8	Faible et Modéré
6.7	Tutorat	10	1	Modéré
6.9	Métacognition	8	4	Modéré*
6.6	Problèmes	8	3	Faible
6.4	Explicite	8	0	Modéré
6.2	Collaboratif	6	6	Élevé
7.3	Représentations	5	3	Élevé et Modéré
6.1	Feedback	4	5	Élevé
6.5	Maitrise	4	2	Modéré
9.2	Devoirs	4	0	Faible
10	Attitude	3	1	Faible
8.2	Algèbre	3	0	Modéré
7.1	Calculatrices	2	2	Élevé
7.5	Manuels	2	0	Élevé
9.1	Groupes niveau	2	0	Modéré
9.3	Parents	2	0	Faible
8.3	Calculs	1	6	Modéré
12	Enseignants	1	1	Faible et Modéré
8.4	Géométrie	1	0	Faible
6.8	Idées fausses	0	0	Modéré
6.3	Discussion	0	0	Faible
7.4	Tâches	0	0	Faible
8.5	Statistiques	0	0	Faible
11	École-collège	0	0	Faible

Tableau 8 : nombre de méta-analyses exploitées et rejetées, niveau de preuve associée

* : c'est le niveau de preuve mentionné dans le corps du texte et non celui annoncé dans le résumé.

Les modules sont triés par ordre décroissant du nombre des méta-analyses exploitées.

Les dix modules les mieux documentés

On va s'intéresser plus particulièrement aux modules qui ont exploité au moins 6 méta-analyses¹ ainsi qu'aux modules affichant un niveau de preuve élevé (et qui semblent donc les modules *a priori* les mieux documentés).

Le nombre de méta-analyses exploitées et rejetées ainsi que les niveaux de preuves de ces dix modules sont donnés dans le **tableau 9**.

#	Modules	Méta-analyses exploitées	Méta-analyses rejetées	Niveau de preuve
7.2	Ordinateur	13	8	Faible et Modéré
6.7	Tutorat	10	1	Modéré
6.9	Métacognition	8	4	Modéré
6.6	Problèmes	8	3	Faible
6.4	Explicite	8	0	Modéré
6.2	Collaboratif	6	6	Élevé
7.3	Représentations	5	3	Élevé et Modéré
6.1	Feedback	4	5	Élevé
7.1	Calculatrices	2	2	Élevé
7.5	Manuels	2	0	Élevé

Tableau 9 : les 10 modules les mieux documentés

¹ Nombre choisi arbitrairement.

Pour chacun de ces modules, les titres, questions de recherches, réponses et les niveaux de preuves ont été traduits¹ ; les données quantitatives (comme les tailles d'effet publiées²) des méta-analyses exploitées, la transposabilité³ ainsi que les éléments d'information sur les chevauchements entre méta-analyses exploitées ont été reportés ; puis un commentaire est proposé. Les données quantitatives des méta-analyses sont rassemblées dans un fichier Excel (annexe 2) qui peut être téléchargé sur le site www.mathadoc.fr. Un bilan est proposé à la fin des présentations individuelles.

Technologie : outils numériques et enseignement assisté par ordinateur (7.2)

Question : Quelles sont les preuves concernant l'utilisation de la technologie dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ?

Réponse : La technologie fournit des outils puissants pour représenter et enseigner des idées mathématiques. Cependant, comme pour les tâches et les manuels, la façon dont les enseignants utilisent la technologie avec les élèves est essentielle. Il existe une vaste base de recherche examinant l'utilisation de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO, *computer-assisted instruction CAI*), indiquant que l'EAO n'a pas d'effet négatif sur l'apprentissage. Cependant, la recherche est presque exclusivement axée sur des produits conçus pour être utilisés aux États-Unis, dont certains sont maintenant obsolètes. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer l'utilisation de l'EAO dans le contexte anglais.

Niveau de preuve pour les outils numériques : Faible

Niveau de preuve pour l'enseignement assisté par ordinateur : Modéré

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Chan, K. K., et al.	2014	9	2	2002-2012	1,02* (outils)
Chauhan, S.	2017	41	2	2000-2016	0,47* (outils + EAO)
Cheung, A. C., et al.	2013	74	3	1980-2010	0,16* (EAO)
Haas, M.	2005	7	2	nc	0,07 (algèbre)
Hartley, S. S.	1977	89	1	1967-1976	0,41* (EAO)
Kuchler, J. M.	1998	61	2	1976-1996	0,28 (EAO)
Li, Q. and Ma, X.	2010	46	2	1991-2005	0,28* (outils + CAI)
Rakes, C. R., et al..	2010	23	3	nc	0,17 (algèbre)
Savelsbergh, E. R., et al.	2016	11	3	1988-2014	0,35* (outils sur l'attitude)
Sokolowski, A., Li, Y., et al.	2015	24	2	2000-2013	0,60* (outils)
Steenbergen-Hu, S., et al.	2013	26	3	1997-2010	0,01 ns (CAI)
Tingir, S., et al.	In press	3	3	2010-2014	0,16 ns (outils)
Tokac, U., et al.	2015	13	2	2000-2011	0,26* (outils)

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; *= statistiquement significatif à 95 % ; ns = non significatif ; nc = non communiqué.

¹ Cette traduction a privilégié la fidélité au texte.

² Les tailles d'effet sont celles qui figure dans la colonne « Taille d'effet » du tableau synthétique ; les tailles d'effet mentionnées dans la colonne « Commentaires » n'ont pas été reprises ici. Elles sont considérées comme statistiquement significatives quand l'intervalle de confiance à 95% n'inclue pas la valeur nulle.

³ Seuls les critères avec une note inférieure 3 sont renseignés ici ; la mention « Élèves en difficulté » indique que la population cible d'au moins certaines méta-analyses concernaient ce profil d'élève.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	2	Publications anciennes
Définition de l'intervention	3	
Surestimation de ES	2	Effet « nouveauté » possible
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité n'a pas fait l'objet d'un commentaire général.

Le chevauchement entre les méta-analyses exploitées est considéré comme habituel : 23% des études de la méta-analyse menée par STEENBERGEN-HU (2013) sont incluses dans les 64 études rassemblées par CHEUNG (2013).

Avec 13 méta-analyses exploitées (et 8 méta-analyses rejetées) cette question a fait l'objet d'un grand nombre de synthèses. Les tailles d'effets rapportées sont toutes positives et la plupart sont statistiquement significatives. On notera que la méta-analyse de HARTLEY (1977) a reçu la note de 1 dans ce module, cette note est de 2 dans le module 6.7 (**tableau 6**). Deux méta-analyses datées auraient pu ne pas être exploitées (HARTLEY, S. S. 1977 et KUCHLER, J. M. 1998). On remarque que la réponse ne parle pas d'effet positif mais plutôt d'absence d'effet négatifs. On remarquera que le niveau de preuve pour l'utilisation des outils numériques est faible alors que des résultats plus nombreux et importants lui sont associés.

Tutorat par des pairs et des élèves d'âges différents (6.7)

Question : Quels sont les effets du tutorat par les pairs et par des élèves d'âges différents sur l'apprentissage des mathématiques ?

Réponse : Le tutorat par les pairs et par des élèves d'âges différents semble être bénéfique pour les tuteurs, les tutorés et les enseignants et implique un faible coût monétaire, libérant potentiellement l'enseignant pour d'autres tâches. Le tutorat par des élèves d'âges différents produit des effets plus importants, mais est basé sur des preuves plus limitées. Les effets du tutorat par les pairs sont variables, mais ne sont pas négatifs. Des précautions doivent être prises lors de la mise en œuvre de tutorat avec des élèves ayant des difficultés d'apprentissage.

Niveau de preuve : modéré

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Baker, S., et al.	2002	6	2	1982-1999	0,66*
Chen, H.	2004	5	3	1977-2003	0,56
Cohen, P. A et al.	1982	65 (11 maths)	2	1961-1980	0,60 ; 0,62
Gersten, R., et al.	2009	2 cross age; 6 peer	3	1982-2003	1,02* ; 0,14*
Hartley, S. S.	1977	29	2	1962-1976	0,79 ; 0,52 ; <u>0,58</u>
Kroesbergen, E. H et al.	2003	10	2	1985-2000	-0,09
Lee, D. S.	2000	10	2	1971-1998	0,76* ; 0,76*
Leung, K. C.	2015	72 (20 maths)	3	Avant 2012	0,34*
Othman, N.	1996	18	1	1970-1992	0,3
Rohrbeck, C et al.	2003	90 (25 maths)	3	1974-2000	0,27*

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; **ES en gras** = élèves d'âges différents ; ES souligné = élèves d'âges différents et pairs ; sinon pairs uniquement ; * = statistiquement significatif à 95 %.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	2	Majorité des études aux USA
Définition de l'intervention	3	
Surestimation de ES	3	
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité est jugée comme globalement satisfaisante par les auteurs.

Le chevauchement entre les méta-analyses exploitées est considéré comme important et concerne entre 39 % et 68 % des études pour les méta-analyses publiées après 2000.

Dix méta-analyses ont été exploitées, dont 7 publiées après 2000, et toutes les tailles d'effet sauf une sont positives avec une moitié d'entre elles qui sont statistiquement significatives (aucun intervalle de confiance n'a été publié pour les autres). La note obtenue par la méta-analyse de OTHMAN (1996) est de 1 dans ce module, elle est de 2 dans le module 6.2. De la même façon, mais dans le sens inverse cette fois, la méta-analyse de HARTLEY (1977) a reçu ici la note de 2, elle est notée 1 dans le module 7.2 (**tableau 6**).

Compétences cognitives, métacognition et auto-régulation (6.9)

Question : Dans quelle mesure l'enseignement des compétences cognitives, de la métacognition et/ou de l'autorégulation améliore-t-il l'apprentissage des mathématiques ?

Réponse : L'enseignement des compétences cognitives, de la métacognition et de l'autorégulation peut être efficace en mathématiques. Cependant, il existe une grande variation entre les études. La mise en œuvre de ces approches n'est pas simple. Le développement des compétences cognitives, de la métacognition et de l'autorégulation prend du temps (plus que d'autres concepts), la durée de l'intervention compte et le rôle de l'enseignant est important. Un programme de compétences cognitives développé en Angleterre, *Cognitive Acceleration in Mathematics Education (CAME)*, semble être particulièrement prometteur. Les stratégies qui encouragent l'auto-explication semblent être bénéfiques. Certaines données suggèrent qu'au primaire, se concentrer sur les stratégies cognitives peut être plus efficace, alors qu'au secondaire, se concentrer sur la motivation de l'élève peut être plus important. La mémoire de travail et d'autres aspects des fonctions exécutives sont associés à la réussite en mathématiques, bien qu'il n'y ait aucune preuve claire d'une relation causale. De nombreuses recherches ont porté sur les moyens d'améliorer la mémoire de travail. Cependant, bien que l'entraînement de la mémoire de travail améliore les performances aux tests de mémoire de travail, il n'a pas montré d'effets sur les résultats en mathématiques.

Niveau de preuve : modéré

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Dignath, C et al.	2008	49 (primaire) 25 (secondaire)	2	1992-2006	0,96*;0,23*
Donker, A. S., et al.	2014	58	3	2000-2012	0,66*
Higgins, S., et al.	2005	29	3	1984-2002	0,89*
Melby-Lervåg, M. m., et al.	2013	23	3	2002-2011	0,07 ns
Rittle-Johnson, B., et al.	2017	26	2	1998-2015	0,28* ; 0,33* ; 0,46*
Schwaighofer, M., et al.	2015	47	3	2002-2014	0,09 ns ; 0,08 ns
Wittwer, J., et al.	2010	21	3	1985-2008	0,22*
Xin, Y. P., et al.	1999	25	3	1981-1995	0,74*

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; *= statistiquement significatif à 95 % ; ns = non significatif.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	3	
Définition de l'intervention	2	Définition des variables et explications des stratégies discutables
Surestimation de ES	3	
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité est jugée comme globalement satisfaisante par les auteurs.

Peu, voire pas de chevauchement (de 0% à 7%) entre les méta-analyses et la méta-analyse rassemblant le plus d'études (DIGNATH, 2008).

Huit méta-analyses ont été exploitées, toutes les tailles d'effet sont positives et la plupart statistiquement significatives. Dans le résumé, ce sont deux niveaux de preuve qui sont proposés (un niveau de preuve élevé est donné pour la mémoire de travail, ce qui a été considéré comme une erreur ici). On notera l'absence des méta-analyses conduites par SLAVIN (2008 et 2009) qui pourtant ont considérées cette caractéristique pédagogique.

Résolution de problèmes (6.6)

Question : Quelles sont les preuves concernant la résolution de problèmes, l'apprentissage basé sur l'investigation et les approches connexes en mathématiques ?

Réponse : L'apprentissage basé sur l'investigation et les approches similaires impliquent de proposer aux élèves de résoudre des problèmes mathématiques sans avoir au préalable enseigné une méthode de résolution. La découverte guidée peut être plus agréable et mieux mémorisée que la présentation d'une solution trop rapidement présentée, et cet apprentissage permet aux élèves de développer des compétences mathématiques génériques, qui sont importantes pour la vie et au travail. Cependant, l'exploration mathématique peut représenter pour l'élève une lourde charge cognitive qui peut interférer

avec un apprentissage efficace. Les enseignants doivent structurer l'apprentissage et utiliser d'autres approches parallèlement à l'apprentissage basé sur l'investigation, y compris un enseignement explicite. La résolution de problèmes doit faire partie intégrante du programme de mathématiques et convient aux élèves à tous les niveaux. Les enseignants doivent choisir les problèmes avec soin et, en plus de tâches plus routinières, inclure des problèmes pour lesquels les élèves n'ont pas de méthodes déjà préparées ni toutes faites. Les élèves ont intérêt à utiliser et à comparer différentes stratégies et méthodes de résolution de problèmes et à apprendre à utiliser des représentations visuelles lors de la résolution de ces problèmes. Les enseignants devraient encourager les élèves à utiliser des exemples concrets pour comparer et analyser différentes approches, et attirer l'attention des élèves sur la structure mathématique sous-jacente. Les élèves doivent être accompagnés pour suivre, réfléchir et discuter de la résolution d'un problème, afin que cette résolution ne devienne pas une fin en soi. Au niveau de l'école primaire, il semble plus important de s'attacher à donner du sens à la représentation du problème, plutôt qu'à nécessairement le résoudre.

Niveau de preuve (apprentissage basé sur l'investigation) : faible

Niveau de preuve (utilisation de la résolution de problèmes) : modéré

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Athappilly, K., et al.	1983	150 (attitude) ; 660 (résultats)	2	nc	0,12 (attitude) ; 0,24 (résultats) en faveur des maths modernes
Becker, K., et al.	2011	28	1	nc	0,63
Hembree, R.	1992	487	2	nc	0,77
Preston, J.A.	2007	18	2	nc	0,56 (primaire); 0,52 (secondaire)
Rosli, R., et al..	2014	14	2	nc	0,76-1,31
Savelsbergh, E. R., et al.	2016	61 (attitude) ; 40 (résultats)	3	nc	0,35 (attitude) ; 0,78 (résultats)
Scheerens, J et al..	2007	165 (structuré); 542 (constructivisme)	2	nc	0,09 (structuré); 0,14 (constructivisme)
Sokolowski, A.	2015	13	2	nc	0,69

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; **ES en gras** = résolution de problèmes ; nc = non communiqué.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	2	Majorité des études aux USA
Définition de l'intervention	2	Problèmes de définitions
Surestimation de ES	1	Élèves avec des difficultés, tests "maison"
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité est jugée comme globalement modérée par les auteurs.

Aucune information sur les chevauchements entre méta-analyses n'est fournie.

Huit méta-analyses ont été exploitées et toutes les tailles d'effet sont positives. Les intervalles de confiance comme l'étendue des dates des études primaires exploitées ne sont pas communiqués. Certaines méta-analyses ciblent des élèves en difficulté et/ou utilisant des résultats de tests mis au point par les auteurs des études primaires, c'est la note de 1 qui est attribuée au critère « augmentation de ES ». Les références ne distinguent pas les méta-analyses exploitées des méta-analyses sélectionnées mais non exploitées (c'est le cas de la méta-analyse de GERSTEN, 2009, exploitée par d'autres modules, voir le **tableau 4**).

Enseignement explicite et instruction directe (6.4)

Question : Quelles sont les preuves concernant l'enseignement explicite comme moyen d'améliorer l'apprentissage des mathématiques par les élèves ?

Réponse : L'enseignement explicite englobe un large éventail de stratégies dirigées par l'enseignant, y compris l'enseignement direct. Il est prouvé que les approches structurées dirigées par l'enseignant peuvent augmenter considérablement les résultats en mathématiques. L'enseignement direct peut être particulièrement bénéfique pour les élèves ayant des difficultés d'apprentissage en mathématiques. Mais le tableau est complexe et toutes ces interventions ne sont pas efficaces. De plus, ces programmes très structurés sont conçus pour les États-Unis et peuvent ne pas être facilement transposables au contexte anglais. Quels que soient les avantages de l'enseignement explicite, il est peu probable que l'enseignement explicite soit efficace pour tous les élèves dans tous les domaines mathématiques à tout moment. La façon dont l'enseignant utilise l'enseignement explicite est essentielle, et bien qu'une utilisation prudente soit susceptible d'être bénéfique, la recherche ne nous dit pas comment équilibrer l'enseignement explicite avec d'autres stratégies d'enseignement plus implicites et le travail des élèves en autonomie.

Niveau de preuve : modéré

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Baker, S., et al.	2002	4	2	nc	0,58
Chen, H.	2004	8	3	nc	1,01
Dennis, M. S., et al.	2016	18	3	nc	0,76
Gersten, R et al.	2009	11	3	nc	1,22
Haas, M.	2005	10	2	nc	0,55
Horak, V.M.	1981	129	2	nc	-0,07
Jacobse, A. E., et al.	2011	40	2	nc	0,58
Kroesbergen, E. H et al.	2003	35	2	nc	0,91

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; nc = non communiqué.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	2	Majorité des études aux USA
Définition de l'intervention	1	Définitions variées de l'instruction directe
Surestimation de ES	non renseigné	
Domaine mathématiques	1	Élèves en difficulté
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité n'a pas fait l'objet d'un commentaire général.

Le chevauchement entre méta-analyses est faible (à l'exception de trois méta-analyses) avec 60 % des études primaires qui sont uniques.

Huit méta-analyses ont été exploitées et toutes les tailles d'effet sauf une sont positives. Les intervalles de confiances n'ont pas été publiés de même que l'étendue des dates des études primaires. La seule méta-analyse qui publie une taille d'effet négative (HORAK, 1981) est ancienne et concerne l'enseignement individualisé qui ne semble pas avoir sa place ici. Cette méta-analyse ne fait pas l'objet de commentaires dans le texte et ne figure pas dans la liste recensant toutes les références de l'examen des preuves (p.172). Les évaluations de deux des critères de transposabilité semblent très sévères : si certaines méta-analyses ciblent des élèves en difficulté, cette remarque est valable pour d'autres modules qui n'ont pas évalué de la même façon cet état de fait. De plus, cela ne devrait pas concerner le critère « Domaines mathématiques » mais plutôt le critère « Surestimation de ES » qui n'est pas renseigné (voir le module 6.1). L'enseignement explicite est favorablement cité dans deux autres modules (6.6 Problèmes et 7.3 Représentations).

Enseignement collaboratif (6.2)

Question : Quelles sont les preuves concernant l'effet de la mise en œuvre d'approches proposant un apprentissage collaboratif dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ?

Réponse : L'apprentissage collaboratif a un effet positif sur la réussite et l'attitude de tous les élèves, bien que les effets soient plus importants au secondaire. Les gains les plus importants et les plus constants ont été démontrés pour des programmes structurés reproductibles d'une durée de 12 semaines ou plus. Malheureusement, ces programmes sont conçus pour le système éducatif américain, et la traduction des programmes (et des effets) pour le système éducatif anglais n'est pas simple. Les preuves suggèrent que les élèves doivent apprendre à collaborer, et que cela peut prendre du temps et impliquer des changements dans la culture de la classe. Des actions mises en œuvre au Royaume-Uni peuvent servir de guide.

Niveau de preuve : élevé

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Haas, M.	2005	3	2	1980-2002	0,34
Othman, N.	1996	39	2	1970-1990	0,266 (réussite) ; 0,20 (attitude)
Savelsbergh, E. R., et al.	2016	5	3	1988-2014	0,35* (attitude)
Slavin, R. E., et al.	2008	9	3	1985-2002	0,42
Slavin, R. E., et al.	2009	9	3	1984-2003	0,29
Stoner, D. A.	2004	22	2	1972-2003	0,135

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; * = statistiquement significatif à 95 %.

Niveau	Commentaires
--------	--------------

Où et quand	2	Majorité des études aux USA ; formation professionnelle
Définition de l'intervention	3	
Surestimation de ES	3	
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité est jugée comme globalement modérée par les auteurs.

Le chevauchement entre méta-analyses est considéré comme peu important.

Six méta-analyses ont été exploitées et toutes les tailles d'effet sont positives. Les intervalles de confiance ne sont pas communiqués sauf pour une taille d'effet. La méta-analyse d'OTHMAN (1996) a reçu ici la note de 2, alors que pour le module 6.7 elle a reçu la note de 1 (**tableau 6**).

Représentation concrètes et semi-concrètes (7.3)

Question : Quels sont les effets de l'utilisation de représentations concrètes et semi-concrètes pour enseigner les mathématiques ?

Réponse : Les représentations concrètes peuvent être un moyen puissant et permettre aux élèves de s'initier à des concepts mathématiques, à condition que les enseignants s'assurent que les élèves comprennent les liens entre ces représentations et les idées mathématiques qu'elles représentent. Les élèves ont besoin de temps pour développer leur compréhension en utilisant ces représentations concrètes, mais les utiliser pendant trop longtemps peut entraver la compréhension par les élèves de concepts mathématiques. Les enseignants doivent permettre aux élèves, par le dialogue et un enseignement explicite, de mettre en œuvre des représentations schématiques plus abstraites. Les droites numériques sont un outil de représentation particulièrement précieux pour enseigner les nombres, le calcul et le raisonnement multiplicatif pour les élèves de cet âge. Alors que globalement l'utilisation de plusieurs types de représentations semble avoir un impact positif sur la réussite des élèves, la base de preuves concernant les approches spécifiques de l'enseignement et du séquençage de ces représentations est limitée. La comparaison et la discussion autour de différentes représentations peuvent aider les élèves à développer leur compréhension conceptuelle. Cependant, l'utilisation de plusieurs types de représentations peut exercer une lourde charge cognitive, ce qui peut entraver l'apprentissage. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour éclairer les choix des enseignants sur les représentations à utiliser et le moment de leur utilisation optimale.

Niveau de preuve (manipulation) : élevé

Niveau de preuve (représentations) : modéré

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Carbonneau, K. J., et al.	2013	55	3	1955-2010	0,39*
Domino, J.	2010	31	2	1991-2009	0,39* (k=24) (manipulation)
Holmes, A.B.	2013	26	3	1989-2012	0,22* (k=14) (manipulation)
LeNoir, P.	1989	45	2	1958-1985	trop dispersés

Sowell, E. J.	1989	60	2	avant 89	0,29 (k=10) (manipulation)
---------------	------	----	---	----------	----------------------------

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; * = statistiquement significatif à 95 %.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	3	
Définition de l'intervention	2	Nombreuses interventions ; niveau d'enseignement explicite à préciser
Surestimation de ES	2	Design des études intra-sujets
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité n'a pas fait l'objet d'un commentaire général.

Le chevauchement entre les méta-analyses et la méta-analyse la plus récente de de bonne qualité conduite par CARBONNEAU (2013) est considéré comme peu important (entre 16 % et 20 %).

Cinq méta-analyses ont été exploitées et toutes les tailles d'effet sont positives dont trois statistiquement significatives.

Feedback/rétroaction et évaluation formative (6.1)

Question : Quel est l'effet de donner une rétroaction (*feedback*) aux élèves en mathématiques ?

Réponse : Les conclusions générales de la boîte à outils EEF (*EEF toolkit*) sur la rétroaction¹ semblent s'appliquer aux mathématiques : la recherche tend à montrer que la rétroaction a un effet important sur l'apprentissage, mais la gamme des effets est large et une proportion d'études non négligeable montre des effets négatifs. L'effet de l'évaluation formative² est plus modeste, et celle-ci est plus efficace lorsque les enseignants reçoivent un perfectionnement professionnel ou que la rétroaction est fournie par le biais d'un enseignement assisté par ordinateur. En mathématiques, il peut être particulièrement important de se concentrer sur les aspects de l'évaluation formative qui impliquent une rétroaction. La rétroaction doit être utilisée avec parcimonie et principalement réservée à des tâches plus complexes, où elle peut soutenir la persévérance des élèves. La littérature bien établie sur les idées fausses et la compréhension des élèves en mathématiques fournit un cadre fructueux pour guider l'évaluation et la rétroaction en mathématiques (voir 6.8)

Niveau de preuve : élevé

¹ Rétroaction : information fournie par un agent (enseignant, parents, ...) à un élève en relation avec une performance ou une compréhension.

² Évaluation formative : des informations sur le niveau de compréhension d'un élève sont rassemblées et utilisées pour soutenir le processus d'apprentissage et d'enseignement.

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Baker, S., et al.	2002	15	2	1982-1999	0,57*
Gersten, R., et al.	2009	41	3	1982-2006	0,21*;0,23*
Kingston, N., et al.	2011	42	3	1990-2010	0,17*;0,30*;0,28*
Scheerens, J., et al.	2007	177	2	1995-2005	0,136

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; *= statistiquement significatif à 95 %.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	2	Études menées dans de nombreux pays
Définition de l'intervention	3	
Surestimation de ES	3	
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité est jugée comme globalement satisfaisante par les auteurs.

Aucune information sur les chevauchements entre méta-analyses n'est fournie.

Quatre méta-analyses ont été exploitées, toutes les tailles d'effet sont positives et presque toutes statistiquement significatives. Là aussi, le fait que certaines méta-analyses ciblent les élèves en difficulté est souligné, mais n'influe pas sur l'évaluation des critères de transposabilité, contrairement à d'autres modules (voir le module 6.6 par exemple).

Calculatrices (7.1)

Question : Quels sont les effets de l'utilisation de calculatrices pour enseigner les mathématiques ?

Réponse : L'utilisation de la calculatrice n'entrave généralement pas les compétences des élèves en arithmétique. Lorsque les calculatrices font partie intégrante des tests et de l'enseignement, leur utilisation semble avoir un effet positif sur les compétences de calcul des élèves. L'utilisation de la calculatrice a un petit impact positif sur la résolution de problèmes. Les preuves suggèrent que les élèves du primaire ne devraient pas utiliser des calculatrices tous les jours, mais que les élèves du secondaire devraient avoir un accès plus fréquent et sans restriction aux calculatrices. Comme pour toute stratégie, la façon dont les enseignants et les élèves utilisent les calculatrices est importante. Lorsqu'elles sont intégrées à l'enseignement des méthodes de calcul mental et autres, les calculatrices peuvent être très efficaces pour développer des compétences non-calculatoires ; les élèves deviennent meilleurs en

arithmétique en général et sont susceptibles de s'autoréguler dans leur utilisation des calculatrices, les utilisant par conséquent moins (mais mieux).

Niveau de preuve : élevé

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Ellington, A. J.	2003	14 (calculs sans calculatrice) ; 19 (calculs avec calculatrice) ; 12 (problèmes) ; 12 (attitude)	3	nc	-0,02 (calculs sans calculatrice) ; 0,32 (calculs avec calculatrice) ; 0,22 (problèmes) ; 0,20 (attitude)
Hembree, R., et al.	1986	57 (calculs sans calculatrice) ; 29 (calculs avec calculatrice) ; 33 (problèmes) ; 56 (attitude)	2	nc	0,137 (calculs sans calculatrice) ; 0,636 (calculs avec calculatrice) ; 0,203 (problèmes) ; 0,19 (attitude)

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*) ; nc = non communiqué.

	Niveau	Commentaires
Où et quand	3	
Définition de l'intervention	3	
Surestimation de ES	3	
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité est jugée comme globalement satisfaisante par les auteurs.

Aucune information sur les chevauchements entre méta-analyses n'est fournie.

Deux méta-analyses seulement ont été exploitées et toutes les tailles d'effet sont positives sauf une. Les intervalles de confiance ne sont pas publiés ni l'étendue des dates des études primaires exploitées.

Manuels scolaires (7.5)

Question : Quelles sont les preuves de l'efficacité des manuels scolaires ?

Réponse : L'effet sur les résultats mathématiques des élèves de l'utilisation d'un type de manuel plutôt qu'un autre est très faible, bien que le choix d'un manuel ait un impact sur ce qui est enseigné, et quand et comment cela est enseigné. Cependant, en termes d'augmentation des résultats en mathématiques, il est plus important de se concentrer sur le développement professionnel des enseignants et les méthodes d'enseignement plutôt que sur les différences de programmes. L'organisation de la classe de mathématiques et la manière dont les manuels peuvent permettre aux enseignants de développer la

compréhension, l'engagement et la motivation des élèves pour les mathématiques sont plus importantes que le choix d'un manuel en particulier plutôt que d'un autre.

Niveau de preuve : élevé

	Année	K	Qualité	Dates	ES
Slavin, R. E., et al.	2008	13 (primaire)	3	1971-2008	0,1
Slavin, R. E., et al.	2009	40 (secondaire)	3	1971-2008	0,03

Données quantitatives. K= nombre d'études primaires ; Dates = étendues des dates de publication des études primaires ; ES = taille d'effet (*Effect Size*).

	Niveau	Commentaires
Où et quand	2	Majorité des études aux USA
Définition de l'intervention	2	Incertitude sur l'utilisation réelle du manuel
Surestimation de ES	2	Attrition + manque de contrôle
Domaine mathématiques	3	
Age des élèves	3	

Transposabilité

La transposabilité n'a pas fait l'objet d'un commentaire général.

Aucune information sur les chevauchements entre méta-analyses n'est fournie.

Deux méta-analyses du même auteur ont été exploitées et la réponse reprend pratiquement mot pour mot leurs conclusions. Toutes les tailles d'effet sont positives. Les intervalles de confiance ne sont pas publiés.

Le bilan

Une synthèse des principaux éléments caractéristiques de ces 10 modules est présentée dans le **tableau 10**. La colonne « Efficacité » propose une évaluation globale de l'efficacité de la caractéristique analysée et s'appuie sur la réponse proposée par les auteurs du rapport EEF.

#	Nom	Efficacité	Méta-analyses exploitées (effectif - niveaux de qualité)	Transposabilité	Chevauchement	Niveau de preuve
7.2	Technologie	Peu ou pas efficace	<u>13</u> - 5 études de niveau 3 7 études de niveau 2 1 étude de niveau 1	Pas commentée (faible)	Habituel	Outils : faible ; EAO : modérée
6.7	Tutorat	Efficace	<u>10</u> - 4 études de niveau 3 5 études de niveau 2 1 étude de niveau 1	Satisfaisante	Élevé	Modéré
6.9	Métacognition	Efficace avec réserve	<u>8</u> - 6 études de niveau 3 2 études de niveau 2	Satisfaisante	Peu ou pas important	Modéré
6.6	Problèmes	Efficace avec réserve	<u>8</u> - 1 étude de niveau 3 6 études de niveau 2 1 étude de niveau 1	Modérée	Pas commenté	Investigation : faible ; résolution : modéré
6.4	Explicite	Efficace avec réserve	<u>8</u> - 3 études de niveau 3 5 études de niveau 2	Pas commentée (faible)	Faible	Modéré
6.2	Collaboratif	Efficace avec réserve	<u>6</u> - 3 études de niveau 3 3 études de niveau 2	Modérée	Peu important	Élevé
7.3	Manipulation	Efficace avec réserve	<u>5</u> - 2 études de niveau 3 3 études de niveau 2	Pas commentée (modérée ou élevée)	Peu important	Manipulation : élevé ; représentation : modéré
6.1	Feedback	Efficace avec réserve	<u>4</u> - 2 études de niveau 3 2 études de niveau 2	Satisfaisante	Pas commenté	Élevé
7.1	Calculatrices	Efficace	<u>2</u> - 1 étude de niveau 3 1 étude de niveau 2	Satisfaisante	Pas commenté	Élevé
7.5	Manuels	Aucune efficacité	<u>2</u> - 2 études de niveau 3	Pas commentée (faible)	Pas commenté	Élevé

Tableau 10 : résumé des principaux résultats pour les 10 modules analysés

Les modules sont triés par ordre décroissant du nombre des méta-analyses exploitées.

Discussion

Les remarques vont s'articuler autour de trois thèmes : la sélection des études, l'évaluation et la question de recherche. On terminera avec une discussion plus large sur les synthèses quantitatives.

La sélection des études

C'est la première étape de toute synthèse. Comme nous l'avons déjà évoqué, aucun protocole n'a été publié¹ et la sélection des examens systématiques et des études primaires n'a pas été explicitée dans le rapport EEF. Si les critères d'éligibilité ont sans doute été appliqués de la même manière, aucune évaluation du niveau de qualité n'est proposée. Parmi les 23 examens systématiques cités, 4 sont des publications du What Works Clearinghouse (3 Guides des pratiques dont celui sur l'enseignement des fractions qui est cité à deux reprises et 1 Rapport d'intervention²).

Dans l'annexe p.200 on trouve clairement indiqué que les méta-analyses concernées par les élèves présentant des difficultés d'apprentissages spécifiques seront exclues de la synthèse. On a souligné à plusieurs occasions ici que cela ne semblait pas être le cas de façon systématique. Ainsi la méta-analyse conduite par CHEN (2004) intitulée *the Efficacy of mathematics interventions for students with learning disabilities : a meta-analysis* a été exploitée par les deux modules 6.4 et 6.7, sélectionnées mais non exploitée par le module 6.2 et non sélectionnée (pour ce motif) par le module 7.2.

On remarquera également que les deux méta-analyses conduites par SLAVIN (publiée en 2008 pour l'école primaire et en 2009 pour le secondaire) ont été exploitées pour les modules 6.2 et 7.5. Par contre, elles n'ont pas été citées (donc *a priori* n'ont pas été éligibles) pour les modules 6.5, 6.9, et ont été sélectionnées mais non exploitées pour le module 7.2. Pourtant, la pédagogie par la maîtrise et la pédagogie métacognitive tout comme l'utilisation de logiciels par les élèves font clairement parties des thèmes analysés par ces synthèses³.

D'une façon plus générale, les raisons qui ont poussé les auteurs à ne pas exploiter les résultats d'une méta-analyse sélectionnée ne sont pas clairement ni systématiquement énoncés.

On termine par une remarque portant sur l'un des critères d'éligibilité des méta-analyses qui concerne leur date de publication. Prendre en compte les conclusions des méta-analyses réalisées dans les années 80 voire 70 peut en effet surprendre, tant il est vrai que le paysage scolaire actuel (les élèves, les programmes et objectifs, les systèmes éducatifs entre autres) n'a presque plus rien à voir avec celui qu'ont connu les grands-parents de nos élèves. Cela

¹ Un modèle de protocole a été publié en février 2020 qui a par exemple été utilisé pour la synthèse *Cognitive science in classroom : evidence and practice review* <https://educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/evidence-reviews/review-resources>

² Plus d'informations sur les méta-analyses du What Works Clearinghouse dans *Comment enseigner les maths ? La réponse du What Works Clearinghouse* (www.mathadoc.fr)

³ Plus d'informations au sujet de ces synthèses dans *Comment enseigner les maths ? La réponse du Center for Research and Reform in Education* (www.mathadoc.fr)

paraît évident quand on s'intéresse aux outils informatiques (module 7.2) comme l'ont souligné les auteurs du rapport EEF, mais concerne aussi les autres modules.

L'évaluation

L'évaluation dans cet examen des preuves concerne :

1. La qualité des méta-analyses éligibles
2. La transposabilité au Royaume-Uni
3. Le niveau de preuve d'un module

En ce qui concerne le premier point, on a déjà souligné que les 6 critères établis par les auteurs afin de sélectionner (ou non) les méta-analyses puis de noter de 1 à 3 les méta-analyses exploitées pour un module, ne sont pas communiqués. Deux méta-analyses exploitées chacune pour deux modules différents ont reçu des notes différentes (voir **tableau 6**). Le module 9.1 ne propose pas d'évaluation des méta-analyses exploitées¹.

En ce qui concerne la transposabilité au Royaume-Uni, la prise en compte par les auteurs de l'exploitation des résultats de méta-analyses concernées par les élèves présentant des difficultés d'apprentissages n'a pas été uniforme, aussi bien en ce qui concerne le critère impacté² que son évaluation. Aucune évaluation globale de la transposabilité n'est décrite dans les procédures, seul un commentaire accompagne parfois (mais pas toujours) le tableau présentant les évaluations des 5 critères.

Enfin le niveau de preuve d'un module s'appuie sur un ensemble d'éléments, dont les deux évaluations précédentes font partie³. Il est parfois difficile à comprendre pour deux raisons. Tout d'abord son objet n'a pas été précisément défini (qu'évalue-t-on exactement ?). Et, le niveau octroyé par les auteurs à tel ou tel module semble parfois contestable.

En ce qui concerne la première raison, on se doit d'abord de remarquer l'absence d'une évaluation claire de l'efficacité de la caractéristique pédagogique (ou de l'outil) analysée dans un module. Cette absence est susceptible d'entretenir une confusion autour du niveau de preuve proposé que l'on peut considérer (à tort ou à raison) comme un niveau d'efficacité. *A priori*, selon la courte description qui en est faite dans le début du rapport EEF, le niveau de preuve semble évaluer le niveau de confiance à accorder à la réponse à une question de recherche. Et ce, quelle que soit cette réponse. Mais si on revient à notre second point, c'est-à-dire aux évaluations à proprement parlé, et que l'on compare celles qui ont été proposées pour les 10 modules qui semblent *a priori* les mieux documentés (soit avec un nombre de méta-analyses important, soit avec un niveau de preuve élevé), on a alors du mal à

¹ Ce sont deux méta-analyses de second ordre qui ont été sélectionnées et les résultats communiqués sont ceux des méta-analyses de premier ordre qu'elles ont elles-mêmes sélectionné mais qui n'ont pas été évaluées également.

² Par exemple, pour le module 6.6, c'est le critère « inflation de ES » et pour le module 6.4 c'est le critère « domaine mathématique ».

³ Et comme le niveau de preuve et les éléments permettant de juger de la transposabilité sont publiés séparément, cela revient à donner à cette dernière un poids important (et à en tenir compte deux fois).

comprendre pourquoi, par exemple, ce niveau de preuve est modéré pour le module 6.9 et élevé pour les modules 7.1 et 7.5. En effet, pour le module 6.9, huit méta-analyses ont été exploitées avec pour 6 d'entre elles un niveau de qualité maximal, la transposabilité est satisfaisante et le chevauchement entre les méta-analyses non problématique. Pour les modules 7.1 et 7.5, seulement deux méta-analyses ont été exploitées, la transposabilité est satisfaisante pour le premier et semble faible pour le second et la question du chevauchement n'a pas été évoquée. Dans le même ordre d'idée, on ne comprend pas pourquoi le niveau de preuve du module 6.8 est modéré, alors que seules quatre études primaires ont été exploitées. Cette confusion vient probablement du fait que les questions de recherche sont parfois mal posées, comme nous allons le voir maintenant.

La question de recherche

L'objectif très large et ambitieux de cette synthèse est sans doute à l'origine d'une difficulté supplémentaire et qui concerne les questions de recherche. Ainsi, dans la première catégorie qui rassemble des pratiques pédagogiques particulières, les questions de recherche sont parfois de la forme « quels sont les effets de [telle pratique pédagogique] sur l'apprentissage des mathématiques ? » (modules 6.7 et 6.9 par exemple). Cette question appelle une étude confirmatoire car une hypothèse semble posée. La réponse donne des éléments qui permettent d'évaluer l'efficacité de la méthode pédagogique interrogée, efficacité nuancée en fonctions de certaines autres caractéristiques d'enseignement ou des élèves par exemple, en se basant sur des études de comparaison de groupes. On notera que dans cette même catégorie certaines questions sont du type « quelles sont les preuves concernant [telle pratique pédagogique] ? » ; ici la notion d'efficacité disparaît au profit d'une preuve sans objet explicite (modules 6.2, 6.4 et 6.6 par exemple), mais reste sous-jacente.

Les choses changent dans la troisième catégorie qui s'intéresse à des domaines mathématiques, car la question est cette fois de la forme « quelles sont les preuves concernant l'efficacité des méthodes d'enseignement pour améliorer la compréhension des élèves dans [tel domaine mathématique] ? ». En effet, cette question appelle une étude exploratoire car aucune hypothèse n'est posée. Le peu de méta-analyses exploitées dans cette catégorie est peut-être le signal d'une inadéquation entre ce type de question et la méthodologie employée (les synthèses d'études quantitatives ne peuvent tout simplement pas répondre à toutes les questions). Cette remarque peut être étendue à d'autres modules que nous n'avons pas détaillés ici car peu d'éléments satisfaisants ont été rassemblés, tout simplement parce que des expériences contrôlées randomisées ne sont peut-être pas le bon outil pour analyser une question aussi vaste que celle portant sur les devoirs à la maison ou l'implication des parents (par exemple).

Les synthèses

Le chevauchement des méta-analyses n'a pas fait l'objet d'une description générale par les auteurs de cet examen des preuves, et cette absence limite considérablement la portée des résultats et la force des conclusions. En effet, si des données ne sont pas indépendantes (ici

les données sont les résultats issus des méta-analyses sélectionnées), la validité interne des conclusions est sérieusement mise en question, car compter plusieurs fois le même résultat est évidemment une source d'erreur majeur. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle Education Endowment Foundation a remplacé en 2021 les méta-analyses de second ordre par des méta-analyses de premier ordre sur son site internet¹.

On terminera par une remarque d'ordre plus générale et qui concerne le concept même de la synthèse d'études quantitatives dans le domaine des sciences de l'éducation. Que ce soit au niveau des synthèses de second ordre (quantitatives ou non) ou des méta-analyses de premier ordre voire même des études primaires, synthétiser des résultats (ou des données) exige un travail précis, parfois fastidieux, et inévitablement réducteur. On a largement évoqué le premier point ici. Pour le second, un accompagnement des lecteurs pourrait être imaginé pour leur éviter d'être submergés par de nombreux résultats parfois peu digestes, et des tableaux récapitulatifs seraient alors bien utiles. Ces tableaux synthétiques qui mettent plusieurs conclusions en perspective permettent également de repérer des singularités voire même des incohérences qui mériteraient d'être discutées².

En ce qui concerne le troisième point, il est bien évident qu'à chaque étape d'une synthèse, des informations, des détails, des éléments de discussion sont perdus : passer du score d'un élève à la moyenne d'un groupe d'élèves puis à une taille d'effet permettant de comparer deux groupes d'élèves puis à une taille d'effet globale synthétisant plusieurs études primaires puis enfin à la description d'un ensemble de tailles d'effet globales, ne peut se faire sans payer ce prix. Mais d'un autre côté, ces synthèses apportent des éléments d'information qu'elles sont les seules à pouvoir offrir. Par exemple, seule une analyse de plusieurs études menées dans des contextes différents peut interroger l'influence de ces derniers par une étude de l'hétérogénéité des résultats. Ces types d'analyses statistiques sont alors des outils précieux permettant de discuter de la validité externe d'une réponse, et c'est peut-être ce type d'analyse qui fait défaut dans la synthèse de l'EEF.

¹ La « Boîte à outils » proposée par EEF sur son site internet est en fait une série de méta-analyses de premier ordre réalisées à partir d'études primaires sélectionnées sur un thème particulier <https://educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/teaching-learning-toolkit>

² D'une façon générale, la rédaction du rapport EEF manque de clarté ; en 2020, un modèle de rapport a été publié sur leur site internet <https://educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/evidence-reviews/review-resources>

Glossaire

Chevauchement	Ensemble d'études communes à deux ou plusieurs méta-analyses.
Éligible	Une étude est éligible quand elle est conforme aux critères d'éligibilité (population cible, type d'intervention prédéfinie, design de l'étude, année de publication, langue, secteurs géographiques par exemple).
Étude primaire	Étude expérimentale prospective dont proviennent les données utilisées par les méta-analyses de premier ordre.
Examen des preuves	Analyse systématique des données issues d'études sélectionnées selon des critères explicites.
Méta-analyse	Synthèse quantitative d'études sélectionnées utilisant des procédures statistiques.
Méta-analyse de premier ordre	Synthèse quantitative d'études primaires sélectionnées utilisant des procédures statistiques.
Méta-analyse de second ordre	Synthèse quantitative de méta-analyses de premier ordre sélectionnées utilisant des procédures statistiques.
Niveau de qualité	Évaluation de la qualité d'une méta-analyse et de la validité interne que l'on peut associer à ces conclusions.
Niveau de preuve	Niveau de confiance associé à la réponse à une question de recherche.
Protocole	Ensemble de règles établies pour réaliser une synthèse.
Sélection	Opération visant à inclure (ou exclure) des études dans une méta-analyses selon des critères prédéfinis, dans l'objectif d'assurer la validité interne des conclusions.
Taille d'effet	Différence standardisée des moyennes : écart entre les moyennes divisé par l'écart-type des scores pour les données continues.
Transposabilité	Possibilité pour les conclusions d'une étude ou d'une synthèse d'être appliquées dans un contexte différent de celui de l'étude.
Validité interne	Qualité d'une étude associée à la fiabilité de ses conclusions permettant d'établir un lien de cause entre le traitement étudié et l'effet mesuré.
Validité externe	Qualité d'une étude associée à la généralisation de ses conclusions à une population cible au-delà de l'échantillon analysé.

Annexes

Annexe 1 : les méta-analyses

Annexe 2 : les modules

Références

Seules les méta-analyses sont référencées. La distinction entre premier ordre et second ordre a été volontairement omise ; les références sont celles qui ont été publiées par EEF (p.172).

Athappilly, K., Smidchens, U., & Kofel, J. W. (1983). A computer-based meta- analysis of the effects of modern mathematics in comparison with traditional mathematics. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 485-493.

Baker, S., Gersten, R., & Lee, D. (2002). A synthesis of empirical research on teaching mathematics to low-achieving students. *The Elementary School Journal*, 103(1), 51-73. doi:10.1086/499715

Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C.-L. C., Kulik, J. A., & Morgan, M. (1991). The Instructional Effect of Feedback in Test-Like Events. *Review of Educational Research*, 61(2), 213-238. doi:10.3102/00346543061002213

Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education : Innovations and Research*, 12(5/6), 23.

Bowman-Perrott, L., Davis, H., Vannest, K., Williams, L., Greenwood, C., & Parker, R. (2013). Academic benefits of peer tutoring: A meta-analytic review of single-case research. *School Psychology Review*, 42(1), 39-55.

Browder, D. M., Spooner, F., Ahlgrim-Delzell, L., Harris, A. A., & Wakemanxya, S. (2008). A meta-analysis on teaching mathematics to students with significant cognitive disabilities. *Exceptional Children*, 74(4), 407-432.

Burns, M. K., Coddling, R. S., Boice, C. H., & Lukito, G. (2010). Meta-analysis of acquisition and fluency math interventions with instructional and frustration level skills: Evidence for a skill-by-treatment interaction. *School Psychology Review*, 39(1), 69.

Capar, G., & Tarim, K. (2015). Efficacy of the cooperative learning method on mathematics achievement and attitude: A meta-analysis research. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 2, 553-559.

Carbonneau, K. J., Marley, S. C., & Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380. doi: 10.1037/a0031084

Chan, K. K., & Leung, S. W. (2014). Dynamic geometry software improves mathematical achievement: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 51(3), 311-325.

Chauhan, S. (2017). A meta-analysis of the impact of technology on learning effectiveness of elementary students. *Computers & Education*, 105, 14-30.

Chen, H. (2004). The efficacy of mathematics interventions for students with learning disabilities: A meta-analysis. (Order No. 3157959, The University of Iowa). Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/305196240?accountid=14533>. (305196240).

Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 88-113.

Coddling, R. S., Burns, M. K., & Lukito, G. (2011). Meta - analysis of mathematic basic - fact fluency interventions: A component analysis. *Learning Disabilities Research & Practice*, 26(1), 36-47.

- Cohen, P. A., Kulik, J. A., & Kulik, C.-L. C. (1982). Educational Outcomes of Tutoring: A Meta-analysis of Findings. *American Educational Research Journal*, 19(2), 237-248.
- Cooper, H., Robinson, J. C., & Patall, E. A. (2006). Does homework improve academic achievement? A synthesis of research, 1987–2003. *Review of educational research*, 76(1), 1-62.
- Crawford, S. T. (2011). Meta-Analysis of the Impact of After-School Programs on Students Reading and Mathematics Performance. (ProQuest UMI 3486475 EdD), University Of North Texas.
- Demir, S., & Basol, G. (2014). Effectiveness of Computer-Assisted Mathematics Education (CAME) over Academic Achievement: A Meta-Analysis Study. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 14(5), 2026-2035.
- Dennis, M. S., Sharp, E., Chovanes, J., Thomas, A., Burns, R. M., Custer, B., & Park, J. (2016). A Meta - Analysis of Empirical Research on Teaching Students with Mathematics Learning Difficulties. *Learning Disabilities Research & Practice*, 31(3), 156-168. Winston Ltd.
- Dignath, C., & Büttner, G. (2008). Components of fostering self-regulated learning among students. A meta-analysis on intervention studies at primary and secondary school level. *Metacognition and Learning*, 3(3), 231-264.
- Domino, J. (2010). The Effects of Physical Manipulatives on Achievement in Mathematics in Grades K-6: A Meta-Analysis. ProQuest LLC. 789 East Eisenhower Parkway, PO Box 1346, Ann Arbor, MI 48106.
- Donker, A. S., De Boer, H., Kostons, D., van Ewijk, C. D., & Van der Werf, M. P. C. (2014). Effectiveness of learning strategy instruction on academic performance: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 11, 1-26. DOI: 10.1016/j.edurev.2013.11.002
- Durkin, K. (2011). The self-explanation effect when learning mathematics: A meta-analysis. Presented at the Society for Research on Educational Effectiveness 2011, Available online [accessed 13th March 2017]: <http://eric.ed.gov/?id=ED518041>.
- Education Endowment Foundation (2017) Teaching & Learning Toolkit: Setting or streaming. London: EEF.
- Ellington, A. J. (2003). A meta-analysis of the effects of calculators on students' achievement and attitude levels in precollege mathematics classes. *Journal for Research in Mathematics Education*, 34, 433-463.
- Ellington, A. J. (2006). The effects of non - CAS graphing calculators on student achievement and attitude levels in mathematics: A meta - analysis. *School Science and Mathematics*, 106(1), 16-26.
- Friso-van den Bos, I., van der Ven, S. H., Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational research review*, 10, 29-44.
- Gersten, R., Chard, D. J., Jayanthi, M., Baker, S. K., Morphy, P., & Flojo, J. (2009). Mathematics instruction for students with learning disabilities: A meta-analysis of instructional components. *Review of Educational Research*, 79(3), 1202-1242
- Guskey, T. R., & Pigott, T. D. (1988). Research on Group-Based Mastery Learning Programs: A Meta-Analysis. *The Journal of Educational Research*, 81(4), 197-216. doi:10.1080/00220671.1988.10885824
- Haas, M. (2005). Teaching methods for secondary algebra: A meta-analysis of findings. *Nassp Bulletin*, 89(642), 24-46.

- Hartley, S. S. (1977) Meta-Analysis of the Effects of Individually Paced Instruction In Mathematics. Doctoral dissertation University of Colorado at Boulder.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.
- Hembree, R. (1990). The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 33-46.
- Hembree, R. (1992). Experiments and relational studies in problem solving: A meta-analysis. *Journal for Research in Mathematics Education*, 242-273.
- Hembree, R., & Dessart, D. J. (1986). Effects of hand-held calculators in precollege mathematics education: A meta-analysis. *Journal for research in mathematics education*, 17(2), 83-99.
- Higgins, S., Hall, E., Baumfield, V., & Moseley, D. (2005). A meta-analysis of the impact of the implementation of thinking skills approaches on pupils. London: EPPI-Centre, Social Science Research Unit, Institute of Education, University of London.
- Higgins, S., Katsipataki, M., Villanueva-Aguilera, A. B. V., Coleman, R., Henderson, P., Major, L. E., Coe, R., & Mason, D. (2016). The Sutton Trust-Education Endowment Foundation Teaching and Learning Toolkit: Feedback. London: Education Endowment Foundation.
<https://educationendowmentfoundation.org.uk/resources/teachinglearning-toolkit>
- Hughes, E. M., Witzel, B. S., Riccomini, P. J., Fries, K. M., & Kanyongo, G. Y. (2014). A Meta-Analysis of Algebra Interventions for Learners with Disabilities and Struggling Learners. *Journal of the International Association of Special Education*, 15(1).
- Jacob, R., & Parkinson, J. (2015). The Potential for School-Based Interventions That Target Executive Function to Improve Academic Achievement. *Review of Educational Research*, 85(4), 512-552.
 doi:10.3102/0034654314561338
- Jacobse, A. E., & Harskamp, E. (2011). A meta-Analysis of the Effects of instructional interventions on students' mathematics achievement. Groningen: GION, Gronings Instituut voor Onderzoek van Onderwijs, Opvoeding en Ontwikkeling, Rijksuniversiteit Groningen.
- Kingston, N., & Nash, B. (2011). Formative Assessment: A Meta-Analysis and a Call for Research. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 30(4), 28-37. doi:10.1111/j.1745-3992.2011.00220.x
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The Effects of Feedback Interventions on Performance: A Historical Review, a Meta-Analysis, and a Preliminary Feedback Intervention Theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254-284.
- Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. (2003). Mathematics interventions for children with special educational needs a meta-analysis. *Remedial and special education*, 24(2), 97-114.
- Kuchler, J. M. (1998) The effectiveness of using computers to teach secondary school (grades 6-12) mathematics: A meta-analysis. Ph.D. thesis, University of Massachusetts Lowell.
- Kulik, C.-L. C., Kulik, J. A., & Bangert-Drowns, R. L. (1990). Effectiveness of Mastery Learning Programs: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 60(2), 265-299.
 doi:doi:10.3102/00346543060002265
- Lazowski, R. A., & Hulleman, C. S. (2016). Motivation Interventions in Education. *Review of Educational Research*, 86(2), 602-640. doi:doi:10.3102/0034654315617832

- Lee, D. S. (2000). A meta-analysis of mathematics interventions reported for 1971-1998 on the mathematics achievement of students identified with learning disabilities and students identified as low achieving. Doctoral Thesis, University of Oregon ProQuest UMI 9963449
- LeNoir, P. (1989). The effects of manipulatives in mathematics instruction in grades K-college: A meta-analysis of thirty years of research. Doctoral Thesis, North Carolina State University at Raleigh, ProQuest UMI 8918109.
- Leung, K. C. (2015). Preliminary empirical model of crucial determinants of best practice for peer tutoring on academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, 107(2), 558-579.
- Li, Q. and Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22(3), 215-243.
- Ma, X. (1999). A meta-analysis of the relationship between anxiety toward mathematics and achievement in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30(5), 520-540.
- Ma, X., & Kishor, N. (1997). Assessing the relationship between attitude toward mathematics and achievement in mathematics: a meta-analysis. *Journal for Research In Mathematics Education*, 28(1), 26-47.
- Melby-Lervåg, M. m., & Hulme, C. c. (2013). Is Working Memory Training Effective? A Meta-Analytic Review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270-291
- Methe, S. A., Kilgus, S. P., Neiman, C., & Riley-Tillman, T. C. (2012). Meta- analysis of interventions for basic mathematics computation in single- case research. *Journal of Behavioral Education*, 21(3), 230-253.
- Nunnery, J.A., Chappell, S. & Arnold, P. (2013). A meta-analysis of a cooperative learning model's effects on student achievement in mathematics. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 8(1), 34-48.
- Othman, N. (196). The effects of cooperative learning and traditional mathematics instruction in grade K-12: A meta-analysis of findings. Doctoral Thesis, West Virginia University. ProQuest UMI 9716375
- Paschal, R. A., Weinstein, T., & Walberg, H. J. W. (1984). The effects of homework on learning: A quantitative synthesis. *The Journal of Educational Research*, 78(2), 97-104.
- Patall, E. A., Cooper, H., & Robinson, J. C. (2008). Parent Involvement in Homework: A Research Synthesis. *Review of Educational Research*, 78(4), 1039-1101. Preston, J. A. (2007). Student-centered versus teacher-centered mathematics instruction: A meta-analysis. Doctoral Thesis, Indiana University of Pennsylvania. ProQuest UMI 3289778.
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 455-473. doi:10.1037/edu0000079
- Preston, J. A. (2007). Student-centered versus teacher-centered mathematics instruction: A meta-analysis. Doctoral Thesis, Indiana University of Pennsylvania. ProQuest UMI 3289778.
- Rakes, C. R., Valentine, J. C., McGatha, M. B., & Ronau, R. N. (2010). Methods of Instructional Improvement in Algebra A Systematic Review and Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 80(3), 372-400.
- Rittle-Johnson, B., Loehr, A. M., & Durkin, K. (2017). Promoting self-explanation to improve mathematics learning: A meta-analysis and instructional design principles. *ZDM*, 1-13.

- Rohrbeck, C., Ginsburg-Block, M. D., Fantuzzo, J. W., & Miller, T. R. (2003). Peer- assisted learning interventions with elementary school students: A meta- analytic review. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 240-257.
- Rosli, R., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2014). The effects of problem posing on student mathematical learning: A meta-analysis. *International Education Studies*, 7(13), 227
- Sahin, B. (2016) Effect of the use of technology in mathematics course on attitude: A meta analysis study. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, (November Special Issue), pp. 809-814.
- Salinas, A. (2010). Investing in our teachers: What focus of professional development leads to the highest student gains in mathematics achievement? PhD Thesis, University of Miami
- Savelsbergh, E. R., Prins, G. T., Rietbergen, C., Fechner, S., Vaessen, B. E., Draijer, J. M., & Bakker, A. (2016). Effects of innovative science and mathematics teaching on student attitudes and achievement: A meta-analytic study. *Educational Research Review*, 19, 158-172.
- Scheerens, J., Luyten, H., Steen, R., & Luyten-de Thouars, Y. (2007). Review and meta-analyses of school and teaching effectiveness. Enschede: Department of Educational Organisation and Management, University of Twente.
- Schwaighofer, M., Fischer, F., & Bühner, M. (2015). Does Working Memory Training Transfer? A Meta-Analysis Including Training Conditions as Moderators. *Educational Psychologist*, 50(2), 138-166. doi: 10.1080/00461520.2015.1036274
- Slavin, R. E. (1987). Mastery learning reconsidered. *Review of Educational Research*, 57(2), 175-213. doi:10.3102/00346543057002175
- Slavin, R. E. and Lake, C. (2007). Effective Programs in Elementary Mathematics: A Best-Evidence Synthesis (Baltimore: The Best Evidence Encyclopedia, Center for Data-Driven Reform in Education, Johns Hopkins University, 2007).
- Slavin, R. E., & Lake, C. (2008). Effective Programs in Elementary Mathematics: A Best-Evidence Synthesis. *Review of Educational Research*, 78(3), 427-515. doi:10.3102/0034654308317473.
- Slavin, R. E., Groff, C., & Lake, C. (2009). Effective Programs in Middle and High School Mathematics: A Best-Evidence Synthesis. *Review of Educational Research*, 79(2), 839-911.
- Slavin, R. E., Lake, C., & Groff, C. (2007). A Best-Evidence Synthesis Effective Programs in Elementary Mathematics: A Best-Evidence Synthesis. Baltimore: The Best Evidence Encyclopedia, Center for Data-Driven Reform in Education, Johns Hopkins University.
- Slavin, R. E., Lake, C., & Groff, C. (2009). Effective programs in middle and high school mathematics: A best-evidence synthesis. *Review of Educational Research*, 79(2), 839-911.
- Smith, B.A. (1996). A meta-analysis of outcomes from the use of calculators in mathematics education. (Doctoral dissertation, Texas A & M University- Commerce, 1996). Dissertation Abstracts International, 58(03), 787.
- Sokolowski, A. (2015). The Effects of Mathematical Modelling on Students' Achievement-Meta-Analysis of Research. *IAFOR Journal of Education*, 3(1), 93-114.
- Sokolowski, A., Li, Y., & Willson, V. (2015). The effects of using exploratory computerized environments in grades 1 to 8 mathematics: a meta- analysis of research. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 1-17.
- Sowell, E. J. (1989). Effects of manipulative materials in mathematics instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20, 498-505.

Steenbergen-Hu, S., & Cooper, H. (2013). A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on K–12 students' mathematical learning. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 970-987. doi:10.1037/a0032447

Steenbergen-Hu, S., Makel, M. C., & Olszewski-Kubilius, P. (2016). What One Hundred Years of Research Says About the Effects of Ability Grouping and Acceleration on K–12 Students' Academic Achievement: Findings of Two Second-Order Meta-Analyses. *Review of Educational Research*, 86(4), 849-899.

Stoner, D. A. (2004). The effects of cooperative learning strategies on mathematics achievement among middlegrades students: a meta-analysis. University of Georgia, Athens.

Swanson, H. L., & Sachse-Lee, C. (2000). A meta-analysis of single-subject design intervention research for students with LD. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 114–136.

Templeton, T. N., Neel, R. S., & Blood, E. (2008). Meta-analysis of math interventions for students with emotional and behavioral disorders. *Journal of Emotional and Behavioral Disorders*, 16(4), 226-239. <http://dx.doi.org/10.1177/1063426608321691>

Tingir, S., Cavlazoglu, B., Caliskan, O., Koklu, O., Intepe-Tingir, S. (In press) Effects of mobile devices on K-12 students' achievement: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, DOI: 10.1111/jcal.12184

Tokac, U., Novak, E. & Thompson, C. (2015). Effects of Game-Based Learning on Students' Mathematics Achievement: A Meta-Analysis. Representing Florida State University with a poster presentation at 2015 Statewide Graduate Student Research Symposium, University of Central Florida, Orlando, FL, April 24, 2015.

Waxman, H. C., Wang, M. C., Anderson, K. A., & Walberg, H. J. (1985). Adaptive Education and Student Outcomes: A Quantitative Synthesis. *The Journal of Educational Research*, 78(4), 228-236.

Wittwer, J., & Renkl, A. (2010). How effective are instructional explanations in example-based learning? A meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 22(4), 393-409.

Xin, Y. P., & Jitendra, A. K. (1999). The effects of instruction in solving mathematical word problems for students with learning problems: A meta-analysis. *The Journal of Special Education*, 32(4), 207-225.

Yoon, K. S., Duncan, T., Lee, S. W.-Y., Scarloss, B., & Shapley, K. (2007). Reviewing the evidence on how teacher professional development affects student achievement (Issues & Answers Report, REL 2007–No. 033). Washington, DC: U.S. Department of Education, Institute of Education Sciences, National Center for Education Evaluation and Regional Assistance, Regional Educational Laboratory Southwest. Retrieved from <http://ies.ed.gov/ncee/edlabs>

Zhang, D., & Xin, Y. P. (2012). A follow-up meta-analysis for word-problem-solving interventions for students with mathematics difficulties. *The Journal of educational research*, 105(5), 303-318.