

Les caractéristiques et les résultats des programmes d'entraînements sur les compétences du nombre chez les enfants en maternelle : une synthèse méthodique de la littérature

Auteur : Ingala, Sofia

Promoteur(s) : Rousselle, Laurence

Faculté : Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10215>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Les caractéristiques et les résultats des programmes d'entraînements sur les compétences du nombre chez les enfants en maternelle : une synthèse méthodique de la littérature

Présenté par INGALA Sofia en vue de l'obtention du grade de
master en sciences psychologiques, finalité spécialisée en
psychologie clinique

Promoteur : Laurence Rousselle
Superviseur : Line Vossius

Lectrices : Trecy Martinez Perez & Estelle Dauvister

Année : 2019-2020

Remerciements :

Je tiens tout d'abord à remercier ma promotrice, Madame Laurence Rousselle, de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce mémoire qui s'est avéré, pour le moins, original et très intéressant à mener.

Ensuite, je tiens profondément à remercier Line Vossius pour m'avoir supervisée pendant tout le long, Mille mercis, Line, pour ton aide, tes conseils avisés, pour ta disponibilité et ton écoute compréhensive et rassurante, tout particulièrement en ce fin d'année compliquée.

Je remercie également et très sincèrement Nancy Durieux pour nous avoir pris en charge, d'autres étudiants et moi-même, concernant la réalisation de ce mémoire théorique qui nous semblait insurmontable en ce début d'année 2020. Tout simplement merci pour vos encouragements, d'avoir pris le temps, pour chacun de nous, de nous aider.

Un tout grand merci à celles qui ont relu ce mémoire, Laetitia Reisenhel, Ines Baillet et Cécilia Ingala pour avoir pris le temps de m'aider et pour les bons conseils apportés face à la structure de celui-ci.

Bien évidemment, je remercie affectueusement mes parents et ma sœur pour leur soutien constant et pour leur inlassable capacité à croire en moi en toute circonstance.

Enfin, je tiens tout bonnement à remercier mes amis, pour certains aussi camarades, d'avoir été présents tout du long de ces cinq années et pour m'avoir encouragée et soutenue, de près ou de loin, dans les bons comme dans les mauvais moments. Et tout particulièrement, merci à Gwendoline, Clara et Jade, mes coéquipières durant ces cinq années, pour vos encouragements et pour votre amitié qui a été un véritable pilier.

Table des matières

Remerciements :	
Table des matières	
Partie 1 : Introduction	1
1. Introduction générale	1
2. Introduction théorique.....	2
2.2. Présentation de la thématique	2
2.3. Question de recherche	8
Partie 2 : Methodologie	9
1. Protocole et enregistrements.....	9
2. Critères d'éligibilité	9
3. Sources d'informations	11
4. Recherche	12
5. Sélection des études	13
6. Extraction des données et data items	14
7. Risques de biais inhérents à chacune des études.....	15
Partie 3 : Résultats	16
1. Sélection des études	16
2. Caractéristiques des études sélectionnées.....	19
2.1. Caractéristiques d'enfants de maternelle tout-venant (P).....	20
2.2. Compétences du nombre évaluées (O)	21
2.3. Caractéristiques des programmes d'entraînement	26
3. Risques de biais relatifs aux études	27
4. Résultats de chaque étude	31
4.1. Etudes ayant un effet significatif de l'intervention :.....	31

4.2.	Etudes n'ayant pas eu d'effet significatif de l'intervention :.....	36
5.	Résultats et analyse des données.....	37
5.1.	Détails des résultats	37
5.2.	Synthèse des résultats	46
Partie 4 : Discussion		47
1.	Synthèse des niveaux de preuve	47
1.1.	Résumé des résultats et pertinence des critères	47
1.2.	Comparaison des résultats avec l'intervention interdisciplinaire de L. Vossius et M. Neveu (2018) 57	
1.3.	Généralisation.....	59
2.	Limites	60
2.1.	Limites au niveau des études sélectionnée	61
2.2.	Limites au niveau de la synthèse méthodique	63
3.	Conclusions.....	66
3.1.	Interprétation générale des résultats	66
3.2.	Perspectives futures.....	67
Bibliographie :		69
Annexes :		86
Annexes 1 : <i>Détail de la stratégie de recherche PsycInfo</i>		86
Annexe 2 : <i>Détails de la stratégie de recherche ERIC</i>		87
Annexe 3 : <i>Totalité de la table d'extraction</i>		88
Annexe 3.2 : <i>Compétences du nombre évaluées (suite)</i>		89
Annexe 3.3 : <i>Caractéristiques des programmes d'entraînement partie 2 (suite partie 1 se trouvant dans le tableau 3)</i>		90
Annexe 4 : <i>Tableau d'évaluation complète du niveau de preuve des articles selon la liste CONSORT 2010 revisitée</i>		91
Annexe 4.1 : <i>Niveau de preuve des dix premiers articles par ordre alphabétique</i>		91

<i>Annexe 4.2 : Niveau de preuve des neuf derniers articles</i>	<i>92</i>
<i>Annexe 5 : Tableau de résultats-nombre d'études qui correspond à chaque critère</i>	<i>94</i>
<i>Annexe 5.1.1 : Nombre d'études ayant eu un effet significatif dans l'ensemble et par type d'intervention.....</i>	<i>94</i>
<i>Annexe 5.1.2 : Nombre d'intervention ayant eu un effet significatif qui ont évaluées ces compétences du nombre</i>	<i>96</i>
<i>Annexe 5.2.1 : Nombres d'études n'ayant pas eu d'effet significatif dans l'ensemble et par type d'intervention.....</i>	<i>98</i>
<i>Annexe 5.2.2 : Nombres d'études n'ayant pas eu d'effet significatif par compétence évaluée.....</i>	<i>100</i>
<i>Annexe 6 : Méthodologie du projet d'intervention de L.Vossius et M.Nevei (2018).....</i>	<i>102</i>
Résumé :	

Partie 1 : Introduction

1. Introduction générale

« Les maths, c'est dur... ».

Une phrase très souvent entendue dans la bouche des enfants, mais également, et même davantage, formulée par des adolescents et/ou jeunes étudiants. En effet, des inégalités au niveau des performances en mathématiques peuvent être présentes à tout âge et afin de mieux les comprendre, un bond dans les premières années des apprentissages concrets est nécessaire (Raghubar & Barnes, 2017). C'est là qu'un constat édifiant apparaît : il existe une importante différence interindividuelle chez les enfants en première année de primaire concernant les compétences en mathématiques et celles-ci auraient tendance à se maintenir dans le temps et préfigurer les performances sur le long terme (Duncan et al., 2008 ; Garon-Carrier et al., 2018 ; Jordan et al., 2009 ; Watts et al., 2014). Les difficultés mises en avant pour certains enfants proviennent de lacunes accumulées dès les premiers apprentissages concernant le domaine numérique, c'est-à-dire, dès l'entrée en maternelle. Ainsi une inquiétude naît chez certains professionnels de la santé concernant la persistance de ces difficultés et l'intérêt de mettre en place des interventions/programmes d'entraînement en milieu préscolaire pour les contourner apparaît alors (Starkey et al., 2004 ; Villani, 2014). Cependant, les résultats de ces nombreuses interventions divergent en bien des manières. Une explication probable résiderait dans les différences que l'on retrouve au sein même de ces interventions. Bien évidemment, l'élément premier de différenciation est la manière, l'outils, la tâche et/ou le support qui vont être utilisés afin d'acquérir l'une ou l'autre compétence en mathématiques. Mais les résultats peuvent également être dissemblables malgré l'usage des mêmes outils ou au sein d'une même compétence travaillée.

Ainsi, ce mémoire vise trois objectifs. Le premier, plus personnel, est de comparer les critères d'intervention étudiés dans le présent mémoire avec l'étude réalisée par Line Vossius et Maëlle Neveu durant l'année 2018 à Liège, celle-ci n'ayant pas abouti aux résultats escomptés. Deuxièmement, se questionner sur la modélisation de l'étude en termes de mise en place et de pratique semble pertinent et pourrait permettre d'aiguiller les futurs chercheurs afin de développer un programme d'entraînement pour les enfants de maternelle dans les conditions qui se seront avérées les plus efficaces. En dernier lieu, à plus long terme, ce travail pourrait

avoir un impact plus global sur l'enseignement. En effet, si les caractéristiques d'une intervention sont considérées comme efficaces, il pourrait être intéressant de les généraliser à un programme d'éducation annuel instauré dans les écoles. C'est pourquoi, dans le cadre de ce mémoire, le choix d'une population d'enfants tout-venant rendra l'interprétation des résultats plus aisée et peut-être généralisable à l'enseignement ordinaire.

2. Introduction théorique

Dans cette partie, les trois concepts principaux de cette synthèse méthodique seront présentés individuellement. Premièrement, l'intérêt du choix d'une population d'enfants tout-venant en âge préscolaire sera expliqué. Ensuite, les compétences en mathématiques à cet âge et les sous-compétences associées seront abordées. Et, enfin, les différents programmes d'intervention que l'on peut trouver dans la littérature seront analysés de façon approfondie.

2.2. Présentation de la thématique

2.2.1. Pourquoi s'intéresse-t-on aux enfants de maternelle ?

Contrairement aux théories de Piaget, stipulant que l'enfant était incapable de tout concept numérique avant l'acquisition du principe de conservation¹, plusieurs études indiquent au contraire que le bébé ne part pas de rien. En effet, dès son plus jeune âge l'enfant est d'ores et déjà capable de discriminer certaines petites quantités (paradigme d'habituation/regain d'intérêt démontré par l'expérience chez des bébés de 4 à 6 mois, Starkey & Cooper, 1980; Spelke & Gelman, 1990; cités par Butterworth, 2005). Ces compétences progressent d'années en années amenant l'enfant aux premiers apprentissages scolaires en mathématiques durant la maternelle (Garon-Carrier et al., 2018; Libertus et al., 2011).

Ainsi, il semble intéressant d'étudier une population d'enfants en âge préscolaire car les premiers apprentissages dans le domaine numérique se déroulent tôt, mais aussi car les premières difficultés se manifestent durant les premiers apprentissages concrets, c'est-à-dire lors de la première année de primaire (Raghubar & Barnes, 2017). Ces difficultés, qui résident

¹ **Principe de conservation** : lorsque l'enfant a acquis ce principe, il est capable de comprendre qu'une même quantité d'une matière, ainsi que son poids et son volume, ne diffère pas s'il prend une autre forme (Fleck, 1972).

dans les lacunes accumulées au fur et à mesure du cursus de maternelle, ont tendance à se poursuivre et à prédire les compétences en mathématiques futures. Par exemple, l'étude Garon-Carrier et al., (2018) observe que les enfants catégorisés comme « low-performing » à 4 ans l'étaient toujours à 10 ans, ce qui suggère un maintien des difficultés dans le temps. Aussi, l'étude de Duncan et al., (2008), qui est l'étude phare sur laquelle s'appuie ce constat, regroupe six études longitudinales d'enfants, de la maternelle aux années de secondaire (13-14 ans) dans le but de voir l'association entre certaines compétences (dont celles du nombre) qui émergent durant les années préscolaires et celles qui se répercutent plus tard. Les résultats montrent effectivement que les connaissances numériques précoces sont les variables qui prédisent le plus les performances mathématiques ultérieures. Dans la même lignée d'étude, d'autres articles en viennent à cette même conclusion (Geary et al., 2018; Mou et al., 2018; Siegler et al., 2012; Stock et al., 2009 et Watts et al., 2014).

En conclusion, le choix de s'intéresser à une population préscolaire prend tout son sens puisqu'il a été démontré que c'est le niveau le plus précoce sur lequel il est possible d'agir pour limiter au maximum les inégalités interindividuelles et la persistance de ces difficultés.

2.2.2. Les compétences du nombre chez l'enfant en âge préscolaire

Dans cette section, les compétences du nombre chez l'enfant âgé de deux ans et demi à 6 ans, c'est-à-dire de son entrée en maternelle jusqu'à son entrée en primaire, vont être détaillées en fonction des sous-compétences qui vont l'amener à apprendre à compter.

2.2.2.1. *Acquisition de la chaîne numérique verbale*

D'après la littérature, la première compétence acquise chez l'enfant entre l'âge de deux et trois ans (Butterworth, 2005) serait la chaîne numérique verbale. En effet, Le Corre et al., (2006) et Sarnecka et Carey, (2008) mettent en avant le fait que l'enfant n'apprend pas le nombre en fonction de la quantité qu'il représente, ou un à un, mais plutôt sous forme de comptine. Dans un premier temps, une séquence de nombre ne peut être utilisée indépendamment de la comptine ou du contexte dans laquelle elle a été apprise. Ainsi, l'enfant apprend la chaîne numérique verbale, initialement, sous forme de comptine/chanson, où les mots-nombres sont appris comme une série d'étiquettes : à ce moment-là, ils ne sont pas individualisés et n'ont pas de sens pour l'enfant. C'est la **phase d'acquisition** (Fuson, 1988) durant laquelle il est possible de différencier différentes parties de la chaîne numérique qui vont évoluer au fil du temps : *la*

partie stable et conventionnelle (l'enfant récite une partie de la chaîne toujours de la même manière et à chaque fois), *la partie stable non conventionnelle* (plus loin dans la chaîne, l'enfant est capable de réciter la même succession de chiffre erronée à chaque comptage en répétant toujours la même erreur), et enfin *la partie non stable et non conventionnelle* (l'enfant récite la partie de la chaîne de façon erronée, mais les erreurs varient d'un processus de comptage à l'autre). Au fur et à mesure de son apprentissage, la partie stable et conventionnelle augmente au détriment des deux autres (Van Rinsveld et al., 2020).

En parallèle, l'enfant traverse la **phase d'élaboration** (Baroody & Price, 1983; Fuson, 1988), qui a pour nature de progressivement décomposer en mots et mettre en relation la séquence de nombres. Cette phase peut elle-même se subdiviser en trois étapes. La première est la suivante : puisque la chaîne numérique est acquise au travers des comptines et des chansons, sous forme de chapelet, elle devient *insécable*, c'est-à-dire qu'elle ne peut être récitée que dans son entièreté : l'enfant ne peut pas s'arrêter à un chiffre précis lorsqu'on lui demande. Lors de la deuxième étape, la chaîne devient *sécable*. A ce stade, l'enfant est capable de compter à partir d'un autre chiffre que 1 et d'arrêter son comptage. Enfin, l'enfant atteint le stade de *la chaîne bidirectionnelle* : il est capable d'aller dans les deux sens de la chaîne numérique.

Ainsi, afin d'évaluer au mieux l'apprentissage de la chaîne numérique verbale, un intérêt particulier sera accordé à la **comptine numérique** (jusqu'où l'enfant peut compter le plus loin possible), à la **sécabilité** de la chaîne (est-il capable de s'arrêter ? de reprendre à partir du milieu de la séquence, de compter à l'envers ? etc...) et au « **number naming** ». Ce dernier sous-concept fait référence à la reconnaissance du nombre dans différents contextes (sur une ligne numérique ou présentée de façon individuelle où l'enfant doit juste le nommer) et sert à identifier si l'enfant a pu individualiser le mot-nombre en tant que nombre à part entière. Par ailleurs, l'étude de Koponen et al., (2016), démontre que les compétences en comptage verbale et en nomination rapide automatisé des nombres (« rapid automatized naming ») sont de bons prédicteurs des compétences en fluences arithmétiques² en primaire.

2.2.2.2. Dénombrement

La correspondance terme à terme apparaît aux alentours de 2 ans et indépendamment de la chaîne numérique verbale (Butterworth, 2005) : à ce stade, l'enfant est capable de donner un objet à une personne, de le nommer, de le pointer (et pointer chaque personne qui se trouve

² **Fluences arithmétiques** : problèmes arithmétiques simples, expliqués dans les « Compétences pré-arithmétiques ».

dans la pièce), de l'associer avec un autre objet, etc... Le mot-nombre vient s'ajouter après la maîtrise du « pointage » un à un, même si les enfants ne sont pas encore tout à fait capables de les faire correspondre correctement (le même objet peut être compté plusieurs fois, ou alors il peut en rater un, ...).

Pour comprendre et produire un dénombrement correct, il est important que l'enfant intègre les cinq principes élaborés par Gelman et Gallistel, (1986) : **le principe de l'ordre stable** (qui fait référence à la chaîne numérique verbale) ; **le principe de correspondance terme-à-terme** (qui renvoie à la notion de correspondance entre deux éléments qui sont le mot-nombre et un objet, un objet ne pouvant être compté qu'une seule et unique fois) ; **le principe de cardinalité** (comprendre que le dernier mot-nombre prononcé lors d'un dénombrement d'une collection correspond à la quantité présente dans celle-ci) ; **le principe d'abstraction** (toute collection peut être comptée quelles que soient les différences perceptives entre les éléments comptés) ; et **la non-pertinence de l'ordre** (l'ordre de comptage n'a pas d'importance car la quantité d'un nombre reste la même).

Le dénombrement est considéré comme une étape nécessaire et importante dans l'apprentissage numérique (Briars & Siegler, 1984). Il s'agit d'un concept fortement évalué dans la littérature, très souvent associé à l'apprentissage de la cardinalité car il constitue une étape essentielle à son acquisition (Izard et al., 2014; LeFevre et al., 2006). Néanmoins, comprendre le principe de cardinalité ne veut pas dire maîtriser complètement le concept de cardinalité. D'expérience, l'enfant peut avoir compris qu'il faut répéter le dernier mot-nombre prononcé pour répondre à la question « Combien ? » mais n'a pas encore compris la signification cardinale des nombres au point de pouvoir en donner la quantité correspondante si cela lui est demandé (Brissiaud, 1989). Voyons ci-dessous comment cela s'apprend exactement.

2.2.2.3. *Cardinalité*

Grâce à la tâche *Donne-N* élaborée par Wynn (1990, 1992) (dans laquelle une série d'items sont mis à disposition devant l'enfant et dont il va devoir donner à l'expérimentateur une quantité correspondant à un mot-nombre donné), les auteurs ont pu mettre en évidence plusieurs étapes par lesquelles les enfants passent afin d'acquérir la totale compréhension de la cardinalité (Le Corre et al., 2006; Le Corre & Carey, 2007; Wynn, 1990, 1992). Initialement, l'enfant n'a attribué aucune signification à aucun numéro qu'il a mémorisé : il sera nommé « no-numeral-knower ». Vers deux ans et demi, l'enfant comprend la signification cardinale du mot-nombre

« un », mais ne comprend pas « deux ». Il sera appelé un « **One-knower** ». Ensuite, aux alentours de trois ans-trois ans et demi, l'enfant fait la distinction entre la quantité « deux » et les autres mots nombres. Il est capable de donner deux objets mais n'est toujours pas apte à en donner plus : il sera appelé un « **Two-knower** ». L'enfant deviendra ensuite un « **Tree-knower** ». Et, enfin, vers trois ans et demi/quatre ans, lorsque l'enfant devient un « **Four-knower** », il comprend soudainement la relation entre le comptage et la numérosité et est capable de la généraliser à tous les autres nombres du reste de la chaîne : il devient **Cardinal-principal-knower**.

En parallèle, l'enfant intègre la notion de **fonction de succession** s'expliquant comme le fait de comprendre qu' « un ensemble d'objets correspond à un mot-nombre et que l'ajout d'un objet correspond à un autre mot-nombre qui se trouve être le suivant sur la chaîne $N+1$ » (Cheung et al., 2017; Sarnecka & Carey, 2008). Cette notion se développe également au travers différentes étapes, non explicitées ici, aboutissant à la compréhension que chaque nombre possède un seul et unique prédécesseur et un seul et unique successeur (**ordinalité**) et à l'élaboration de l'infinité de la chaîne numérique.

2.2.2.4. *Compétences pré-arithmétiques*

En conclusion, un bon nombre de concepts (chaîne numérique verbale, dénombrement, cardinalité) interviennent au stade préscolaire et sont primordiaux pour accéder aux compétences arithmétiques (Jordan et al., 2009; Krajewski & Schneider, 2009). Mais avant cela, ces étapes sont les bases pour développer les **compétences pré-arithmétiques** (*composition et décomposition*) qui sont les premiers petits calculs que l'enfant va réaliser sans même s'en rendre compte. En effet, les compositions et décompositions s'apparentent, respectivement, aux additions et soustractions arithmétiques mais sous forme imagée et de manière assez ludique. Ces notions semblent s'acquérir aux alentours de quatre ans et suivent également des étapes concernant l'élaboration d'un calcul stratégique jusqu'à six ans, c'est-à-dire l'entrée en première primaire (Butterworth, 2005).

2.2.3. Les programmes d'entraînements

Dans la littérature, de nombreuses études ont montré les bénéfices des programmes d'intervention à l'âge préscolaire sur les performances en première primaire, que ce soit en mathématiques ou dans n'importe quel autre domaine (lecture, Civetelli, 2013; Nevo & Vaknin-

Nusbaum, 2018; Y. Wang, 2016). Ainsi, dans le domaine des mathématiques, l'intérêt d'avoir recours à des programmes d'entraînement ayant lieu en milieu scolaire prend tout son sens. Cependant, aucune revue de la littérature ne permet de répondre à la question « Quelle est la meilleure intervention scolaire pour les enfants de maternelle ? ». Jusqu'ici, les revues systématiques ou méta-analyse centrées autour de cette idée se sont focalisées soit sur une population pathologique (Baker et al., 2002; Kroesbergen & van Luit, 2003), soit sur un matériel d'intervention spécifique (Scherer et al., 2019), soit sur des interventions basées uniquement sur des entraînements mathématiques (Nelson & McMaster, 2019). Néanmoins, on retrouve la méta-analyse d' A. H. Wang et al., (2016) qui s'intéresse à six caractéristiques des programmes d'entraînement : la taille de l'effet du programme, le nombre de notions travaillées, le temps des séances par semaine, l'impact distinct sur les « pré-maternelles » et les maternelles, la présentation du contenu individuellement ou en groupe et l'utilisation d'évaluations mathématiques élaborées par des chercheurs. Ici, uniquement deux de ces cinq caractéristiques (temps des séances et taille des groupes d'enfants) s'apparentent à la méthodologie du programme d'intervention, ce qui n'est pas suffisant pour établir l'intervention la plus efficace. Ainsi, aucune synthèse méthodique n'a mis en commun toutes les études d'interventions chez les enfants de maternelle pour définir quel serait le prototype d'intervention, le plus efficace en termes de durée, de temps pour chaque séance, d'organisation des programmes, d'administration des séances, d'intervention du professionnel, indépendamment du matériel utilisé.

Au-delà de tous ces éléments analysés, on retrouve dans la littérature une classification des interventions en fonction de leur « type », c'est-à-dire en fonction du nombre d'enfants et du professionnel qui intervient. Ainsi, selon les études de Friend et al., (2010), de Hall et Weaver, (2001) et d'Hartas, (2004) quatre types d'interventions sont mises en avant : l'intervention **interdisciplinaire** (un professionnel de santé extérieur administre l'intervention à un groupe d'enfant en classe pendant que le professeur donne son cours habituel), **multidisciplinaire** (un intervenant extérieur administre le programme aux enfants de manière individuelle), **transdisciplinaire** (l'expérimentateur³ et le professeur interviennent de manière simultanée et ont le même rôle en classe), et le **coaching/consultation** (le professeur, préalablement coaché par un spécialiste, intervient seul dans sa classe).

³ Dans un souci de clarté, nous parlerons d'**intervenant** pour faire référence à la personne qui intervient de manière générale, d'**expérimentateur ou chercheur** pour faire référence au professionnel externe qui vient administrer l'intervention et de **professeur** pour faire référence au professeur attitré à sa classe qui lui procurera le programme.

Comme expliqué dans l'introduction générale, un des objectifs de ce mémoire serait de comparer les résultats avec l'intervention mise en place par Line Vossius et Maëlle Neveu en 2018, afin de déterminer quelles seraient les caractéristiques qui auraient pu contribuer au faible impact de celle-ci. Ce mémoire a aussi pour but d'aiguiller les autres chercheurs s'ils désirent réaliser une intervention de ce genre mais il ambitionne également d'avoir un impact plus important et général sur les programmes éducationnels déjà mis en place.

2.3. Question de recherche

Afin de pouvoir atteindre les objectifs fixés préalablement, une synthèse méthodique de la littérature est réalisée car elle permet de réunir toutes les données pouvant répondre à la question de recherche. Ainsi, il convient d'avoir une question de recherche structurée et précise afin d'entamer au mieux les premières étapes de la méthodologie. Pour cela, le canevas PICO sera utilisé. Ce dernier intègre quatre composantes qui vont aider à l'élaboration de la question de recherche (Durieux et al., 2017) : P (Patient/problème) renvoie aux caractéristiques du patient ou du problème dont il est question ; I (Intervention) fait référence à tout élément externe appliqué à une population ou à un problème dans le but d'affecter ces derniers ; C (Comparaison) est généralement utilisé pour comparer deux interventions ou populations (non utile dans le cadre de cette recherche) ; et O (Objectifs) fait référence aux « paramètres qui seront pris en compte pour démontrer que l'objectif a été atteint » (Durieux et al., 2017, p.17). Pour aboutir à une question de recherche de qualité et pour effectuer une synthèse méthodique de la littérature, il faut au moins intégrer trois de ces principes. De ce fait, la question de recherche, suivant le principe PICO, est la suivante :

Quels sont les caractéristiques et résultats des programmes d'entraînement (I) sur les compétences du nombre (O) chez les enfants de maternelle (P) ?

Les programmes d'entraînement font référence à l'intervention mise en place et à ses caractéristiques, l'amélioration des compétences du nombre est l'objectif et les enfants de maternelle constituent la population étudiée.

Partie 2 : Methodologie

Selon la ligne directrice PRISMA (Gedda, 2015b) suivie dans ce mémoire, la méthodologie s'organise de manière chronologique selon les étapes suivantes : explication des critères importants à prendre en compte dans le choix des références pertinentes et selon la question de recherche ; explication détaillée de la manière dont s'est déroulée la recherche dans les bases de données ; explication de la procédure de sélection des articles et des données extraites qui serviront à l'interprétation des données ; et enfin, explication de l'outil utilisé pour permettre un retour critique sur les articles sélectionnés.

1. Protocole et enregistrements

L'ensemble du protocole de cette méthodologie a été entièrement réalisé de façon indépendante. Cependant, la synthèse méthodique de la littérature nécessitant plusieurs lecteurs et chercheurs, l'aide de Line Vossius et de Nancy Durieux a été sollicitée pour certaines parties méthodologiques : la sélection des bases de données, le choix des descripteurs et du langage libre associés à la recherche et les critères d'éligibilités. L'entièreté de cette méthodologie a été élaborée selon la ligne directrice PRISMA (Gedda, 2015b) que l'on peut retrouver sur le site de l'Equatornet (<https://www.equator-network.org/>).

2. Critères d'éligibilité

Les critères d'éligibilité vont être décrits ci-dessous selon les trois concepts principaux de la question de recherche.

Premièrement, il a été décidé que les études sélectionnées devaient être des essais contrôlés randomisés (étude d'intervention dans laquelle l'échantillon est réparti de manière aléatoire entre le groupe expérimental et le groupe contrôle) ou plus largement, contenir une méthodologie avec une répartition randomisée (ou semi-randomisée). En effet, dans les écrits de Beaudart et al., (2016) et Salmi, (2012), les auteurs expliquent que pour évaluer au mieux l'efficacité d'une intervention, un schéma d'étude de type essai contrôlé randomisé serait le plus approprié pour apporter le plus haut niveau de preuves : ce sont des études prospectives, contrôlées où la répartition des individus étudiés se fait au hasard (random) avec une

comparaison en parallèle entre un ou plusieurs groupes et le groupe contrôle (groupe recevant un placebo ou un traitement de référence) tout en suivant un protocole strict d'expérimentation. Ainsi, les études où l'allocation⁴ des groupes s'effectuait *aléatoirement* au niveau des classes ou au niveau des professeurs, étaient également sélectionnées. En complément, la présence d'un pré-test et de post-test(s) entourant l'intervention ainsi que la nécessité d'un groupe contrôle de référence ont été déterminées comme critères obligatoires. Dans ce contexte, est considéré comme groupe contrôle (ou de référence) tout groupe continuant à suivre le programme scolaire normal sans aucune intervention liée aux mathématiques. Si un groupe bénéficie tout de même d'une intervention liée à un autre domaine (lecture, sport, ...), il peut alors être considéré comme groupe contrôle, s'il n'y en a pas déjà un. Ensuite, les programmes d'intervention devront se dérouler et être mis en place dans un cadre scolaire et durant l'année scolaire. Les études qui disposent d'un échantillon recruté dans plusieurs écoles ainsi que celles qui ont lieu pendant l'été, ne seront pas sélectionnées (à moins que le programme ne se poursuive durant l'année). Enfin, la question concernant les programmes d'entraînement au moyen d'un matériel électronique (ordinateur ou tablette) s'est posée a posteriori car ce genre d'intervention fait difficilement référence au type d'interventions citées plus haut. Il a été décidé que, dans un premier temps, ces études seront sélectionnées afin de voir si une interaction entre le/les enfant(s) et l'intervenant a lieu pendant les sessions du programme. Si les enfants effectuent l'entraînement uniquement face à l'ordinateur et sans participation de l'intervenant, ces études-là seront exclues.

Deuxièmement, les compétences numériques évaluées dans le pré-test et le(s) post-test(s) devront être celles recherchées (chaîne numérique verbale, dénombrement, cardinalité, fonction de succession, compétences pré-arithmétiques) et ne devront pas différer entre le pré-test et le post-test, afin d'objectiver au mieux l'effet du programme d'entraînement. Il est intéressant de noter que d'autres compétences peuvent être évaluées en même temps que les performances du nombre et que cela ne constitue pas un frein à partir du moment où celles-ci sont évaluées et interprétées de manière totalement indépendantes.

Concernant le choix de la population, un échantillon d'enfants de maternelle couvrant les âges de 2 ans et demi à 6 ans et demi sera compris dans la sélection. Cependant, au regard des différences pédagogiques et scolaires que l'on peut trouver entre les différents pays, il a été plus simple de sélectionner les études sur la base du terme « preschoolers » et « kindergarteners », l'un et l'autre faisant référence au cursus de maternelle. Il est intéressant de noter qu'un

⁴ **Allocation** : terme synonyme de répartition

échantillon recouvrant une tranche d'âge plus large peut également être inclus mais à condition que les résultats puissent être dissociés en termes d'âge et interprétables indépendamment. Enfin, le but de la question de recherche étant d'établir quel serait le meilleur programme d'entraînement pour tous les enfants suivant le programme de maternelle, le choix d'une population d'enfants tout-venant et sans pathologie est essentiel afin que cela soit le plus représentatif de la population. Tout échantillon d'enfants ayant été évalués à risque au moyen d'un test psychométrique ou sur la base d'autres évaluations et/ou tout échantillon d'enfants possédant déjà un trouble ou une pathologie identifiée, est défini comme un critère d'exclusion ne permettant pas de sélectionner l'article. Néanmoins, lorsque l'abstract ne donne pas d'informations assez précises relatives à la pré-sélection de l'échantillon, l'article sera tout de même lu afin d'assurer une sélection la plus exhaustive possible. En effet, la différence entre le fait d'avoir des difficultés avérées et le fait d'avoir des notes plus basses, signes de lacunes, a été prise en compte ce qui finalement, constitue un critère qui permet de représenter au mieux la population belge. De plus, il convient de préciser que le fait que les enfants catégorisés comme ayant un statut socio-économique bas n'a pas été considéré comme un critère d'exclusion car c'est également une observation que l'on retrouve dans de nombreuses écoles belges.

En dernier lieu, conformément à la limitation du nombre de références dans les mémoires de type revues systématiques dans la réglementation de l'Université de Liège, il a été décidé, a posteriori, que tout abstract ou tout article manquant fortement d'informations et pouvant nuire à l'interprétation des résultats ne serait pas inclus dans les phases de sélection.

3. Sources d'informations

Les sources d'information utilisées pour cette recherche devaient être au minimum de deux (selon le règlement de l'Université de Liège relatif aux synthèses méthodiques). Ainsi, les deux moteurs de recherche utilisés, selon l'interface Ovid, ont été les suivants : ERIC⁵ couvrant la période de 1955 à Janvier 2020 et PsycInfo⁶ couvrant la période allant de 1806 à la semaine du

⁵ ERIC : base de données contenant une bibliographie axée sur la discipline des sciences de l'éducation.

⁶ PsycInfo : base de données contenant une bibliographie couvrant la discipline des sciences sociales et comportementales.

6 avril 2020 (définitions provenant de Durieux, 2016). Les dernières recherches effectuées ont été réalisées le 9 avril 2020, avec un totale de 520 références.

4. Recherche

La stratégie de recherche regroupant le choix des descripteurs, du langage libre et des limites a été réalisée avec Line Vossius. Afin de garantir la recherche la plus adéquate et exhaustive possible, les trois concepts de la question PICO présentés plus tôt ont été isolés (cf. « Question de recherche » dans « Introduction théorique »). La difficulté dans cette partie de la méthodologie réside dans le fait qu'il existe plusieurs descripteurs pour un même concept et que le langage libre peut parfois porter à confusion s'il n'est pas rigoureusement choisi. Ainsi, le choix de ces descripteurs doit être méthodique afin d'avoir une recherche la plus exhaustive possible tout en réduisant un maximum le « bruit », c'est-à-dire les références qui évoquent un autre sujet que celui abordé (indiquant généralement une question de recherche trop large). Pour cela, le choix des descripteurs a été fait en fonction des définitions fournies par la Scope note⁷.

Pour illustrer ce propos, la stratégie de recherche d'un concept dans la base de données PsycInfo va être détaillée. Le reste de la stratégie de recherche ainsi que celle effectuée sur ERIC se trouve en [Annexe 1](#) et [2](#). Concernant le concept « Compétences du nombre », les descripteurs utilisés sont « Number Compréhension » OR « Mathematical Ability » car ce sont ceux qui détiennent la définition la plus proche de la notion recherchée (c'est-à-dire les compétences du nombre avant l'arithmétique, sans calculs complexes...). Cependant, comme constaté dans l'introduction, les compétences du nombre à l'âge préscolaire sont multiples. Il a donc fallu utiliser le « langage libre » (naturel) pour chercher d'autres termes qui n'étaient pas des descripteurs inclus dans le dictionnaire de la base de données, mais qui sont associés à la thématique recherchée. Ainsi, les termes sont les suivants : « (num* AND abilit*).mp » OR « counting.mp » OR « 'count'.mp » OR « cardinality.mp » OR « (cardinal* AND principle*).mp » OR « (cardinal* AND meaning).mp » OR « (cardinal* AND knower*).mp » OR « (cardinal* AND num*).mp » OR « enumerat*.mp » OR « (cardinal* AND value*).mp ». Cet exemple démontre bien les difficultés rencontrées dans l'élaboration d'une recherche qui doit être précise tout en étant suffisamment large pour être exhaustive. En effet, pour le comptage, les termes « counting » et « 'count' » ont dû être séparés car le terme « count* »

⁷ **Scope Note** : lien donnant la définition du descripteur en question.

pouvait renvoyer à plusieurs mots tels que « country/ies », « counteract » (neutraliser), « counterfoil » (une souche), ... Ceci ne nous aurait donc pas permis de cibler uniquement les compétences en mathématiques recherchées et aurait conduit à la présence de références « parasites ». Ainsi, l'utilisation des guillemets pour « *count* » permet de focaliser la recherche uniquement sur le mot « compter » et l'utilisation du terme « *counting* » permet d'élargir cette compétence. La même difficulté a été rencontrée pour le terme « *cardinal** ». Si la structure du mot avait été laissée telle quelle, plusieurs références ecclésiastiques auraient parasité la recherche. Ainsi, le terme « '*cardinality*' », entre guillemets, a été laissé comme tel (sans mettre de troncature pour le pluriel car dans le domaine des mathématiques, la cardinalité au pluriel est très rarement utilisée). Cependant, le terme « *cardinal* » a été utilisé mais uniquement associé à un autre terme (value, knower, principe) pouvant assurer que la recherche autour de ce mot soit uniquement focalisée sur la compétence du nombre.

Il est tout de même intéressant de noter que, pour le concept « Enfants de maternelle », les descripteurs employés sont « Preschool Students » OR « Kindergarten Students » OR « Kindertgartens » et qu'en raison des différences d'organisation pédagogique entre certains pays, les termes « Preschool » et « Kindergarten » ont dû être considérés. Effectivement, certains considèrent soit l'un, soit l'autre et d'autres considèrent deux années de « preschool years » avant l'entrée en « kindertgartens », ce qui fait globalement référence au cursus de maternelle.

Concernant les limites établies pour ces recherches, les articles écrits en anglais et/ou en français ont été privilégiés mais uniquement au regard de la compréhension de la langue. De plus, dans un souci de respect des règles relatives aux revues systématiques pour la rédaction du mémoire à l'Université de Liège autorisant un maximum de 500 références, une limite concernant la date de publication a été fixée à une période allant de 2015 à nos jours. Enfin, afin de garantir la meilleure évaluation et qualité de l'interprétation, les articles sélectionnés ont tous été revus par les pairs (limite de « peer-reviewed »).

5. Sélection des études

La sélection des études s'est effectuée selon deux phases de tri. La première phase de sélection a été réalisée sur la base de la lecture du titre et de l'abstract et sur la base des critères d'inclusion et d'exclusion préalablement définis et validés avec Line Vossius. Il convient de préciser que pour ce premier tri, un maximum de deux informations manquantes a été autorisé

pour sélectionner l'article. Ensuite, la deuxième phase de sélection a été opérée après lecture complète des articles retenus à la suite du premier tri et toujours selon les critères d'éligibilité. Les références incluses sont donc des études d'intervention dans lesquelles un programme d'entraînement a été réalisé, dans une classe ou dans l'école (milieu scolaire), avec une répartition de type aléatoire de chaque groupe d'enfants en maternelle tout-venant et/ ou représentatif de la population, où les compétences du nombre mentionnées et expliquées dans l'introduction sont évaluées.

6. Extraction des données et data items

La construction de la table d'extraction a été élaborée selon une partie des critères d'éligibilité qui allaient permettre de répondre à la question de recherche mais également sur la base de la lecture entière des textes de 5 articles au choix. Une première ébauche de ce tableau a été créée et, afin de s'assurer de l'exhaustivité des caractéristiques, les données d'un article ont été introduites dans le tableau par Line Vossius après lecture complète de celui-ci.

Les variables pour lesquelles les données ont été recherchées ont été regroupées et identifiées selon les trois grands concepts qui se retrouvent dans la question de recherche.

Ainsi, le premier concept concerne les « Caractéristiques de la population » et recouvre l'âge moyen de la population, le type de classe (« kindergarteners », « preschoolers » ou « pre-kindergarten »), le nombre de classes qui participent à l'intervention, le nombre d'enfants et enfin, le nombre de filles et de garçons.

Le deuxième concept fait référence aux « Compétences du nombre » qui sont évaluées lors du pré-test et du post-test. Ces compétences regroupent l'acquisition de la chaîne numérique verbale, regroupant elle-même : la comptine numérique, la sécabilité et le number naming (ou identification du nombre) ; le dénombrement ; la cardinalité ; la fonction de succession (relative à toutes les activités qui sollicitent le $N+1$ ou l'« ordinalité ») ; et les compétences pré-arithmétiques qui mobilisent les activités liées à la composition et la décomposition (arithmétique imagée ou fluences arithmétiques). Si une batterie de test était nommée, elle était également notée dans la table d'extraction mais uniquement à titre indicatif.

Le troisième concept - les caractéristiques du programme d'intervention- rassemble plusieurs points : le type d'intervention (interdisciplinaire, multidisciplinaire, coaching ou transdisciplinaire), qui est une variable elle-même associée au type de professionnel qui

intervient pendant l'étude. Ensuite, les éléments suivants ont été répertoriés : intervention individuelle ou en groupe, nombre d'enfants dans chaque sous-groupe/par activité, durée du programme d'entraînement, temps de chaque session par séances, nombre de séances par semaine, nombre de séances au total durant toute l'intervention et enfin, type de matériel utilisé. Ce dernier point a été rajouté afin d'aiguiller de futurs chercheurs ou enseignants dans le choix d'une tâche ou d'un matériel s'ils souhaitent reproduire l'intervention. Il convient d'indiquer que d'autres variables ont été cataloguées à titre indicatif (temps entre le pré-test et l'intervention, temps entre l'intervention et le post-test, le nombre de post-tests réalisés, la présence d'autres groupes expérimentaux) mais que ces derniers, ne faisant pas partie de l'analyse finale, ont été mentionnées uniquement dans les annexes correspondantes.

7. Risques de biais inhérents à chacune des études

Afin d'évaluer le risque de biais de chaque étude sélectionnée, la grille d'évaluation CONSORT 2010 revisitée (Cannac et al., 2010; Gedda, 2015a) pour les études cliniques/contrôlées randomisées a été utilisée à des fins comparatives de la structure de l'étude. Il convient de noter qu'une partie des références incluses ne contiennent pas la mention d'« essai contrôlé randomisé » dans le titre ou dans la méthodologie, mais toutes sont conformes à la définition de ce type d'étude, c'est-à-dire une étude d'intervention dans laquelle l'échantillon est reparti aléatoirement entre le groupe expérimental et le groupe de référence. (Durieux, 2016). Ainsi, pour toutes les références contenant une répartition aléatoire et un groupe contrôle, l'utilisation de la grille CONSORT est justifiable. Par ailleurs, l'utilisation de cette seule et unique grille trouve son sens dans un souci pratique de comparaison. Nous nous attendons alors à l'absence de certaines informations et donc, à la mise en évidence potentielle de certains biais.

Aussi, l'analyse du niveau de preuve sera essentiellement focalisée au niveau méthodologique car, afin de rendre compte de l'efficacité d'une étude, l'explication du protocole et de la procédure est ce qui est le plus pertinent pour ce sujet de mémoire. Une attention importante sera apportée sur les points suivants : le plan d'essai (groupes parallèles), les critères d'éligibilité des participants, structures et lieux de recueil des données, interventions pour chaque groupe (avec les détails en termes de temps, de durée, d'organisation et de déroulement), les critères de jugement (critères d'éligibilité), la taille de l'échantillon et ses caractéristiques, et enfin, tout le processus de randomisation.

Partie 3 : Résultats

Selon la grille PRISMA (Gedda, 2015b) suivie pour réaliser ce mémoire, les résultats d'une revue systématique se présentent généralement sous forme de tableaux et de description des études choisies. Une première section concerne l'explication en détail du processus de sélection des études et les caractéristiques propres à ces étapes. Une deuxième section regroupe les grandes caractéristiques identifiées dans l'ensemble des études et l'explication de celles-ci. Une troisième section analyse les biais identifiés dans chacune des études et la fiabilité de celles-ci. Une quatrième section consiste en un résumé de chacune des études incluses dans la synthèse méthodique. Et, la cinquième section regroupe l'ensemble des résultats pour en faire une synthèse.

1. Sélection des études

In fine, un total de 520 références a été recueilli et téléchargé sur Zotero⁸. Après élimination des 36 doublons, un total de 484 articles a été obtenu.

Conformément aux critères d'éligibilité décrits dans la première phase de sélection, 50 études ont été retenues et 434 exclues. Parmi les raisons les plus fréquentes, on retrouve 259 références rejetées car il ne s'agissait pas d'un design d'étude avec un programme d'intervention (études longitudinales, analyses de bases de données, mises en évidence de lien entre deux variables, études de cas). Selon ces mêmes critères, 33 études n'ont pas été sélectionnées car elles faisaient référence à des interventions non réalisées en milieu scolaire et 3 ont été exclues car elles se déroulaient en dehors de l'année scolaire. D'un point de vue méthodologique, 6 études ont été écartées car la répartition n'était pas randomisée. 63 études ont été exclues soit parce qu'elles n'évaluaient pas les compétences du nombre, soit parce qu'elles n'évaluaient pas les compétences recherchées ou ne visaient pas à l'amélioration de celles-ci. 22 articles ont été exclus car ils ne faisaient pas référence à des enfants en maternelle. 31 études ont été retirées car la population d'enfants en maternelle était identifiée comme à risque ou comme ayant un trouble ou une pathologie déjà identifiée (trouble du spectre de l'autisme, déficit langagier, déficit des fonctions exécutives ou dyscalculie) et/ou soit car il y avait une comparaison directe entre les enfants considérés comme tout-venant et les enfants

⁸ **Zotero** : outils de gestion bibliographique

considérés comme ayant des difficultés. Enfin, 17 références ont été écartées car l'abstract n'était pas assez fourni et ne permettait d'en tirer les données nécessaires.

En conséquence, 50 articles ont été retenus pour la deuxième phase de sélection qui consiste en la lecture complète du texte. Parmi ces articles, 19 références ont été conservées pour l'analyse finale et 31 ont été exclues. Les critères d'éligibilité retenus pour cette partie regroupent globalement ceux utilisés dans la première phase de sélection, mais avec une attention plus particulière concernant les détails de chaque concept.

Premièrement, 7 études ont été exclues car les enfants avaient été présélectionnés selon leurs faibles performances sur la base d'un test psychométrique ou de notes d'examens, ce qui ne rend pas l'échantillon représentatif de la population (Aunio & Mononen, 2018; Barnes et al., 2016; Baroody et al., 2006; B. Clarke, Doabler, Smolkowski, Kurtz-Nelson, et al., 2016; B. Clarke et al., 2017; Doabler, Clarke, Kosty, Smolkowski, et al., 2019; Van Herwegen et al., 2018).

Deuxièmement, les études suivantes ont été exclues car les compétences numériques évaluées n'étaient pas celles recherchées. Celle de Binti Ali, (2017) évaluait la multiplication, celle d'Ollivier et al., (2019) mesure le calcul et celle Shirani Bidabadi et al., (2019) évaluait sens du nombre évoquée par Piaget. Dans le même critère, l'étude de Meloni et al., (2017) a été écartée car les compétences évaluées lors du pré-test et du post-test faisaient référence aux performances intellectuelles (test de QI) et non au domaine numérique.

Troisièmement, plusieurs articles n'ont pas été sélectionnés car les critères du programme d'entraînement n'étaient pas adéquats et ne permettaient pas de répondre à la question de recherche. Ainsi, 5 études d'intervention ne se déroulaient pas en milieu scolaire (Bofferding & Hoffman, 2019; Crollen et al., 2020; Lewis Presser et al., 2015; Mavilidi et al., 2018; O'Rear & McNeil, 2019); 6 programmes d'intervention s'effectuaient sur du matériel électronique (ordinateur ou tablette) laissant l'enfant seul ou en groupe devant l'ordinateur, sans aucune interaction avec l'intervenant ou le professeur qui n'était présent que pour superviser (Foster et al., 2016; Maertens et al., 2016; McManis & McManis, 2016; Papadakis et al., 2018; Rogowsky et al., 2018; Schacter et al., 2016); et, enfin, les études de Paliwal et Baroody, (2018) et de Piper et al., (2018), manquaient fortement d'informations concernant la mise en place de l'intervention (type d'intervention, nombre d'enfants dans chaque groupe, durée du programme, temps par séance, en groupe ou individuellement, etc.).

Quatrièmement, 3 références ont été rejetées car la méthodologie de l'étude n'était pas adéquate pour évaluer l'efficacité d'un programme d'intervention. L'étude de Friso-van den Bos et al., (2018) n'avait pas une répartition randomisée, celle de Kermani, (2017) ne donnait aucune information concernant la répartition des groupes et celle de Carbonneau et Marley, (2015) ne possédait pas de groupe contrôle de référence et les compétences évaluées au pré-test et au post-test étaient différentes, ce qui ne permettait pas d'objectiver un effet spécifique de l'intervention.

Enfin, trois études ont été exclues car elles étaient dépourvues d'informations importantes pour la future analyse et concernant l'ensemble des concepts. Ainsi, l'étude d' Elofsson et al., (2018) ne possédait pas de groupe de référence et ne donnait que peu d'informations concernant les critères du programme d'intervention (type, professionnel présent, en groupe ou en individuel, etc.). L'étude de Lonigan et al., (2015) a mis en place un programme scolaire/d'éducation se déroulant sur toute l'année ayant pour but d'être implémenté dans une école où l'échantillon des enfants a été présélectionné sur base de leurs faibles performances à un test psychométrique. Enfin, l'étude de Polat et al., (2017) a été rejetée parce que le manque d'informations concernant la population et le programme d'intervention était trop conséquent et car les compétences numériques évaluées n'étaient pas assez approfondies et ne permettaient aucunement d'identifier les sous-concepts.

Afin de résumer ce processus de sélection, les étapes et les résultats seront représentés sous forme de diagramme de flux.

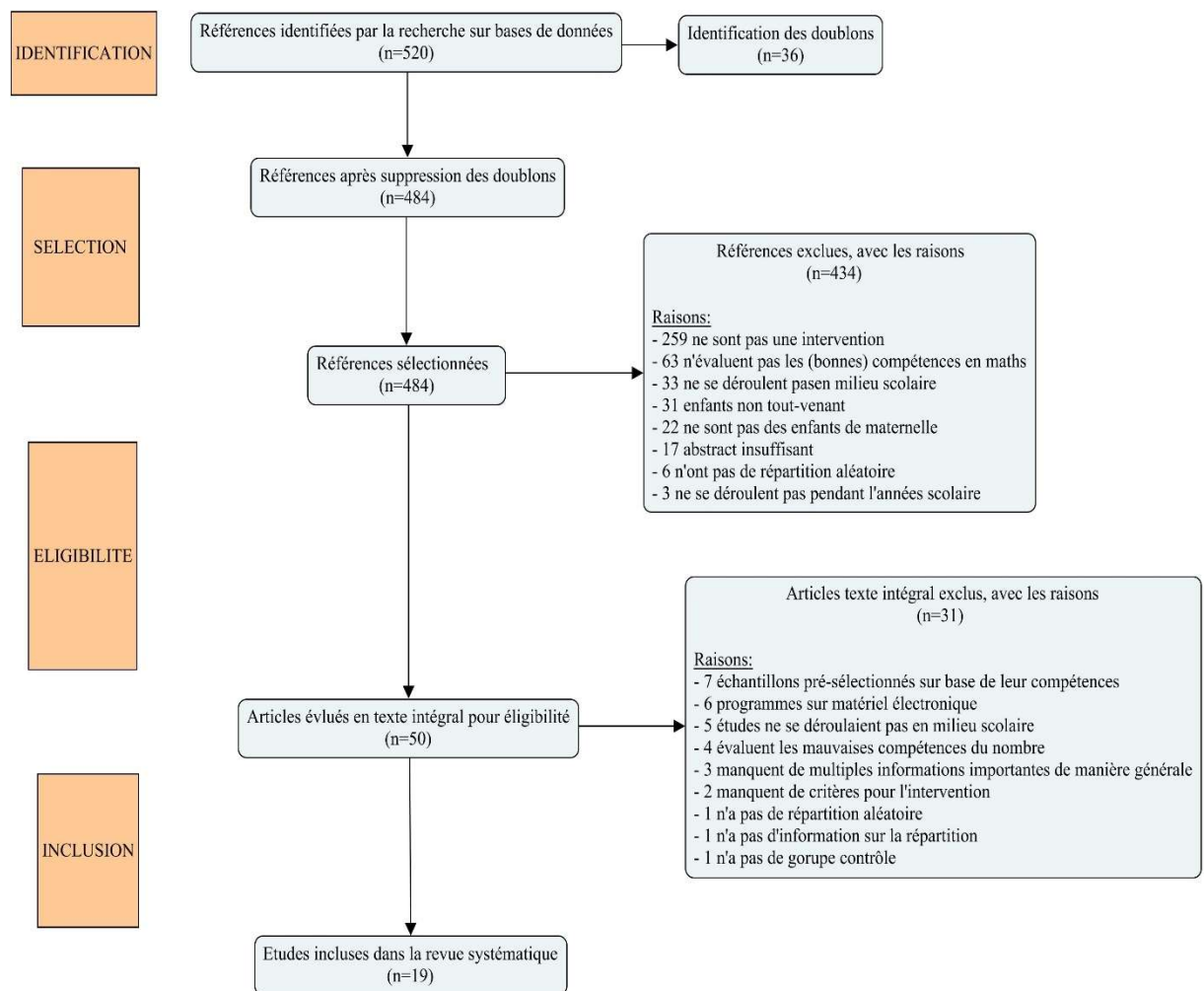


Figure 1 : Diagramme de flux des étapes de sélection

2. Caractéristiques des études sélectionnées

Les données extraites des 20 études analysées ont été répertoriées dans les tableaux 1 (caractéristiques de la population), 2 (compétences du nombre évaluées) et 3 (caractéristiques des programmes d'entraînement).

La table d'extraction a été élaborée suivant les critères PICO (P pour la population d'enfants tout venant en maternelle ; I pour le programme d'intervention ; O pour les objectifs, c'est-à-dire l'amélioration des compétences du nombre) mis en évidence en fin d'introduction. Ainsi, pour chaque concept principal, les grandes généralités retrouvées dans les études vont être expliquées. Il convient de signaler que certains de ces critères ont été répertoriés dans la table d'extraction d'origine ([Annexe 3](#)) mais que ceux-ci n'ont pas servi à l'interprétation des

résultats pour répondre à la question de recherche, soit parce qu'ils ne permettaient pas une généralisation des résultats, ou parce que leur interprétation n'a, au final, pas semblé pertinente.

2.1. Caractéristiques d'enfants de maternelle tout-venant (P)

Pour la population d'enfants tout-venant en maternelle (P), toutes les études prennent en compte des échantillons moyennement âgés de quatre ans à six ans, ce qui correspond bien à la tranche d'âge recherchée et concernée par les apprentissages mis en vigueur (Tableau 1).

Ainsi, toutes les études portent sur des enfants de maternelle. Il convient de noter que, puisqu'il s'agit de moyenne d'âge, la tranche d'âge peut en effet s'élargir et regrouper des enfants âgés de trois à six ans et demi. Cependant, il est rare de trouver des enfants de moins de trois ans. En effet, même si à partir de deux ans et demi les premiers apprentissages commencent à se former, l'enfant n'a pas encore acquis les premières bases, il est donc inutile d'évaluer à ce stade sa compétence du nombre.

Concernant la taille d'échantillon, il existe une forte variabilité car certaines études ont été réalisées en reprenant des populations issues de bases de données. Ainsi, les effectifs vont de 13 à 1540 enfants. En outre, les critères comme l'appellation de la classe de maternelle, le nombre de classes, le nombre de filles et de garçons ont été inventoriés mais ne font pas partie de l'analyse finale ([Annexe 3.1](#)).

Dans l'ensemble, les enfants sont tout-venant, sans difficultés identifiées et sans avoir été présélectionnés sur base de leurs compétences en mathématiques.

De plus, 3 études font référence à des enfants ayant un niveau socio-économique bas et 17 études ont un échantillon de provenance socio-économique mixte.

Enfin, bien que les références aient été écrites en anglais, les origines ou les pays dont provient la population sont différentes. De ce fait, 5 études ont une population d'origine américaine, 2 sont belges, 2 sont suisses et un échantillon est multiculturel (puisque les enfants sont issus d'une base de données, l'échantillon se compose d'enfants ayant des origines différentes). Pour le reste des études, puisqu'il n'a pas été possible de les regrouper à ce niveau, les échantillons proviennent de l'Equateur, du Chili, de la Turquie, du Pays-Bas, du Brésil, d'Inde, de l'Italie et du Luxembourg.

2.2. Compétences du nombre évaluées (O)

Concernant les résultats (Objectifs), faisant référence aux compétences du nombre (Tableau 2) évaluées avant et après l'intervention, la majeure partie des études mesure bien les compétences recherchées à des degrés variables. Les compétences les moins fréquemment évaluées sont la sécabilité de la chaîne numérique verbale et la décomposition (« soustraction » pré-arithmétique).

Cependant, une étude (Honore & Noel, 2016) sera analysée différemment car celle-ci n'a mesuré que les compétences relatives au « Sens du nombre ». Il convient de noter que cette notion n'a pas été abordée dans la partie introductive car elle ne fait pas partie des compétences qui apparaissent au fur et à mesure des apprentissages puisqu'il s'agit d'une compétence innée. Pour la définir, il s'agit de la capacité à se représenter la quantité d'un ensemble, ou discriminer deux quantités de manière non-verbale et imprécise (Xu et al., 2005). Par exemple, l'enfant est capable de percevoir qu'une quantité de deux objets est différente, voire inférieure à une quantité de 10 objets. Cette étude a néanmoins été retenue car, dans les sous-composantes du « Sens du nombre », la cardinalité peut être appréhendée à travers la tâche « Comparaison d'ensembles » où l'enfant doit estimer quelle quantité est la plus grande parmi deux ensembles présentés devant lui. La tâche « Comparaison de chiffres » est également intéressante pour estimer le degré de performance de l'enfant pour cette compétence. En outre, il convient de signaler que d'autres compétences du nombre ainsi que d'autres compétences n'ayant aucun rapport avec les mathématiques ont été évaluées dans certaines études ([Annexe 3.2](#)). Concernant le premier aspect, les sous-composantes mathématiques ont été rapportées dans la colonne « Autres » se trouvant dans l'annexe 3 mais que celles-ci ne serviront pas à l'analyse des résultats. Pour le deuxième aspect, les autres compétences n'ont pas été inventoriées dans le tableau.

Tableau 1 : *Table d'extraction des caractéristiques de la population* (suite [annexe 3.1](#))

Caractéristiques de la population			
	Mâge (mois)	Nombre de classes	Nombre d'enfants
Bojorque et al., 2018	62	/ (18 écoles)	355
Clarke et al., 2016	66,26	29	140
Cornu et al., 2019	64,9	10	125
Da Silva et al., 2017	60	/	57
Dillon et al., 2017	57	214	1540
Doabler et al., 2016	66	66	556
Gerholm et al., 2019	62,5	28	432
Honore & Noeel, 2016	69	/	56
Honore & Noeel, 2017	67	/	34
Karademir & Akman, 2019	60-72	3	57
McClelland et al., 2019	51	13	188
Miller, 2018	48-60	1	13
Navarrete et al., 2018	52	6	77
Passolunghi & Costa, 2016	60	/	48
Rosenfield et al., 2019	53	86	966
Schmitt et al., 2018	55,2	/	59
Szkudlarek & Brannon, 2018	54	7	158
Van den heuvel-Panhuizen & Elia & Robitzsch, 2016	62	50	384
Vogt et al., 2018	75	35	329

Note. Mâge(mois), Moyenne d'âge en mois.

Tableau 2 : Table d'extraction des compétences du nombre évalué en pré et post-intervention (suite [annexe 3.2](#))

	Compétence du nombre			Dénombrement	Cardinalité	Fonction de succession	Compétences pré-arithmétiques	
	Chaîne numérique verbale						Composition	Décomposition
	Comptine	Sécabilité	Number naming					
Bojorque et al., 2018	O	N	O	O	O	N	O	O
Clarke et al., 2016	O	N	O	O	N	N	O	O
Cornu et al., 2019	O	O	O	O	O	N	O	O
Da Silva et al., 2017	O	N	O	N	O	N	N	N
Dillon et al., 2017	N	N	O	O	N	N	N	N
Doabler et al., 2016	O	O	O	O	O	N	N	N
Gerholm et al., 2019	N	N	N	O	O	N	N	N
Honore & Noeel, 2016	N	N	N	N	N	N	N	N
Honore & Noeel, 2017	O	O	N	N	N	N	O	O
Karademir & Akman, 2019	O	N	O	O	O	N	O	O
McClelland et al., 2019	N	N	O	O	N	O (ordinality ou number order)	N	N
Miller, 2018	O	O	O	O	O	N	O	N
Navarrete et al., 2018	O	N	O	N	N	N	N	N
Passolunghi & Costa, 2016	O	O	O	O	N	N	N	N
Rosenfield et al., 2019	O	N	O	N	N	N	O	N
Schmitt et al., 2018	N	N	O	O	N	O(ordinality)	N	N
Szkudlarek & Brannon, 2018	O	N	O	N	O	O	O	N
Van den heuvel-Panhuizen et al., 2016	N	N	N	N	O	N	O	N
Vogt et al., 2018	N	N	N	N	O	O	O	O
Total	12	5	14	11	10	3	10	6

Tableau 3 : *Tableau d'extraction des données concernant les caractéristiques des programmes d'entraînement Partie 1 (Suite partie 2 dans [l'annexe 3.3](#))*

Caractéristiques des programmes d'entraînement (partie 1)												
	Type	Profession-nel	Grp/Individuel	Nbr d'enfant	Durée du programme (semaines)	Tps séances (min/jour)	par	Nombre de séances/semaines	Nombre de séances (total)	Matériel	Augmentation difficulté	S/N
Bojorque et al., 2018	C.	Professeur	G	Toute la classe + petits groupes	30	40		5	150	Building Block Program	N	**
Clarke et al., 2016	I.	Assistant/ Étudiants	G	4-5	16-20	20		3	50	ROOTS	N	*
Cornu et al., 2019	I.	Psychologue entraîné	G	Toute la classe	10	20		2	20	Compétences VSSP sur iPad	N	NS
Da Silva et al., 2017	I.	Assistants/ Étudiants/ Expérimentateur	G	small	5	40		2	10	Numeracy Musical training	N	**
Dillon et al., 2017	I.	Professeurs externes	G	6	16	60		1	16	Activités	O	*
Doabler et al., 2016	C.	Professeur	G	Toute la classe	30-32	45		5	150	ELM curriculum	N	**
Gerholm et al., 2019	C.	Professeur	G(SEMLA) et I(DIL)	6-8	6	30		4	24	SEMLA & DIL	N	**
Honore & Noel, 2016	I.	Expérimentateur	G	3	6	30		1-2	10	Non symbolic & symbolic training	O	**
Honore & Noel, 2017	I.	Expérimentateur	G	4-5	8	16		2	16	Working Memory Training	N	NS
Karademir & Akman, 2019	C.	Professeur	G	9-10	10	/		3	30	IBMAM	N	**
McClelland et al., 2019	C.	Professeur	G	Large	8	15-20		2	16	Self Regulation + comp. maths et de lecture	O	**
Miller, 2018	I.	Assistant recherche professeur	G et	6-7	2	20		5	10	Jeux interactifs sur l'iPad	O	NS

Navarrete et al., 2018	I.	Expérimentateur	G	12-20	2	20	3	6	Number spatial judgment	N	*
Passolunghi & Costa, 2016	I.	Expérimentateurs	G	5	5	60	2	10	Working memory vs. Early numeracy training	O	**
Rosenfield et al., 2019	C.	Professeur	G	10	10	2,5h/semaines	Organisation libre du professeur	Organisation libre du professeur	PBS kids transmedia et maths +: activité via média mais interactives entre professeur et élève	N	**
Schmitt et al., 2018	I.	Expérimentateurs	G	2-3	7	15-20	2	14	Blocks	O	NS
Szkudlarek & Brannon, 2018	I.	Expérimentateur	G	3-8	4 (27 jours)	12	2-3	10	Application ANS	N	NS
Van den heuvel-Panhuizen et al., 2016	C.	Professeur	G	Toute la classe	21	2 activités	Organisation libre	/	Reading picture book	N	**
Vogt et al., 2018	C.	Professeur	G	small (+- 10)	8	/	30	3 (24)	Activités basées sur le jeu	N	**

Note. C, Coaching ; I, interdisciplinaire ; G, groupe ; O, Oui ; N, Non ; S, Significatif ; NS, Non Significatif ; *, Effet significatif sur une partie des compétences en mathématiques évaluées ; **, effet significatif et spécifique de l'intervention sur l'ensemble des compétences en mathématiques évaluées.

2.3. Caractéristiques des programmes d'entraînement

En dernier lieu, pour ce qui est de l'intervention (I), les caractéristiques pour chaque programme d'entraînement mené ont été répertoriées (Tableau 3 et [Annexe 3.3](#)). Toutes les études, bien qu'elles ne comportent pas la mention d'Essai Contrôlé Randomisé, ont une répartition aléatoire, que ce soit au niveau des classes ou des enfants. Elles contiennent toutes un pré-test, un post-test et un groupe contrôle de référence qui ont fait d'autres activités sans rapport avec les mathématiques (lecture de livres, par exemple), ou bien qui ont continué le programme habituel (cas de la majorité des études). Parmi ces études, 8 disposent de deux groupes expérimentaux ayant tous deux subi deux interventions différentes ayant recouru à la même procédure de réalisation.

Par ailleurs, sur 19 études sélectionnées, 12 programmes travaillent (en partie) les compétences du nombre qui sont évaluées. En revanche, 7 programmes basent leur intervention sur un matériel ou des tâches qui ne travaillent pas directement les compétences du nombre : jeux de cubes, mémoire de travail, lecture de livre d'images, activités psychomotrices en groupes (SAMPLA) et seul (DIL), utilisation de matériel électronique avec des exercices sans rapport avec les compétences en mathématiques, compétences visuospatiales et activités visant à augmenter la curiosité et l'intérêt pour le monde qui entoure l'enfant. Puisque nous ne nous attarderons pas sur le type de tâches ou sur le matériel utilisé et qu'il est donc difficile de regrouper les études pour ce critère, il convient de signaler que pour la majeure partie des études, les séances ont été administrées sous forme de jeux ou d'activités ludiques, différents des exercices qui sont retrouvés dans les programmes scolaires habituels.

Aussi, 3 études ont eu recours à deux post-tests (allant de 5 semaines à 9 mois après l'intervention) et 1 étude à trois post-tests (jusqu'à 12-15 mois après l'intervention).

Enfin, il convient de revenir sur le type d'intervention identifiée et les intervenants. Aucune intervention de type multidisciplinaire (expérimentateur venant administrer l'intervention à un seul enfant) ou transdisciplinaire (l'expérimentateur et le professeur de classe se partagent le même rôle et administrent tous les deux l'intervention à l'ensemble de la classe ou en groupe) n'a été répertoriée dans l'analyse finale. En réalité, aucune intervention transdisciplinaire n'a même été identifiée au cours de la lecture des articles. Ainsi, les interventions les plus fréquentes dans cette synthèse méthodique sont les études de type interdisciplinaire (n=11) et coaching (n=8). Concernant les intervenants, les professeurs de classe (« teachers ») sont ceux qui administrent l'intervention de type coaching tandis que les interventions interdisciplinaires

sont principalement administrées par des chercheurs, assistants chercheurs ou des professionnels/professeurs externes entraînés (expérimentateurs), mais où le professeur garde son rôle dans la classe et continue à donner son cours habituel.

3. Risques de biais relatifs aux études

Conformément à la liste CONSORT 2010 revisitée (Gedda, 2015a), les 19 études ont été évaluées afin de déterminer leur niveau de preuve, c'est-à-dire leur qualité et leur fiabilité en termes de construction de l'article et d'informations rapportées. Cette liste est composée de sept sections (Titre et Résumé ; Introduction ; Méthodologie ; Randomisation ; Résultats ; Discussion ; Informations supplémentaires) qui sont elles-mêmes composées de plusieurs sous-sections propres à chacune pour constituer un total de 37 items sur lequel il convient de s'appuyer pour évaluer une étude de type essai contrôlé randomisé (le détail de ces items se trouve dans l'[annexe 4](#)). Pour chaque item évalué, la mention « Oui, Non ou Non Application » a été rapportée : le nombre de Oui a permis de déterminer le score à chaque section et le score total représenté dans le Tableau 4 (version abrégée de la grille, sans les items). Concernant le score total, il a été subdivisé en cinq catégories pour déterminer le niveau de preuve. Ainsi, les articles obtenant des scores allant de 37 à 32 seront considérés comme ayant un **très bon** niveau de preuve, ceux obtenant un score allant de 31 à 27 seront considérés comme ayant un **bon** niveau de preuve, ceux obtenant des scores allant de 26 à 22 seront considérés comme ayant un niveau de preuve **moyen**, ceux obtenant des scores allant de 21 à 16 seront considérés comme ayant un niveau de preuve **faible** et, enfin, ceux qui obtiennent un score inférieur à 15 seront considérés comme ayant un niveau de preuve **insuffisant**. Les résultats des scores seront tout d'abord évoqués. Ensuite, les résultats par section seront approfondis afin de déterminer les critères qui sont le plus souvent absents, non appliqués et respectés.

En ce qui concerne le score total, les résultats montrent qu'une seule étude aurait un très bon niveau de preuve (Gerholm et al., 2018) et seulement une étude aurait un bon niveau de preuve (van den Heuvel-Panhuizen et al., 2016). Cependant, 11 articles obtiennent des scores qui les qualifient comme ayant un niveau de preuve moyen (Bojorque et al., 2018; B. Clarke, Doabler, Smolkowski, Baker, et al., 2016; Cornu et al., 2019; Da Silva et al., 2017; Karademir & Akman, 2019; McClelland et al., 2019; Navarrete et al., 2018; Rosenfeld et al., 2019; Schmitt et al., 2018; Szkudlarek & Brannon, 2018; Vogt et al., 2018). Enfin, 6 articles sont considérés comme ayant un niveau de preuve faible (Dillon et al., 2017; Doabler et al., 2016; Honore &

Noel, 2016; Honore & Noel, 2017; Miller, 2018; Passolunghi & Costa, 2016). Aucun article n'a eu de score inférieur à 15, ce qui signifie qu'aucun article n'est considéré comme ayant un niveau de preuve insuffisant. Il convient de noter que, parmi les 19 articles sélectionnés pour cette analyse, seulement trois d'entre eux portent la mention d'« Essai contrôlé randomisé » dans le titre. Le reste des références ne mentionnent pas le type d'étude dans le titre, mais toutes comportent une intervention avec un groupe expérimental et un groupe contrôle dont la répartition s'est effectuée de manière aléatoire. Or, deux de ces études réellement qualifiées d'« essai contrôle randomisé » (Rosenfeld et al., 2019; Schmitt et al., 2018) affichent un niveau de preuve moyen, ce qui est interpellant. En effet, nous pourrions nous attendre à une meilleure fiabilité et qualité d'article pour ces études car ce sont celles qui correspondent le mieux à la liste CONSORT. En revanche, le fait que l'étude de Gerholm et al., (2018) a un très bon niveau de preuve n'est pas étonnant puisque, non seulement elle comporte la mention d'« essai contrôlé randomisé », mais elle suit également la liste de critères CONSORT (indiqué dans le Résumé). Il convient alors de mentionner que cet article perd quelques points de crédibilité uniquement car les critères n'étaient pas applicables pour cette étude.

Ensuite, de manière plus précise, parmi les items composant les sections, ceux qui sont le moins respectés sont : l'identification en tant qu'« essai randomisé » (1a)⁹ ; la description du plan de l'essai (3a) : les mécanismes pour mettre en œuvre la séquence la répartition randomisé en décrivant chaque mesure prise pour masquer cette répartition (9) ; qui a généré la séquence d'allocation, qui a enrôlé les participants et qui a assigné les participants à leurs groupes (10) ; qui a été aveugle après assignation des interventions et quelle stratégie utilisée pour mettre cela en place (11a) ; l'abandon et exclusion des participants après randomisation avec les raisons pour chaque groupe (13a) ; les dates définissant les périodes de recrutement et le suivi (14a) ; tous les risques importants ou effets secondaires inattendus dans chaque groupe (19) ; et de manière générale, la section « Informations supplémentaires » (23, 24, 25). Pour cette dernière section, les informations sont considérées utiles mais pas importantes. Aussi, certains items ont été considérés comme absents (donc, non-applicables) car ils ne semblaient pas correspondre à l'étude menée dans les articles. Parmi ceux-ci, les items qui ont été le plus identifiés comme non-applicables sont : les changements quelconques de critères de jugement après le début de l'essai avec les raisons (6b) ; explications des analyses intermédiaires et des règles d'arrêt (7b) ; et description de la similitude des interventions (11b). En effet, pour l'item numéro 7b, puisqu'il s'agit d'un programme d'entraînement administré en classe (et non d'un traitement

⁹ Numéros associés aux items.

médicamenteux comme la plupart des essais contrôlés randomisés), il n'y avait pas d'analyses intermédiaires ni de règles d'arrêt car l'objectif de chaque étude est de voir la progression entre le début et la fin de l'intervention, et parce que l'intervention ne comporte pas d'éléments « dangereux » qui nécessiteraient ce genre de règles. Pour l'item numéro 11b, la plupart des interventions étaient uniques et ne comportaient pas d'autres groupes expérimentaux. Mais, pour les études qui étaient composées de plusieurs groupes expérimentaux, la similitude entre les interventions a été explicitée. Enfin, parmi les critères les plus souvent respectés, nous retrouvons : le résumé/l'abstract (1b) ; l'Introduction dans son ensemble (2a et 2b) ; les structures et lieux de recueil des données (4b) ; les interventions pour chaque groupe avec suffisamment de détails (5) ; les critères « a priori » de jugement principal et secondaire entièrement définis, en incluant comment et quand ils ont été évalués (c'est-à-dire, les différentes mesures des pré-tests et pos- tests) (6a) ; la détermination de la taille de l'échantillon (7a) ; la description des méthodes statistiques utilisées pour comparer les groupes (12a) ; le nombre de participants pour chaque groupe dans le tirage au sort (13a) ; les raisons de la fin de l'essai (14b) ; les résultats pour chaque critère de jugement (17a) ; et, de manière générale, la discussion (20,21,22). Il convient de signaler deux points. Premièrement, le critère 14b a été considéré comme respecté car la fin de l'« essai » se détermine par la fin du programme d'intervention administré. Deuxièmement, trois études n'ont pas évoqué les limites dans la partie Discussion. Les biais potentiels qui pouvait alors être mis en évidence ne pourront donc pas être pris en compte dans la discussion finale de ce mémoire.

En résumé, les études sélectionnés ont un niveau de preuve globalement moyen, ce qui est suffisant pour une synthèse méthodique. Parmi les sections évaluées, celle qui est le moins respectée est la « Randomisation ». En effet, les auteurs restent vagues concernant cette méthodologie et se contentent généralement de décrire l'allocation des groupes mais sans rentrer dans le détail de la procédure de randomisation.

Tableau 4 : Grille d'évaluation du niveau de preuves abrégé pour chaque étude selon la liste CONSORT 2010 revisitée par Gedda, (2015a)

	Titre résumé	et	Introduction	Méthodologie	Randomisation	Résultats	Discussion	Informations supplémentaire	Score Total /37
Bojorque et al., 2018	1/2		2/2	5/9	4/8	6/10	3/3	3/3	24
Clarke et al., 2016	1/2		2/2	6/9	5/8	6/10	3/3	0/3	23
Cornu et al., 2019	1/2		2/2	6/9	5/8	8/10	3/3	0/3	25
Da Silva et al., 2017	1/2		2/2	7/9	6/8	5/10	3/3	0/3	24
Dillon et al., 2017	1/2		2/2	5/9	3/8	3/10	1/3	3/3	18
Doabler et al., 2016	1/2		2/2	5/9	4/8	5/10	3/3	0/3	20
Gerholm et al., 2019	1/2		2/2	7/9	8/8	9/10	3/3	3/3	33
Honore & Noel, 2016	2/2		2/2	3/9	3/8	5/10	2/3	0/3	17
Honore & Noel, 2017	1/2		2/2	4/9	3/8	6/10	3/3	0/3	19
Karademir & Akman, 2019	1/2		2/2	6/9	5/8	8/10	2/3	0/3	24
McClelland et al., 2019	1/2		2/2	5/9	3/8	7/10	3/3	1/3	22
Miller, 2018	1/2		2/2	5/9	3/8	6/10	3/3	1/3	21
Navarrete et al., 2018	1/2		2/2	5/9	6/8	5/10	3/3	1/3	23
Passolunghi & Costa, 2016	0/2		2/2	5/9	3/8	6/10	3/3	0/3	19
Rosenfield et al., 2019	2/2		2/2	7/9	4/8	8/10	3/3	0/3	26
Schmitt et al., 2018	2/2		2/2	7/9	4/8	6/10	3/3	1/3	25
Szkudlarek & Brannon, 2018	1/2		2/2	6/9	3/8	6/10	3/3	1/3	22
Van den heuvel-Panhuizen et al., 2016	1/2		2/2	6/9	6/8	9/10	3/3	1/3	28
Vogt et al., 2018	1/2		2/2	5/9	6/8	5/10	2/3	2/3	23

4. Résultats de chaque étude

Tout d'abord, il convient de signaler que certaines données ont été inventoriées à titre indicatif et qu'il n'a pas semblé pertinent de les inclure dans l'interprétation des résultats, soit car elles ne permettaient pas de généraliser certains résultats (manque de données comme le nombre de classes, par exemple), soit parce qu'elles n'ont finalement pas paru pertinentes pour l'interprétation des résultats.

Ensuite, pour un souci de compréhension, les effectifs et les âges de la population ont été catégorisés. Ainsi, les effectifs allant de 1 à 50 enfants sont considérés comme des « petits » effectifs, ceux allant de 51 à 100 enfants sont considérés comme des effectifs « moyens », ceux allant de 101 à 500 sont considérés comme de « larges » effectifs et, enfin, ceux allant au-delà de 501 sont considérés comme un « très large » effectif. Pour les moyennes d'âge, ils ont été regroupés en trois tranches d'âges : 48-60, 61-72 et au-delà de 73 mois. Respectivement, ces âges correspondront à la catégorie « jeunes », « moyen » et « avancé ».

Enfin, les résultats par étude seront présentés de la manière la plus synthétique possible en deux temps : la première partie fait référence aux études dont l'intervention a eu un effet significatif sur la moitié des compétence évaluées a minima et la deuxième regroupera les études où le programme n'a pas eu d'effet significatif et spécifique. Au total, des résultats significatifs sont observés dans 14 études et 5 études n'ont pas montré d'effet significatif de l'intervention. Enfin, pour une question pratique, les études seront présentées par ordre alphabétique en fonction du nom du premier auteur.

4.1. Etudes ayant un effet significatif de l'intervention :

Dans l'étude de Bojorque et al., (2018), on trouve une large population d'enfants d'âge moyen dans 8 écoles de maternelle répartis en deux groupes : 9 écoles dans le « Building blocks program » et 9 dans le groupe contrôle. Ce programme d'entraînement se compose de sessions quotidiennes de 40 min par jour et dure 30 semaines (toute l'année scolaire). Elles sont administrées à l'ensemble de la classe par le professeur (intervention de type coaching) qui a été préalablement familiarisé avec l'outil, (ce qui fait un total de 150 sessions en tout dans le programme). Les auteurs concluent à une amélioration des performances entre le pré-test et le post-test et que, bien que les performances entre les deux groupes ne diffèrent pas au pré-test,

il y a une différence significative en faveur du groupe expérimental pour l'ensemble des compétences évaluées (la comptine numérique, la reconnaissance du nombre, le dénombrement, la cardinalité et les compétences pré-arithmétiques). Dans les prochaines synthèses d'étude, nous parlerons d'effet significatif, et éventuellement, spécifique de l'intervention pour mentionner ce fait.

Dans l'étude de Clarke et al., (2016), 50 sessions d'entraînement ont été administrées à des enfants d'âge moyen, issus d'un large échantillon, dont la randomisation s'est effectuée au niveau des classes. Les sessions ont été assurées par un assistant ou un étudiant chercheur (intervention interdisciplinaire) 20 minutes par jour, 3 fois par semaines et pendant 16-20 semaines pour un groupe de 4-5 enfants. Selon les résultats, il semblerait qu'il y ait un effet significatif et spécifique de l'intervention pour les compétences pré-arithmétiques et celles relatives à la comptine numérique.

Dans l'étude Da Silva et al., (2017), un petit échantillon de jeunes enfants a été réparti soit dans un groupe expérimental allant recevoir une intervention sur base d'un entraînement numérique musical, soit dans un groupe contrôle. Le programme a été administré par des assistants/étudiants à un « petit »¹⁰ groupe d'enfant (intervention interdisciplinaire) à mesure de deux fois par semaine durant 5 semaines (un total de 8 sessions ont été données), pendant 40 minutes par jours. Selon les résultats, les auteurs observent un effet significatif de l'intervention en faveur du groupe expérimental pour les compétences en comptine numérique.

Dans l'étude de Dillon et al., (2017) une très large population de jeunes enfants a été répartie dans trois groupes : un groupe expérimental recevant une intervention en mathématiques, un autre groupe expérimental recevant une intervention mathématique associée à des activités relatives aux compétences socio-émotionnelles et un groupe de référence ne recevant aucune intervention. Les intervenants qui administrent le programme sont des professeurs extérieurs déjà entraînés (intervention interdisciplinaire). Les enfants reçoivent l'intervention pendant 16 semaines, à raison d'une heure par jour une fois par semaine (16 sessions en tout) et par groupe de 6. Les séances augmentent en difficulté au fur et à mesure des semaines et trois post-tests ont lieu entre 0-3 mois, 6-9 mois et 12-15 mois après l'intervention. Finalement, il semblerait qu'il y ait un effet significatif de l'intervention sur les compétences en mathématiques dans

¹⁰ Pas de mention du nombre exact d'enfants dans le groupe (« small »).

l'ensemble (« compétences symboliques¹¹ » citées dans l'articles et qui s'apparentent à celles qui sont recherchées) et cet effet perdure dans le temps bien qu'il soit amoindri.

L'étude de Doabler et al., (2016) est une étude de type coaching où les professeurs administrent le programme d'entraînement à un groupe expérimental issu d'un très large échantillon d'enfants d'âge moyen. Les sessions se déroulent 5 jours par semaine toute l'année (30-32 semaines) à raison de 45 minutes par jour (150 sessions en tout dans le programme). Des mesures ont été réalisées avant, pendant et après le programme. Pour des questions pratiques de comparaison des résultats, l'intérêt a été porté uniquement sur les mesures avant et après l'intervention. Ainsi, il se pourrait qu'il y ait un effet significatif et spécifique de l'intervention pour une seule des batteries de tests administrée, évaluant les compétences en comptine numérique et les compétences pré-arithmétiques.

L'étude de Gerholm et al., (2018) est une intervention de type coaching administrée à deux groupe expérimentaux. Un large échantillon d'enfants d'âge moyen a été réparti en trois groupes : un groupe où l'apprentissage se fait en groupe de 6-8 enfants, un groupe où l'apprentissage se fait de manière individuelle et un groupe de référence. Dans les deux groupes expérimentaux, l'intervention a été effectuée par le professeur à mesure d'une demi-heure par jour, plus ou moins 4 fois par semaine durant 6 semaines (total de 24 sessions en tout). Selon les résultats, il semblerait qu'il y ait un effet significatif de l'intervention sur les deux groupes expérimentaux concernant l'ensemble des compétences du nombre évaluées (dénombrement, cardinalité, fonction de succession), avec un effet moindre pour l'intervention réalisée en groupe.

L'étude d' Honore et Noel, (2016) est une intervention interdisciplinaire où les expérimentateurs ont administré des sessions de jeu à des enfants d'âge moyen, issus d'un échantillon moyen, à raison de 30 minutes par jour, 1 ou 2 fois par semaine et ce, pendant 6 semaines (environ 10 sessions en tout). Les enfants ont été répartis en trois groupes : un groupe expérimental travaillant les compétences symboliques, un groupe expérimental travaillant les compétences non symboliques¹² et un groupe contrôle. Les sessions se faisaient par groupe de 3 et la difficulté des exercices augmentait au fur et à mesure de celles-ci. Selon les résultats, il semblerait que l'intervention ait été efficace pour un seul des deux groupes (celui ayant travaillé les compétences symboliques). Il convient de noter que cette étude n'évalue que le sens du

¹¹ **Compétences symboliques** : l'ensemble des compétences algébriques, chiffrées (Lemer et al., 2003).

¹² **Compétences non-symboliques** : font référence à des concepts imagées, comme des ensembles de points (Lemer et al., 2003)

nombre et qu'elle a été retenue pour les tâches de « Comparaison d'ensemble (symbolique) » et de « Comparaison de chiffres » qui évaluent les compétences en cardinalité. Donc, les résultats montrent un effet significatif de l'intervention (compétences symboliques) pour les compétences en cardinalité chez l'enfant.

L'étude de Karademir et Akman, (2019) évalue un effectif moyen d'enfants d'âge moyen réparti aléatoirement en trois groupes : un groupe expérimental recevant l'intervention, un groupe contrôle et un groupe placebo auquel on administrera des activités mais qui n'ont pas pour but premier d'améliorer les compétences du nombre. Ainsi, le programme d'entraînement se déroule durant 10 semaines, en groupe de 9-10 élèves, 3 fois par semaine (30 sessions/activités en tout). Dans cette étude, le temps de chaque séance n'a pas été mentionné : il se pourrait qu'il n'y ait pas de temps limite et que cela dépendrait entièrement de l'organisation libre du professeur (intervention coaching). Donc, il semblerait qu'il y ait un effet significatif, spécifique et durable de l'intervention pour l'ensemble des compétences évaluées (comptine numérique, number naming, dénombrement, cardinalité et compétences pré-arithmétiques).

Dans l'étude de McClelland et al., (2019), un large échantillon de jeunes enfants a été réparti en trois groupes : un groupe expérimental qui travaillera la régulation émotionnelle¹³, un groupe expérimental associant à la fois une intervention sur la régulation émotionnelle et sur les compétences en mathématiques et en lecture, et un groupe contrôle. Le programme a été administré par le professeur et les élèves ont été divisés en « large »¹⁴ groupe pendant un total de 8 semaines, à mesure de deux séances par semaine (16 sessions en tout) et de 15-20 minutes par jour. La complexité des tâches augmente au fur et à mesure des sessions. Selon les résultats, il semblerait qu'il y ait un effet significatif des deux interventions (avec la même procédure) sur les compétences du nombre évaluées qui sont le dénombrement, la fonction de succession (ordinalité) et le number naming.

L'étude de Navarrete et al., (2018) évalue un échantillon moyen de jeunes enfants (répartis en un groupe expérimental et en un groupe de référence) après une intervention interdisciplinaire où les expérimentateurs administrent au groupe expérimental et par groupe de 12 à 20, un total de 6 sessions (3 par semaine) à raison de 20 minutes par jour pendant 2 semaines. Les résultats semblent montrer un effet significatif et spécifique de l'intervention en

¹³ **Régulation émotionnelle** : capacité que possède l'être humain à gérer ses émotions (Westphal & Bonanno, 2004).

¹⁴ Pas de nombre exact d'enfants mentionnés dans l'étude (« large »).

faveur du groupe expérimental pour les compétences du nombre telles que la comptine numérique et l'identification du nombre (number naming),

L'étude de Passolunghi et Costa, (2016) met en place une intervention interdisciplinaire où un expérimentateur administre à plusieurs groupes de 5 jeunes enfants issus d'un petit échantillon, 2 sessions par semaine d'une heure pendant 5 semaines (10 séances en tout). La complexité des activités augmentait au fur et à mesure des sessions. L'échantillon a été réparti en trois groupes (les deux groupes expérimentaux suivant la même procédure au niveau du protocole d'intervention mais n'ayant pas la même thématique) : un groupe reçoit l'entraînement sur base de la mémoire de travail, l'autre groupe reçoit l'entraînement des compétences numériques et le dernier groupe ne reçoit aucune intervention. Selon les résultats, il semblerait qu'il y ait un effet significatif des deux interventions sur l'ensemble des compétences du nombre évaluées (la chaîne numérique verbale et le dénombrement).

Dans l'étude de Rosenfeld et al., (2019), un très large échantillon de jeunes enfants a été réparti en trois groupes de 10 enfants: un groupe recevant collectivement un entraînement en mathématiques, un autre groupe recevant un entraînement individuel en mathématiques via du matériel technologique et un groupe contrôle. Les sessions duraient deux heures et demie par semaine, pendant 10 semaines, selon la libre organisation du professeur (coaching). Les résultats semblent aller dans le sens d'un meilleur bénéfice de l'intervention en mathématiques organisée par groupe, par rapport à l'intervention individuelle et au groupe contrôle, sur l'ensemble des compétences du nombre évaluées (comptine numérique, number naming et l'addition pré-arithmétique, c'est-à-dire la composition).

L'étude de van den Heuvel-Panhuizen et al., (2016) est une intervention où le professeur administre à l'ensemble de sa classe (coaching) un programme d'entraînement sur 3 mois (21 semaines) à raison de deux activités réparties dans la semaine selon une organisation libre du professeur. Il s'agit d'un large échantillon d'enfants d'âge moyen, composé d'un groupe expérimental et d'un groupe contrôle, dont la répartition s'est effectuée au niveau des écoles. Selon les résultats, il semblerait qu'il y ait un effet spécifique et significatif de l'intervention en faveur du groupe expérimental concernant la cardinalité et la composition (addition pré-arithmétique).

Enfin, dans l'étude de Vogt et al., (2018), un large échantillon d'enfants en âge avancé a été réparti en trois groupes : un groupe où le programme est basé sur le jeu, un autre groupe où le programme est basé sur l'entraînement en mathématiques et un groupe contrôle. L'intervention a été menée par des éducateurs entraînés qui ont administré le programme à des « petits »

groupes d'environ 10 élèves. Elle a duré 8 semaines et les séances se déroulaient 3 fois par semaine à raison de 30 minutes par séance (total de 24 sessions). Il semblerait qu'il y ait un effet significatif et spécifique de l'intervention en faveur du groupe expérimental concernant l'ensemble des compétences en mathématiques évaluées (fonction de succession-ordinalité, cardinalité, compétences pré-arithmétique). Cependant, lorsque l'échantillon est séparé en fonction des performances au pré-test et que les résultats après l'intervention sont comparés, l'analyse montre un effet bénéfique encore plus important en faveur des enfants considérés comme ayant des faiblesses en mathématiques. Les auteurs observent que l'intervention serait utile pour l'ensemble des enfants mais qu'elle profite davantage aux enfants ayant des faiblesses.

4.2. Etudes n'ayant pas eu d'effet significatif de l'intervention :

Dans l'étude de Cornu et al., (2019), un échantillon moyen d'enfants d'âge moyen a été réparti en un groupe expérimental et un groupe contrôle. Le groupe expérimental a reçu une intervention de type interdisciplinaire administrée par un psychologue à l'ensemble de la classe à raison de 2 séances de 20 minutes par semaine pendant 10 semaines (20 sessions en tout). Les résultats ne montrent pas d'effet spécifique et significatif de l'intervention sur les compétences du nombre évaluées (acquisition de la chaîne numérique verbale, dénombrement, cardinalité et compétences pré-arithmétiques).

L'étude d'Honore et Noel, (2017) s'effectue sur un petit échantillon d'enfants d'âge moyen et se déroule en groupe de 4-5 élèves. L'intervention interdisciplinaire a été administrée à raison de 2 sessions par semaines pendant 20 minutes et ce, durant 8 semaines (16 sessions en tout). Les résultats ne démontrent pas d'effet significatif de l'intervention sur les compétences du nombre évaluées (comptine numérique, sécabilité de la chaîne et compétences pré-arithmétiques). Un deuxième post-test a été réalisé six mois plus tard, mais les résultats restent inchangés.

L'étude de Miller, (2018) est une intervention de type interdisciplinaire réalisée sur une petite population de jeunes enfants. Elle a été administrée par un chercheur assistant à des groupes de 6-7 élèves, à raison de 5 séances de 20 minutes par semaine durant 4 semaines et demie. L'intervention était basée sur des jeux interactifs dont la complexité augmentait au fur et à mesure des séances. Finalement, les résultats ne montrent aucun effet significatif du

programme sur les compétences du nombre évaluées (acquisition de la chaîne numérique verbale, dénombrement, cardinalité et composition).

L'étude de Schmitt et al., (2018) est également une intervention de type interdisciplinaire menée par un expérimentateur auprès de groupes de 2-3 jeunes enfants, issus d'un échantillon de taille moyen. Ainsi, les élèves reçoivent des sessions d'entraînement deux fois par semaine pendant 15-20 minutes et ce, durant 7 semaines (14 sessions en tout). La complexité des sessions a augmenté au fur et à mesure des semaines. Cependant, les résultats ne montrent pas d'effets significatifs et spécifiques de l'intervention sur les compétences du nombre évaluées (number naming, dénombrement, fonction de succession-ordinalité).

Enfin, dans l'étude de Szkudlarek et Brannon, (2018), un large échantillon de jeunes enfants a été réparti en deux groupes : un groupe expérimental et un groupe contrôle. L'intervention est de type interdisciplinaire et a été administrée par un expérimentateur à des groupes allant de 3 à 8 enfants durant 4 semaines, à raison de 2-3 séances par semaine pendant 12 minutes (environ 10 sessions en tout). Les auteurs n'observent aucun effet significatif de l'intervention sur les compétences du nombre évaluées pour l'ensemble de cet échantillon (comptine numérique, number naming, cardinalité, fonction de succession et composition). En revanche, une analyse a posteriori séparant l'échantillon sur la base des compétences au pré-test semble montrer des résultats significatifs et spécifiques de l'intervention en faveur des enfants identifiés comme ayant des compétences faibles en mathématiques.

5. Résultats et analyse des données

5.1. Détails des résultats

Les résultats ont été répertoriés dans un tableau croisé dynamique ([Annexe 5](#)) et seront explicités en trois sections. Une première section abordera le nombre d'études le plus souvent retrouvées pour chaque caractéristique des interventions décrites dans le tableau d'extraction (Tableau 3, pp.33-34). Une deuxième section expliquera les caractéristiques le plus souvent retrouvées en fonction du type d'intervention administrée. Et une troisième section évoquera les compétences du nombre évaluées correspondant aux critères mis en avant dans le tableau d'extraction. Ces mêmes sections s'articuleront en deux ou trois parties. La première abordera en premier lieu les résultats de manière générale, significatifs et non significatifs confondus, et ensuite, les résultats des études divisés en fonction de l'effet de l'intervention seront expliqués.

Les deuxième et troisième sections aborderont les résultats des études significatives et non significatives séparément. A ce stade, il ne semblait pas pertinent d'inclure les données globales des 19 études car elles ne permettaient pas une généralisation des observations. Afin de garantir une meilleure compréhension, les analyses seront subdivisées suivant l'ordre cohérent du principe PICO. Ainsi, pour chaque première sous-partie, les résultats concernant les caractéristiques des programmes d'intervention (I) seront présentés. Ensuite, en deuxième sous-partie, les résultats concernant l'amélioration des compétences du nombre seront abordés (O). Enfin, les résultats faisant référence à la population seront évoqués (P).

Certains résultats ont été rassemblés en catégories afin d'avoir une interprétation plus pertinente, claire et structurée. Ainsi, pour ce qui est des caractéristiques de la population, la taille de l'échantillon et l'âge gardent la même catégorisation que celle expliquée dans les résultats de chaque étude. Concernant les programmes d'intervention, le nombre d'enfant par groupe a été subdivisé en trois catégories : les « petits » groupes (« small ») faisant référence aux groupes constitués de 1 à 10 enfants, les groupes « larges » sont constitués de 11 à 20 enfants et l'expression « Toute la classe » fait référence à des groupes de plus de 21 enfants. Aussi, les critères tels que le temps par séance, la durée du programme et le nombre de séances au total ont également été regroupés par sous-ensembles pertinents.

Il convient de noter que ces résultats ont été élaborés sur la base d'analyses descriptives et qualitatives.

5.1.1. Généralités des interventions

5.1.1.1. *Résultats confondus*

Premièrement, les principaux résultats pour l'ensemble des études ([Annexe 5.1.1](#)) semblent montrer qu'une majorité des interventions étaient de type interdisciplinaire (n=11), se déroulaient sur un petit groupe (« small » ; n= 13), pour une durée de 10-20 minutes par jour¹⁵ (n=9) trois fois par semaines (n=4) pendant 5 à 8 semaines (n=8). Le nombre total de séances est généralement de 1 à 10 séances et globalement, il n'y a pas d'augmentation des difficultés des tâches au fur et à mesure des sessions.

¹⁵ Le temps par séance a été interprété sur la base de 17 études car une intervention ne mentionnait pas ce critère et l'autre s'organisait en 2 activités par semaines.

Deuxièmement, les compétences du nombre les plus fréquemment évaluées dans les 19 références analysées sont la comptine numérique (n=12), le number naming (n=14) le dénombrement (n=11), la cardinalité (n=10) et la composition (n=10).

Troisièmement, la majorité des études portent sur des enfants de 61 à 72 mois (n=11) et sont réalisées à partir d'un large échantillon (101-500 enfants ; n=8).

5.1.1.2. Résultats des études ayant eu un effet significatif de l'intervention

Parmi les études ayant eu un effet significatif (n=14), les premières données ([Annexe 5.1.1](#)) des programmes d'entraînement semblent montrer que l'efficacité d'une intervention tend à augmenter avec le nombre de semaines d'administration du programme (25% de réussite si le programme dure moins d'un mois), dès que la séance dure plus de 30 minutes par jour et qu'elle est appliquée 3 fois par semaine (réussite des interventions avoisinant ou atteignant les 100% au-delà de tous ces critères) et dès qu'elle est de type coaching (100% des interventions coaching réussies). Les résultats semblent également indiquer que, plus il y a de sessions administrées au total, plus l'intervention s'avère efficace (30% de réussite des programmes au-delà de 30 sessions en tout). Concernant le nombre d'élèves par groupe, il semblerait qu'administrer l'intervention sur un large groupe d'étudiants serait le plus efficace parmi les études ayant eu un effet significatif (les deux études avec large groupe ont montré des effets significatifs = 100%), comparé aux deux autres catégories de groupes d'élèves (69% pour les petits groupes et 75% pour l'ensemble de la classe). Cependant, cette dernière observation n'est pas vraiment pertinente puisque le nombre d'études significatives sur petit groupe est fortement supérieur (64%) à celles réalisées sur large groupe (14%) ou sur l'ensemble de la classe (21%). Pour ce qui est de l'augmentation de la difficulté des séances, les résultats ne présentent pas de différences (66% pour l'augmentation de la difficulté et 69% pour des séances dont la difficulté ne change pas). De plus, concernant le matériel utilisé¹⁶, la majeure partie des études avec effet significatif de l'intervention étaient des études qui ont travaillé les compétences évaluées (65% contre 35% des études qui n'ont pas travaillé les compétences évaluées).

¹⁶ Le matériel utilisé sera brièvement analysé dans les deux premières sections uniquement car une analyse approfondie selon les compétences mathématiques reviendrait à comparer spécifiquement l'effet de chaque matériel/outil sur ces compétences. Or, ce n'est pas le but de ce mémoire.

Concernant les compétences du nombre évaluées et parmi les études ayant eu un effet significatif de l'intervention, aucune compétence ne s'est avérée comme étant la mieux réussie par rapport à une autre.

Quant à la population, les interventions semblent être efficaces au fur et à mesure qu'augmente l'effectif, ce qui est un bon critère méthodologique puisque la taille d'un échantillon est un bon indicateur de fiabilité des études. Concernant l'âge de l'échantillon, les résultats ne semblent pas se différer selon les catégories.

5.1.1.3. Résultats des études n'ayant pas eu d'effet significatif de l'intervention

Sur les 5 études n'ayant pas montré d'effet significatif de l'intervention, toutes étaient de type interdisciplinaire ([Annexe 5.2.1](#)) et ont été administrées avec un temps par séance majoritairement très court (10 à 20 minutes). Les résultats ne paraissent pas indiquer une quelconque particularité concernant la durée de l'intervention, avec un nombre de sessions par semaine variant de 2 à 5. Cependant, le nombre de séances administrées au total ne semble pas très élevé (maximum 20 sessions en tout). Donc, ces résultats semblent montrer que les interventions interdisciplinaires avec une durée inférieure à 20 minutes et un total de sessions relativement faible par rapport aux interventions qui ont eu un effet significatif, sont moins profitables au transfert des compétences du nombre. De plus, concernant le matériel utilisé, 60% des études n'ont pas travaillé les compétences évaluées.

Concernant les compétences du nombre, celles qui sont majoritairement évaluées dans les études non significatives sont la comptine numérique, le number naming et la composition (4 sur 5). Les compétences les moins évaluées pour ces études sont la fonction de succession et la décomposition. Le dénombrement, la cardinalité et la séabilité sont moyennement évaluées.

Pour ce qui est des caractéristiques de la population, la majeure partie des échantillons étaient composés d'un large effectif. Aucune différence concernant l'âge n'a été trouvée.

5.1.2. Résultats des études en fonction du type d'intervention

5.1.2.1. Etudes où l'intervention a eu un effet significatif ([Annexe 5.1.1](#))

Premièrement, pour la majorité des deux interventions nous retrouvons un effet significatif lorsqu'elles étaient réalisées avec **des petits groupes d'enfants** (50% pour l'intervention coaching et 83% pour l'intervention interdisciplinaire) durant une période **de 5 à 8 semaines** (100% des interventions réussies à partir de 1 mois). L'augmentation de la complexité des séances ne semble pas profitable ni pour l'une, ni pour l'autre intervention. Concernant les interventions de type coaching, la majorité des programmes ont été appliqués à raison de 30 minutes minimum par jour, 3 fois par semaine ou selon l'organisation libre du professeur. Pour ce qui est des interventions de type interdisciplinaire, elles ont principalement été menées à raison de 10-20 minutes ou entre 45 minutes et une heure, pendant 2 ou 3 fois par semaine. Ces données suggèrent que l'efficacité d'une intervention, quelle qu'elle soit, semble plus importante lorsqu'elle s'effectue sur des petits groupes d'enfants, 3 fois par semaine et sur une période minimum de 5 à 8 semaines. En revanche, alors que l'intervention de type coaching semble s'avérer la plus profitable si elle est réalisée durant 30 minutes minimum pour chaque session, l'intervention interdisciplinaire serait plus efficace avec un temps par session soit très court, soit très long. Pourtant, aucune différence selon le type d'intervention n'a été trouvée entre les études travaillant les compétences qu'elles évaluent et celles ne les travaillant pas.

Concernant les compétences du nombre évaluées, les interventions de type coaching ayant eu un effet significatif de l'intervention, semblent principalement avoir évalué la comptine numérique, le number naming, le dénombrement, la cardinalité, la fonction de succession et la composition. Pour ce qui est des interventions interdisciplinaires, elles semblent avoir majoritairement évalué les compétences du nombre telles que la comptine numérique, le number naming et le dénombrement. Ces résultats pourraient suggérer que la comptine numérique, le number naming et le dénombrement ne semblent pas affectés par le type d'intervention administrée mais, qu'au contraire, l'intervention de type coaching semble davantage favoriser (indirectement) le transfert des compétences de **cardinalité**, la **fonction de succession** et la **composition**.

Relativement à la population, une majorité des interventions coaching ayant eu des effets significatifs sur les compétences en mathématiques se sont déroulées avec des enfants d'âge moyen, tandis que, pour les interventions interdisciplinaires ayant présenté des effets significatifs sur les compétences du nombre, l'échantillon était plutôt composé de jeunes enfants. Il semblerait alors que l'âge auquel l'intervention est administrée joue un rôle sur le

type d'organisation du programme que les chercheurs doivent mettre en place. Ici, la taille de l'effectif pour les deux interventions n'a pas été relevée car cela ne semblait pas pertinent pour l'interprétation des données.

5.1.2.2. Etudes n'ayant pas eu d'effet significatif de l'intervention

Puisque toutes les interventions n'ayant pas montré d'effet significatif sont de type interdisciplinaire ([Annexe 5.2.1](#)), aucune interprétation des résultats par distinction d'intervention ne peut être faite. Ainsi, l'analyse des données par concepts et caractéristiques renvoie à celles effectuées dans la section 5.1.1.3. *Résultats des études n'ayant pas eu d'effet significatif de l'intervention.*

5.1.3. Résultats des compétences évaluées selon les caractéristiques d'intervention

5.1.3.1. Etudes où l'intervention a eu un effet significatif

Premièrement, les compétences du nombres évaluées dans les études où l'intervention a eu un effet bénéfique ([Annexe 5.1.2](#)) ont été croisées avec les caractéristiques des programmes d'entraînement afin de voir si pour l'une ou l'autre compétence on pouvait retrouver une « manière » d'améliorer le transfert d'une notion en mathématiques qui serait la plus profitable pour l'enfant. Néanmoins, de manière générale, les résultats de ces études montrent que, quelle que soit la compétence évaluée, une majorité d'entre elles l'ont été en divisant les élèves par **petits groupes** et que les interventions se sont déroulées sur une période de **5 semaines minimum**. Ainsi, il semblerait que ces deux caractéristiques soient importantes pour garantir une intervention la plus efficace possible. Cependant, le reste des caractéristiques s'avère être propre à chaque compétence évaluée. Pour les études évaluant la comptine numérique, la majorité des interventions ont été réalisées à raison de 31-45 minutes par jour, 3 fois par semaine. Pour cette notion, l'augmentation de la complexité des tâches n'a pas été utilisée pour aider l'enfant à améliorer ses compétences. Concernant la sécabilité de la chaîne, les faibles données rapportées (2) ne permettent pas d'interpréter correctement les résultats et de définir des critères qui seraient profitables à l'apprentissage de cette notion. Pour ce qui est du number naming, la majorité des interventions semblent s'effectuer à raison de 10-20 minutes ou 46-60 minutes par session et ce, au moins deux fois par semaine. L'augmentation de la complexité est

moyennement utilisée par ces études évaluant cette compétence. Ensuite, pour le dénombrement, il semblerait que le plus grand nombre d'études avec un effet significatif de l'intervention ait été réalisé pendant 10-20 minutes minimum par jour et au moins deux fois par semaine. L'augmentation de la complexité des tâches au fur et à mesure des séances a l'air d'être régulièrement utilisée pour cette notion. Ainsi, il semblerait qu'une manière efficiente d'améliorer le dénombrement chez les enfants de maternelle se fasse au travers de sessions courtes, de plus en plus difficiles et plusieurs fois par semaine. Concernant la cardinalité, les résultats semblent montrer qu'une majorité des études ayant eu un effet significatif se sont déroulées 3 fois par semaine pendant une durée variant de 20 à 45 minutes par séance. L'augmentation de la complexité des exercices ne semble pas être un critère communément utilisé pour améliorer la cardinalité. Concernant la fonction de succession, les données relevées dans les études semblent montrer que l'amélioration de cette compétence serait la plus efficace lorsque l'entraînement s'appliquerait à raison de 40 minutes par session et deux fois par semaine. L'augmentation de la difficulté des séances n'est pas utilisée pour l'amélioration de cette compétence. Enfin, pour ce qui est des compétences pré-arithmétiques (composition et décomposition), la majorité des interventions semblent s'effectuer 3 fois par semaine ou selon l'organisation libre du professeur. Le temps accordé pour chaque session, ainsi que l'augmentation de la difficulté ne montrent pas de caractéristiques particulières pour aider à l'acquisition des prémices arithmétiques. Il semblerait qu'une certaine flexibilité d'organisation serait profitable pour le transfert de cette compétence.

En ce qui concerne la population, il est intéressant de constater qu'au fur et à mesure que les enfants avancent en âge, les compétences évaluées en mathématiques s'apparentent aux compétences les plus difficiles (par exemple, pour les enfants en âge avancé, l'acquisition de la chaîne numérique verbale et le dénombrement ne sont pas évalués). A l'inverse, plus l'échantillon se compose de jeunes enfants, plus les compétences du nombre évaluées s'apparentent aux compétences de base, c'est-à-dire l'acquisition de la chaîne numérique verbale et le dénombrement (par exemple, pour les jeunes enfants, la décomposition n'est jamais évaluée). Ainsi, il semblerait que **toutes les interventions respectent les notions acquises en fonction du développement et de l'âge l'enfant.**

5.1.3.2. *Etudes n'ayant pas montré d'effet significatif de l'intervention*

Les compétences du nombre qui ont été évaluées pour chacune des interventions ([Annexe 5.2.2](#)) n'indiquent pas de spécificités particulières qui diffèreraient des caractéristiques déjà mises en évidence sur les interventions de manière globale. En effet, ces compétences pour les interventions n'ayant pas eu d'effet significatif, montrent majoritairement, et pour presque toutes les compétences du nombre, une durée de moins de 20 minutes par séance, à raison de deux fois par semaine et pendant une période d'intervention d'un mois ou moins (ce qui fait un total d'environ 20 sessions en tout). Donc, la majorité des programmes dans ces études ne montrent pas d'effet significatif sur la progression des compétences du nombres car ils ne semblent pas suffisants en termes de **temps passé avec l'enfant**, de **sessions d'entraînements** et de **durée du programme**.

Concernant l'âge des échantillons de la population, il semblerait que les sous-compétences les plus avancées (number naming, dénombrement, cardinalité, fonction de succession et compétences pré-arithmétiques) aient été principalement évaluées chez des échantillons de jeunes enfants. Ainsi, il se pourrait que la connaissance de ces notions n'ait pas été acquise à ce stade et qu'il pourrait ne pas s'agir d'un échec de l'intervention à proprement parler mais plutôt d'un **choix d'âge de l'échantillon non approprié**. A l'inverse, les compétences évaluées pour les enfants d'âge moyen sont majoritairement celles relatives à la chaîne numérique verbale, donc les compétences les plus « faciles » à cet âge. A ce niveau, il aurait été cohérent d'obtenir un effet significatif de l'intervention puisque ce sont les compétences « faciles », et normalement déjà acquises pour ces enfants, qui sont évaluées. Cependant, l'effet de l'intervention n'étant pas significatif tend à soutenir qu'un autre facteur (inconnu) a pu intervenir.

Caractéristiques ayant pu participer à l'échec de l'intervention analysées par études :

Au regard des nombreuses analyses précédentes, il a semblé intéressant d'identifier les éléments qui auraient pu participer à l'échec de l'intervention pour chaque étude n'ayant pas montré d'effet significatif. Cela permettrait d'aiguiller plus spécifiquement l'interprétation des données.

Ainsi, l'étude de Cornu et al., (2019) trouve sa particularité dans le fait qu'il s'agit d'une intervention sur toute la classe. Or, dans les résultats précédents, il a été suggéré que les interventions par petits groupes d'élèves devaient être privilégiées.

Pour l'étude de Honore & Noel, (2017), le nombre de compétences évaluées est assez pauvre et celles-ci se trouvent aux deux extrémités des apprentissages. En effet, les auteurs évaluent d'un côté la comptine, la sécabilité et les compétences pré-arithmétiques de l'autre, sur un petit échantillon de jeunes enfants. A cet âge, les enfants sont en train d'acquérir des compétences qui sont davantage relatives au dénombrement et à la cardinalité, ils ne sont donc pas encore aptes à initier les petits calculs.

Dans l'étude de Miller, (2018), les compétences évaluées correspondent assez bien au développement des jeunes enfants regroupés dans de petits échantillons mais, il s'agit d'une intervention réalisée sur 4 semaines seulement à raison de 5 séances hebdomadaires. Il se pourrait que ce programme d'entraînement soit trop « court et intensif » pour l'enfant, d'autant plus que des compétences comme la cardinalité et la composition sont évaluées, ce qui, selon les résultats préalables, semblent être favorisées par des séances plus régulières et étalées, ne nécessitant pas de surcharger l'enfant. De plus, la complexité des sessions augmente au fur et à mesure, ce qui pourrait mettre l'enfant dans des conditions d'apprentissage stressantes.

Ensuite, l'étude de Schmitt et al., (2018) trouve sa particularité dans le fait que les groupes ont été composés de 2-3 enfants auxquels il a été administré une intervention deux fois par semaine uniquement sur une durée très courte. Il se pourrait alors que le nombre d'enfants dans un groupe de moins de 3 ainsi que le temps et le nombre de séances par semaines se soient avérés insuffisants pour garantir un apprentissage efficace.

Enfin, dans l'étude de Szkudlarek & Brannon, (2018), les sessions sont également très courtes (12 minutes) et, bien qu'elle soient aussi administrées 2-3 fois par semaine, l'intervention se déroule sur une courte période de 4 semaines.

Ainsi, il semblerait que la combinaison de certains critères méthodologiques ne soient pas favorables au transfert des compétences du nombre. Nous pouvons alors retirer de ces cinq études qu'un temps par séances de **20 minutes ou moins**, associé à une administration de session **inférieur à 3 fois par semaine** et/ou une **durée d'intervention durant moins d'un mois** sont des critères qui s'avèrent insuffisants en termes d'optimisation des apprentissages. Aussi, il se pourrait qu'un très petit nombre d'enfants par groupe (moins de 3) puisse affecter l'acquisition de nouvelles connaissances, d'autant plus si les sessions administrées sont longues (plus de 30 minutes).

5.2. Synthèse des résultats

En conclusion, les résultats semblent montrer qu'afin de garantir une intervention la plus efficace possible, il serait plus profitable d'avoir recours à un programme d'entraînement de **type coaching** où le professeur de la classe, préalablement familiarisé et entraîné avec le matériel, administre les sessions d'entraînement par **petits groupes d'élèves**, idéalement **3 fois par semaine** et ce, durant une période de **5 à 8 semaines minimum** (au-delà d'un mois) : plus le nombre de sessions administrées est grand, plus l'intervention sera efficace. De plus, ce genre d'intervention tend à devenir bénéfique pour les compétences du nombre lorsqu'elle est administrée à raison de **30 minutes minimum par séance** à un échantillon d'enfants d'âge moyen. D'ailleurs, les résultats ont également suggéré que l'apprentissage de la **cardinalité**, de la **fonction de succession** et de la **composition** serait favorisé par une intervention de type coaching.

En revanche, les éléments qui sont majoritairement retrouvés dans les études où aucun effet significatif de l'intervention n'a été observé semblent suggérer que les programmes d'entraînement **de type interdisciplinaire** avec un **très petit groupe** (constitué de moins de trois élèves) ou à l'inverse avec **toute une classe**, durant un **temps très court** (moins de 20 minutes) et sur une **période de temps inférieure à un mois** ne favoriseraient pas la bonne efficacité d'une intervention.

De façon plus spécifique, au sujet des compétences du nombre évaluées, les résultats semblent indiquer que l'organisation de l'apprentissage devrait être **dépendante de chaque sous-compétence**. Bien que les résultats semblent également favoriser l'administration des tâches d'entraînement par petits groupes d'élèves, au minimum 2-3 fois par semaine et pendant une période d'un mois minimum, il apparaît que les compétences en dénombrement seraient aussi favorisées par un entraînement progressif de plus en plus complexe, que la cardinalité est une compétence dont la maîtrise est favorisée par des séances de 20 minutes à 45 minutes minimum et, enfin, que les compétences pré-arithmétiques nécessiteraient une organisation des apprentissages sans restriction de temps, flexible.

En dernier lieu, l'âge de la population semble être une caractéristique à prendre en compte lors du choix du type d'intervention à mettre en place et de la compétence évaluée en fonction du développement des apprentissages de l'enfant : âge moyen pour une intervention de type coaching et petit âge pour une intervention interdisciplinaire.

Partie 4 : Discussion

1. Synthèse des niveaux de preuve

1.1. Résumé des résultats et pertinence des critères

Dans cette revue de type systématique, nous avons synthétisé les données de la littérature faisant référence à des programmes d'entraînement administrés à des enfants tout-venant de maternelle avec pour objectif d'améliorer les compétences du nombre et, in fine, diminuer les différences inter-individuelles retrouvées lors de l'entrée en primaire. Les résultats de cette synthèse méthodique semblent montrer que les caractéristiques les plus efficaces d'une intervention scolaire chez les maternelles tout-venant sont les suivants : une intervention administrée par le professeur, qui a préalablement été entraîné ou s'est informé sur l'administration du programme, à un petit groupe de 3 élèves minimum, une intervention d'une durée d'un mois minimum, à raison de 3 fois par semaine et avec un temps par séance de 30 minutes minimum. De plus, les résultats démontrent aussi qu'il est recommandé d'adapter le programme d'entraînement en fonction des compétences qui seront évaluées pour faciliter le transfert, mais également en fonction du développement des connaissances de l'enfant.

Dans la littérature, une méta-analyse peut être citée pour avoir également évalué les caractéristiques des interventions chez les enfants de maternelle mais avec des critères de jugements différents. La méta-analyse d' A. H. Wang et al., (2016), regroupe 29 études afin de déterminer l'effet général des interventions sur les compétences en mathématiques mais également d'autres éléments tels que le nombre de contenus ou d'activités à administrer par séance, le temps nécessaire par semaine, l'impact distinct sur les « pré-maternelles » et les maternelles (identifier lequel des deux a le plus d'effet), la taille des groupes des enfants et l'utilisation des évaluations prétest et post-test. Concernant les résultats pouvant se comparer à notre synthèse méthodique, les auteurs observent alors qu'une intervention efficace devrait être administrée à un seul enfant, seul à seul, avec un temps allant 120 à 150 minutes par semaine, ce qui est en contradiction avec nos résultats qui mettent en avant une administration de l'intervention par petits groupes de 3 élèves minimum pendant au moins 90 minutes (30 minutes par séances trois fois par semaine). Cela va à l'encontre des résultats que nous avons obtenus. Cette inégalité peut s'expliquer par une différence méthodologique.

Premièrement, les méta-analyses disposent d'une évaluation statistique qui n'est pas présente dans une synthèse méthodique. Dans cette dernière, les résultats sont alors qualitatifs et non quantitatifs ce qui pourrait amener à davantage d'erreur de jugement et d'interprétation. Deuxièmement, la méthodologie de l'étude de A. H. Wang et al., (2016), bien qu'elle soit fortement semblable à la nôtre, diffère en plusieurs points : le nombre supérieur de base de données utilisées, l'absence de limitation au niveau des « peer-review » et une limitation des articles jusqu'à l'année 2000. Le nombre d'articles trouvés et sélectionnés est alors supérieur, ce qui a pu amener à une plus large sélection. En dernier lieu, cette étude dispose de critères d'éligibilité moins stricts comme, par exemple, l'inclusion à la fois d'essais contrôlés randomisés mais également des études avec un design quasi- expérimental¹⁷. Ainsi, la sélection des articles a été faite de manière plus large que celle effectuée dans cette synthèse méthodique qui, au contraire, a été réalisée de façon plus exigeante (i.e., règlement de l'Université de Liège relatif à la réalisation d'un mémoire de type revue systématique), ce qui a pu amener à exclure un nombre plus important d'articles.

Par la suite, certains de ces critères ainsi que ceux résultants de notre analyse seront discutés, approfondis et comparés avec la littérature. Afin de respecter une certaine cohérence relative à l'organisation des parties définies dans ce mémoire, les critères seront analysés également suivant le principe PICO : premièrement les programmes d'entraînements (I), deuxièmement les compétences du nombre évaluées (O) et troisièmement, les enfants de maternelle tout venant (P).

1.1.1. Analyse des caractéristiques des programmes d'entraînement

Ainsi, toutes les interventions de type coaching semblent montrer un effet bénéfique du programme d'entraînement. Une explication de ce résultat pourrait être que la relation de confiance construite entre l'élève et l'enseignant peut davantage contribuer à l'apprentissage et au transfert des compétences évaluées. En effet, plusieurs auteurs mettent en avant l'importance d'une figure d'attachement similaire dans la régulation du sentiment de sécurité et du bien-être de l'enfant lorsqu'ils sont dans un cadre où les parents sont absents (Bowlby, 1984, cité par Koomen et al., 2004). D'autres auteurs ont même observé une certaine similitude concernant la relation de confiance entre parent-enfant et professeur-enfant (Pianta et al., 1997) et d'autres

¹⁷ **Design quasi-expérimental** : étude expérimentale constituée d'un groupe soumis à exposition et un groupe contrôle mais sans répartition aléatoire (Durieux, 2016).

encore évoquent l'idée selon laquelle cette relation de confiance entre un professeur et son élève peut impacter l'apprentissage (Pianta et al., 1995). En ce sens, l'étude de Koomen et al., (2004) émet l'hypothèse que la familiarité de l'enseignant jouerait un rôle dans la régulation du bien-être et de la sécurité émotionnelle chez l'enfant et que cela impacterait sa participation et son implication dans l'apprentissage de nouvelles tâches. Pour cela, ces auteurs constituent deux groupes expérimentaux qui vont tous deux se retrouver dans une situation de nouvel apprentissage de tâche, à la différence qu'un groupe effectuera son apprentissage avec son professeur habituel tandis que l'autre groupe travaillera avec un professeur moins familier. Cependant, les résultats ne montrent aucune différence significative, allant à l'encontre de l'hypothèse de l'effet de familiarité du professeur. Les auteurs expliquent cela par le fait que l'enfant est capable de s'attacher au professeur ou à une figure d'attachement de manière assez rapide pour combler l'absence des parents et que, finalement, le professeur qui est moins familier à l'enfant le serait quand même assez pour favoriser l'apprentissage de l'enfant et réguler son sentiment de sécurité. En conséquence, la problématique liée au sentiment de familiarité envers un intervenant qui est véritablement inconnu de l'enfant en premier lieu, interviendrait-elle ou non, à un moment donné, dans un programme d'entraînement ? Puisque les séances ne sont pas nécessairement quotidiennes et que l'enfant se retrouve dans des conditions d'apprentissages qui mettent en péril son sentiment de sécurité, tous ces constats tendent à expliquer pourquoi les interventions de types interdisciplinaires auraient obtenus de moins bons résultats.

De cette manière, il serait intéressant de faire le lien avec les résultats concernant le temps par séance dont les effets varient en fonction du type d'intervenant. Effectivement, les résultats semblent montrer que, pour qu'une intervention de type interdisciplinaire soit efficace, le temps par séance adéquat oscillerait entre 20 minutes et 40 minutes minimum. Bien qu'aucune hypothèse explicative concernant l'administration des séances de 20 minutes ne soit trouvée, l'efficacité des séances allant au-delà des 40 minutes pourrait s'expliquer par l'hypothèse du sentiment de sécurité de l'enfant augmentant au fur et à mesure de l'exposition, ce qui entraîne une implication accrue dans la tâche. De même, la fréquentation prolongée d'un intervenant inconnu crée ainsi un sentiment de familiarité dont l'enfant profiterait pour favoriser au mieux ses apprentissages.

Face à cet argument, revenons sur un type d'étude pour laquelle il n'y pas eu de résultats et qui s'avère rare dans la littérature : l'intervention transdisciplinaire (ou co-teaching). Pour rappel, ce type d'étude se caractérise par une collaboration conjointe entre le professeur et un

intervenant externe travaillant ensemble en classe, par petits groupes ou non, et tenant le même rôle. Effectivement, l'intervention transdisciplinaire est mise en avant récemment dans la littérature par Friend et al., (2010) où les auteurs parlent de l'avantage de la présence du corps enseignant en classe et de celui d'un chercheur expérimenté pour le bon déroulement du programme. Cependant, les auteurs évoquent également la difficulté de mettre ce type d'étude en place car une collaboration de ce genre peut amener certains obstacles, notamment au niveau du sentiment de compétence du professeur qui peut se sentir rabaissé puisque sa façon d'enseigner est mise à l'écart au profit d'une autre. Néanmoins, reprenant les bénéfices mis en avant par les auteurs, ce type d'étude pourrait être un compromis entre l'intervention de type coaching et celle de type interdisciplinaire. Bien que nous ne retrouvions que peu de documents concernant l'intervention transdisciplinaire, il serait intéressant de les rassembler pour appréhender leurs effets sur les compétences du nombre.

Revenons alors sur le sentiment de compétence du professeur qui est une variable souvent rapportée comme critère de jugement dans certaines études. Or, elle n'a pas été prise en compte dans notre analyse car elle n'apparaît pas de façon constante dans nos références. Mais, a posteriori, il serait pertinent de s'y intéresser et d'approfondir l'apport de cette variable dans l'efficacité d'une intervention. Le sentiment de compétence se définit comme le niveau de confiance ou le jugement que nous portons sur nos capacités à gérer une situation, que ce soit dans la vie professionnelle ou ailleurs (Shore, 2012). Ce sentiment est souvent positivement associé à une source de motivation, d'engagement et peut venir impacter les performances (Sheridan et al., 2009). Ainsi, un professeur qui possède un sentiment de compétence faible peut voir ses capacités d'enseignement affectées et cela peut donc se répercuter directement ou indirectement sur les apprentissages des enfants (Snell et al., 2013). En somme, il semblerait que cette variable soit à prendre en compte dans les prochaines études menées afin d'appréhender l'impact qu'elle pourrait avoir dans l'efficacité d'une intervention.

Il convient tout de même de signaler que, la majorité des études dont l'intervention est de type coaching ont mis en place l'apprentissage du programme par petits groupes d'élèves alors que, comme cela a été défini dans la partie « Introduction », le professeur est censé administrer le programme à l'ensemble de la classe. En effet, cela est étonnant et en même temps explicable par le simple fait que de nombreuses études ont d'ores et déjà mis en avant les bénéfices des groupes réduits lors des apprentissages scolaires (Elbaum et al., 2000; Gersten et al., 2009). Cependant, les résultats de cette synthèse méthodique tendent à dire que, pour une meilleure efficacité du programme, les groupes d'élèves ne devraient pas aller en-deçà de 3. Or, cela est

discutable puisque l'étude de Doabler, Clarke, Kosty, Kurtz-Nelson, et al., (2019), reprenant l'étude réalisée par B. Clarke et al., (2017), stipule qu'il n'y aurait aucune différence de résultats entre les groupes constitués de 5 enfants et ceux constitués de 2 enfants, ce qui va à l'encontre de nos observations. En conséquence, il est difficile de trancher sur le nombre exact d'enfants par groupe pour avoir une efficacité optimale de l'intervention. Mais, les études citées et toutes les présuppositions concernant cette caractéristique ont été élaborées sur la base d'échantillons d'enfants à risque ou ayant une pathologie déjà identifiée, ce qui pourrait corroborer l'idée selon laquelle ces enfants profiteraient également des petits groupes de deux afin de bénéficier de toute l'attention de l'intervenant. En revanche, les enfants tout-venant profiteraient davantage des groupes constitués de plus de 3 élèves qui favorisent l'entraide, la coopération et la compréhension des tâches demandées.

Il est souvent dit que plus l'intensité de l'intervention est importante, plus elle a de chance d'obtenir des résultats optimaux. On retrouve le même raisonnement pour les interventions scolaires (Warren et al., 2007). Aussi, de nombreux auteurs ont spécifié que le temps administré par session d'entraînement (Bryant et al., 2011) et le nombre de sessions administrées par semaine (Coddington et al., 2016) étaient de bons facteurs prédictifs de l'intensité d'une intervention scolaire sur l'amélioration des compétences en mathématiques. Les résultats de cette synthèse méthodique corroborent également cette idée : les interventions les plus efficaces seraient celles constituées d'un maximum de séances administrées à raison de 30 minutes minimum. Cependant, les résultats concernant le nombre de séances par semaine ne semblent pas montrer un effet cent pour cent optimal pour les programmes d'entraînement appliqués quotidiennement (5 fois par semaine), et indiqueraient plutôt une administration de 3 séances par semaine en moyenne. En effet, rappelons que les programmes d'entraînement sont en surplus du programme habituel et que cela demande beaucoup d'implication à l'enfant. Même si les programmes se font essentiellement sous forme de jeu ludique, les ressources cognitives de l'enfant pourraient être implicitement mobilisées pour de nouveaux apprentissages. L'étude de Lemaire, (1996) renforce cette hypothèse : ces auteurs montrent que la mémoire de travail¹⁸ est fortement sollicitée pendant les apprentissages des concepts du nombre et qu'une surcharge de celle-ci aurait un impact sur les performances arithmétiques. De ce fait, plusieurs auteurs ont proposé des moyens de compensation employés comme « aide-mémoire » afin d'alléger cette

¹⁸ **Mémoire de travail** : mémoire sollicitée lors d'une tâche permettant de retenir et d'enregistrer les informations à un moment donné et assez longtemps pour qu'elles puissent s'enregistrer sur le long terme (Baddeley, 1992).

surcharge et de retenir les notions ne pouvant pas être remplacées. Par exemple, l'étude d'Alibali et DiRusso, (1999) met en avant l'utilisation de la gestuelle et des doigts pour garder une trace mnésique (rétention des nombres pour les petits calculs...). Ainsi, l'application de 3 séances par semaine du programme d'entraînement semble un bon compromis pour améliorer les apprentissages et avoir une intervention efficace sans pour autant surcharger l'enfant durant la semaine.

En dernier lieu, il paraît intéressant de revenir sur un détail concernant les résultats de deux études. Les interventions réalisées par Szkudlarek et Brannon, (2018) et de Vogt et al., (2018) montrent un effet significatif plus important en faveur des enfants ayant des compétences du nombre plus basses après avoir séparé le groupe expérimental en deux, selon les prétests. Cela rejoint d'autres études (B. Clarke et al., 2017; Doabler, Clarke, Kosty, Kurtz-Nelson, et al., 2019) et suggère que ce genre de programme d'intervention profiterait davantage aux enfants ayant déjà des difficultés. Ainsi, nous pouvons nous interroger quant à la pertinence d'un échantillon tout-venant. Puisque l'objectif est de diminuer les différences inter-individuelles entre les enfants en première primaire, l'élaboration des critères méthodiques des programmes d'intervention devrait alors être faite selon cette population puisque c'est à eux que cela profiterait le plus. Cependant, l'un des objectifs de ce mémoire est, idéalement, d'intégrer un programme d'entraînement dans le programme scolaire. Pour cela, une analyse d'enfant tout-venant est nécessaire.

1.1.2. Analyse des compétences évaluées

Les compétences du nombre évaluées semblent également s'améliorer avec les interventions de type coaching administrée durant minimum un mois et à raison de 3 fois par semaine en moyenne et en petit groupe. Pour le reste des caractéristiques, elles montrent un transfert des apprentissages variable, en fonction du type de compétence évaluée. Il convient alors de revenir sur la nuance concernant les compétences évaluées et les compétences travaillées. En effet, nous nous sommes intéressées aux compétences évaluées car l'objectif de notre question de recherche nécessitait de déterminer les interventions qui semblent montrer une amélioration des compétences du nombre sur la base de leur méthodologie, peu importe le contenu du programme administré. Il s'agit alors d'un transfert des compétences. Ainsi, insinuer que telle ou telle caractéristique de l'intervention favoriserait les apprentissages de l'une ou l'autre compétence serait inadéquat. En revanche, il a été possible d'hypothétiser la

présence de quelques liens, notamment avec l'augmentation de la difficulté des séances et l'apprentissage implicite¹⁹.

Ainsi, le fait d'administrer des séances de plus en plus compliquées serait bénéfique au transfert de certaines compétences (comme le dénombrement). En effet, dans une ancienne étude d'A. M. Clarke et Cooper, (1966) réalisant une intervention chez des enfants de 3 ans utilisant comme variable la difficulté de la tâche, les auteurs montrent que l'augmentation de la difficulté de la tâche au fur et à mesure de l'entraînement amènerait à de meilleures performances et également à un meilleur transfert des compétences. Bien que cette étude soit ancienne et comporte des biais méthodologiques (très petits échantillons...), d'autres revues récentes avancent l'idée selon laquelle l'augmentation de la difficulté des exercices serait profitable pour les apprentissages, notamment parce que cet aspect procurerait un certain « challenge » mais également parce qu'il servirait à maintenir l'attention de l'enfant/étudiant (Sullivan et al., 2015). Dans les résultats de notre synthèse méthodique, il semblerait que l'augmentation de la complexité des séances soit profitable pour le dénombrement mais pas pour la cardinalité. En effet, nous pouvons supposer que certaines compétences du nombre nécessitent de suivre leur propre trajectoire, selon le développement de l'enfant, par étapes. C'est particulièrement le cas de l'acquisition du concept de cardinalité qui, comme explicité dans l'Introduction, est une notion qui requière un passage par différentes étapes et dont le développement serait dépendant de celui des capacités cognitives de l'enfant (Wynn, 1990, 1992), ne nécessitant pas de variable procurant un certain « défi » pour faciliter le transfert. Par conséquent, l'utilisation de tâches ou de sessions qui augmentent en complexité serait une bonne stratégie de transfert des apprentissages mais uniquement pour certaines compétences.

Bien que la majorité des études de cette synthèse méthodique travaillent directement les compétences du nombre, les autres programmes ont pour but de les améliorer indirectement au travers de tâches ou de concepts différents. Dès lors, un questionnement concernant les bienfaits d'un apprentissage implicite surgit. En effet, dans la littérature, et concernant le domaine des mathématiques, les études parlent souvent de l'intérêt de l'apprentissage explicite²⁰. Or, plusieurs auteurs mettent en avant les avantages et les bénéfices de ce type d'apprentissage, notamment comme la lecture (Demont & Gombert, 2004). Etant donné que les performances

¹⁹ **Apprentissage implicite** : les compétences travaillées ne sont pas clairement formulées et sont apprises au travers d'un matériel qui, de prime abord, n'a aucun rapport avec l'aptitude en question (Demont & Gombert, 2004).

²⁰ **Apprentissage explicite** : les compétences travaillées sont clairement exprimées, que ce soit au niveau de l'outil utilisé ou des instructions de l'intervenant (Demont & Gombert, 2004).

en lecture sont très souvent associées aux compétences mathématiques (particulièrement dans les interventions scolaires où elles sont toutes deux très fréquemment évaluées), qu'en est-il de l'apprentissage implicite pour les compétences du nombre ? L'étude de Nunes et Bryant, (2008) stipule que l'environnement joue un rôle crucial dans les apprentissages et que l'enfant apprend, sans le savoir, certains concepts numériques par l'intermédiaire de ce qui l'entoure. Par exemple, il peut appréhender le concept de quantité lorsque la question « Combien d'amis as-tu ? » lui est posée. Ainsi, cet apprentissage implicite interférerait dans l'apprentissage scolaire puisque l'enfant devra apprendre un concept dans un tout autre contexte. Les auteurs énoncent qu'il serait préférable d'instaurer à l'école des apprentissages « environnementaux » (en rapport avec le contexte qui entoure l'enfant et sociétal) pour garder une certaine cohérence du contexte d'apprentissage et faciliter le transfert de ces compétences. Aussi, l'étude de Sidney et Thompson, (2019) met en exergue les avantages de l'utilisation de l'apprentissage implicite pour l'enseignement par analogie²¹ dans l'acquisition des concepts arithmétiques, comparé à l'apprentissage explicite qui demande plus d'effort car l'attention est dirigée vers les nouveaux acquis ce qui encombrerait davantage la mémoire de travail. Par ailleurs, il semblerait que l'apprentissage implicite soit indépendant de l'âge et pourrait donc être bénéfique pour n'importe quelle pratique (Vinter & Perruchet, 2000). Cependant, d'autres données dans la littérature mettent également en avant l'importance de l'apprentissage explicite dans l'amélioration des compétences du nombre (Ziegler et al., 2018). Par conséquent, même si les deux apprentissages semblent adéquats pour l'acquisition des compétences numériques, il se pourrait que pour les capacités pré-arithmétiques, l'enseignement implicite soit pertinent. En effet, ces dernières font références aux prémices des premiers calculs numériques et s'illustrent à travers de petits problèmes imagés et ludiques où l'enfant effectue ses premiers calculs sans même s'en rendre compte. Les instructions données de manière implicite pourraient alors favoriser l'amélioration des compétences pré-arithmétiques.

1.1.3. Analyse des caractéristiques des enfants de maternelle tout-venant

Concernant l'âge de l'enfant et le type de programme à prodiguer, il semblerait que les interventions de type coaching aient été majoritairement administrées à des enfants d'âge moyen alors que les enfants de petit âge auraient reçu davantage d'interventions de type

²¹ **Enseignement par analogie** : l'enseignant favorise les nouvelles connaissances à travers une connexion entre les anciens apprentissages et les nouveaux (Sidney & Thompson, 2019).

interdisciplinaire. Néanmoins, bien que la majorité des interventions de type coaching se soient effectuées en petits ou larges groupes, le nombre d'élèves est relativement assez élevé, même dans les petits groupes, allant de 6 à 20 enfants par groupe. Pour l'intervention interdisciplinaire, en revanche, le nombre d'élèves par groupe ne va pas au-delà de 7 (hormis une étude qui s'effectue sur l'ensemble de la classe). Ainsi, l'intervention de type coaching chez des enfants d'âge moyen permettrait aux chercheurs d'utiliser de plus grands groupes d'enfants que s'il s'agissait d'une intervention interdisciplinaire. Comment expliquer cela ? L'étude de Takagi, (1983) met en avant le fait que c'est à 5-6 ans que l'enfant est enfin capable d'avoir une attention volontaire et contrôlée envers une tâche demandée, ce qui pourrait expliquer que les interventions en plus grand groupe soient plus accessibles pour des enfants de cet âge. Au contraire, il semblerait qu'à 4 ans, l'enfant a besoin d'activités en plus petit comité pour pouvoir se focaliser sur les tâches demandées et optimiser ses apprentissages.

Il semble également intéressant de revenir sur les différentes origines des populations qui ont été rapportées dans cette synthèse méthodique. En effet, le pays d'origine et la langue n'ont pas semblé être un critère d'éligibilité pertinent, en premier lieu, pour la sélection des articles puisque les mathématiques constituent un concept universel et accessible à l'ensemble des pays. Néanmoins, un regard critique est apporté par rapport à cette décision puisque le vocabulaire mathématique, donc le langage, intervient dans la compréhension de certaines notions (Laborde, 1990; Miura et al., 1999). De plus, un questionnement survient quant à l'utilisation des mêmes symboles numériques pour représenter les nombres entre les différents pays. Néanmoins, l'ensemble des tests et des batteries utilisées pour l'évaluation des compétences du nombre se sont avérés rassurants face à cette inquiétude. A posteriori, une recherche plus approfondie en regard de ce critère a quand même été effectuée afin de relever les principales différences qui sont mises en exergues dans la littérature. Les données montrent que la majeure partie des revues sont principalement axées sur l'écart des compétences numériques retrouvées entre les pays d'Asie (principalement la Chine) et les autres pays, ce qui ne fait référence à aucun échantillon de cette synthèse. Cependant, une étude (Krinzinger et al., 2011) aborde les différences d'enseignement et d'apprentissage pour les compétences du nombre entre la France, la Belgique (Wallonie et Flandre), l'Allemagne et l'Autriche, ce qui s'apparente le mieux aux échantillons obtenus et à la population qui nous intéresse. Les résultats montrent qu'il existe effectivement une dissemblance des performances entre les pays mais que celle-ci serait due essentiellement à l'effet des programmes scolaires différents et rien que partiellement à l'effet de la langue. A la fin de l'article, les auteurs concluent que les compétences numériques ne se

développent pas de manière semblable entre les pays mais cette conclusion est à nuancer puisque, même si plusieurs facteurs semblent intervenir au niveau de l'enseignement et de l'apprentissage, les connaissances de base à acquérir ne semblent pas se différencier outre mesure entre ces pays.

En ce sens, tous les articles sélectionnés, bien que certains proviennent même de pays orientaux, mentionnent les mêmes compétences du nombre en période préscolaire. Malgré tout, deux études (Dillon et al., 2017; Karademir & Akman, 2019) continuent de susciter une interrogation concernant la langue (respectivement turque et hindoue) relativement au sens de la lecture de celle-ci (les écritures de ces deux populations n'étant pas alphabétiques et les chiffres n'étant pas arabes.). Dans l'idée, Göbel, (2018) met en avant dans sa revue qu'il existerait une influence du sens et de la direction de la lecture dans les compétences en mathématiques. En résumé, il semblerait que les compétences de bases et l'acquisition de celles-ci soient foncièrement équivalentes mais qu'il serait intéressant de reproduire ce même genre d'étude en tenant compte des similitudes et dissimilitudes entre les langues.

Selon le site de l'Iweps (<https://www.iweps.be/>) en 2017, 21,9 % de la population wallonne possédait un revenu équivalent ou inférieur au seuil de pauvreté. D'après le site Statbel (<https://statbel.fgov.be/fr>), en 2018, 9% des individus vivaient en dessous du seuil de pauvreté. Et, enfin, conformément aux informations trouvées sur le site de l'Enseignement.be (<http://enseignement.be/index.php>) les disparités socio-économiques (se déterminant selon l'indice socioéconomique²²) des enfants de maternelle dans l'enseignement ordinaire est de -0,05, équivalent à un échantillon de provenance socio-économique plutôt mixte. Mais, le choix d'inclure des échantillons dont le niveau socio-économique est faible s'avère pertinent car l'objectif était d'obtenir une population s'apparentant au mieux à la population en Belgique. Néanmoins, dans plusieurs références, les enfants provenant de niveaux socio-économiques faibles sont souvent apparentés à des enfants à risque d'avoir des difficultés d'apprentissage (Baker et al., 2002). Entre autres, ce facteur expliquerait en grande partie la différence de résultats entre les élèves immigrants et non immigrants (Marks, 2005). Par conséquent, afin d'avoir une interprétation plus précise des résultats sur un échantillon au maximum représentatif de la population et de pouvoir les comparer aux résultats de cette synthèse méthodique, il serait

²² **Indice socioéconomique (de la Fédération Wallonie-Bruxelles)** : se détermine selon plusieurs variables relatives aux caractéristiques socioéconomiques par secteurs et dont chaque élève se voit attribuer un indice (oscillant de -1 à 1). Plus l'indice est bas, plus les élèves sont issus de secteurs moins favorisés au niveau socioéconomique (<http://enseignement.be/index.php>)

préférable de n'avoir que des échantillons dont le niveau socio-économique est mixte. Néanmoins, d'autres recherches futures approfondissant cette variable seraient intéressantes.

Enfin, un ultime sujet de discussion concernant les caractéristiques de l'échantillon convient d'être évoqué. Celle-ci concerne le manque de détail sur les activités du groupe contrôle. Dans certaines études, celui-ci reçoit d'autres activités sans rapport avec les mathématiques en compensation du programme d'entraînement. Mais dans d'autres cas, les enfants continuent leur journée habituelle en classe, ce qui pourrait être émotionnellement compliqué pour certains enfants. Effectivement, au niveau affectif, l'enfant a besoin de se sentir appartenir à un groupe et proche de ses pairs (Girolametto & Weitzman, 2007; Ladd, 1990). Cela favorise les comportements et états mentaux sociaux mais également les apprentissages. D'ailleurs, l'étude de Doctoroff et al., (2016) démontre une relation entre les compétences sociales des enfants et l'intérêt, la volonté mise en jeu durant les apprentissages des compétences en mathématiques. Par ailleurs, une étude sélectionnée dans cette synthèse méthodique (McClelland et al., 2019) porte sur l'auto-régulation émotionnelle. Dans ce papier, les auteurs observent un effet significatif de l'intervention sur les compétences du nombre dans les deux groupes ayant élaboré des stratégies pour réguler leurs émotions et ce, même sans avoir spécifiquement travaillé le domaine numérique. Ainsi, à l'avenir, il est recommandé aux futurs chercheurs voulant administrer un programme d'entraînement, de proposer des activités ludiques sans rapport avec les mathématiques afin de favoriser la bonne entente entre les enfants et ne pas induire une composante émotionnelle et affective qui pourrait impacter les résultats.

1.2. Comparaison des résultats avec l'intervention interdisciplinaire de L. Vossius et M. Neveu (2018)

L'ensemble des résultats obtenus dans cette synthèse méthodique vont ainsi permettre de revenir sur l'étude qui a amené ce mémoire pour comparer les résultats et identifier les caractéristiques n'ayant pas favorisé l'efficacité de l'intervention.

Le principal objectif de cette intervention était d'améliorer les compétences du nombre grâce à l'utilisation des doigts chez l'enfant en 2^{ème} maternelle. Pour cela, L. Vossius et M. Neveu ont mis en place une intervention de type interdisciplinaire administrée par une étudiante stagiaire. Durant le mois d'Octobre 2017, 82 enfants de deuxième maternelle de deux écoles liégeoises ont été testés avec différentes tâches évaluant les concepts arithmétiques :

compréhension des nombres verbaux, dénombrement, cardinalité (« donne-moi » ; « montre-moi ») et les compétences pré-arithmétiques (fluences imagées). Ces enfants ont ensuite été répartis en trois groupes. Un groupe « test » va bénéficier de l'intervention basée sur les doigts et sur les nombres tandis que les deux autres groupes, le « Groupe L. » et le « Groupe P. », effectueront respectivement, pendant ce temps, des séances de lecture partagées et des séances axées sur la psychomotricité globale. L'intervention se déroule pendant dix semaines, à raison d'une demi-heure par jour (donc 5 fois par semaine), en comptant, en tout et pour tout, 123 activités proposées au total (voir [Annexe 6](#) : Intervention en milieu scolaire, Maëlle Neveu en 2018). La difficulté des séances augmente d'une semaine à l'autre mais tout en préservant les notions acquises dans les sessions passées. Notons que, bien que les enfants n'aient pas été appariés entre eux, les variables concernant l'âge, le niveau socio-culturel, le développement cognitif et la langue maternelle ont été contrôlées. A la fin de cette intervention (Mars 2018), une phase de post-test en double aveugle est réalisée en réutilisant les mêmes tâches. Cette première expérience donne des résultats probants en faveur du groupe « tests » concernant les compétences arithmétiques et la cardinalité, ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle l'usage des doigts pourrait potentiellement avoir un impact sur le long terme.

L'année suivante, en Mars 2019, une autre phase de test, toujours en double aveugle, a été réalisée chez ces mêmes enfants, élèves en troisième maternelle (au nombre de 75). Les tests préconisés pour cette année regroupaient l'ensemble des tâches évaluant le dénombrement, la cardinalité, la fonction de direction et de succession, les compétences pré-arithmétiques (inclusion numérique et décomposition numérique, fluences imagées et non imagées/arithmétiques) avec, pour certaines de ces tâches, la mesure de l'utilisation spontanée des doigts. Malheureusement, les résultats ne se sont pas avérés aussi probants que l'année précédente, ce qui a mis fin à l'étude puisque l'objectif était de voir si cet effet perdurait jusqu'en Première primaire.

Donc, lorsque nous reprenons les critères méthodologiques de cette intervention pour les comparer avec nos résultats, dans le sens où ceux-ci ont été considérés comme étant les plus efficaces pour la réalisation d'une intervention, nous notons plusieurs points qui peuvent faire l'objet de discussion. Premièrement, le type d'intervention. Selon les résultats, il semblerait qu'une intervention de type coaching aurait été plus favorable à l'amélioration des compétences du nombre en raison de la présence de l'enseignant en classe, ce qui pourrait influencer le sentiment de sécurité de l'enfant et donc jouer sur son implication dans le programme. Deuxièmement, le temps par séance est de 30 minutes par jour et ce, quotidiennement. Or, nos

résultats semblent indiquer que, lorsqu'il s'agit d'une étude interdisciplinaire avec un intervenant extérieur, il est préférable d'opter pour des séances soit très longues soit très courtes, tout en modulant le nombre de séances par semaine, le nombre idéal étant de 3 séances. Dans l'intervention interdisciplinaire, il serait possible que le temps par séance (et donc par atelier) soit relativement court et que l'administration quotidienne des séances soit trop extrême pour l'apprentissage de l'enfant. Les élèves pourraient éprouver une certaine fatigue et une certaine surcharge cognitive à travailler des compétences du nombre tous les jours. Troisièmement, le nombre d'élève par groupe est estimé comme relativement large. En effet, il n'est pas précisé de nombre précis mais l'ensemble de la classe est séparé en deux groupes, ce qui s'apparente à plus de dix enfants par groupe. Or, l'ensemble des critères de jugement semblent être en faveur de la constitution de petits groupes d'élèves, inférieur à 10, car cela permettrait d'un côté de favoriser l'attention de l'enfant envers ce que dit l'intervenant ou le professeur, et, réciproquement, de favoriser l'attention apportée à l'enfant par le professeur ou l'intervenant et de l'autre, d'encourager l'entraide et le discours entre les enfants. Enfin, concernant la durée du programme, l'âge de la population, la taille de l'échantillon et les compétences évaluées, aucun élément n'a pu être émis pouvant suggérer que ces facteurs aient pu avoir une quelconque influence sur le non-aboutissement de l'intervention.

En résumé, en comparant les deux procédures, une hypothèse plausible de l'inefficacité du programme d'intervention de L. Vossius et M. Neveu (2018) sur le long terme résiderait dans le choix du type d'intervention, de la mise en place des séances et de l'organisation des groupes d'élèves.

1.3. Généralisation

En résumé, nous espérons que les résultats apportés, ainsi que les interprétations des données qualitatives pourront servir aux futurs chercheurs qui voudront mettre en place ce type de programme d'entraînement chez des enfants de maternelle ou même ceux qui désirent répliquer cette recherche sans restriction de bases de données ou d'articles à sélectionner.

Concernant la généralisation de ce type d'intervention à un programme scolaire, cela semble possible à mettre en place étant donné que l'intervention administrée par le professeur s'est avérée la plus efficace relativement aux compétences du nombre et aux enfants de maternelle tout-venant. Mais, puisque le nombre de séances par semaine reconnu comme étant le plus profitable ne correspond pas à des séances quotidiennes, les sessions pourraient alors prendre

la forme de remédiations ou de soutien scolaire, en plus du programme habituel dans un premier temps. Davantage d'études sur ce sujet paraissent primordiales pour confirmer nos hypothèses et ainsi pouvoir mettre en place un programme éducationnel complet.

Enfin, l'ensemble des résultats et interprétations mises en avant dans cette partie ont permis également d'aborder certaines recommandations pour les futures recherches, qui rejoignent celles élaborées par Griffin, (2004) dans son article concernant le programme d'entraînement *Number Worlds*. Les principes essentiels à mettre en place pour cette intervention sont les suivants : (1) construire de nouvelles compétences à partir des connaissances acquises ; (2) prendre en compte le développement naturel des compétences numériques suivant le développement de l'enfant lors de l'apprentissage de nouvelles connaissances ; (3) apprendre ne veut pas dire comprendre, il faut alors s'assurer que l'enfant soit tout aussi capable de maîtriser les notions numériques et qu'il les comprenne ; (4) lui fournir plusieurs opportunités d'apprendre dans un contexte plus pratique, avec des résolutions de problèmes, en favorisant un maximum la communication ; et (5) exposer l'enfant aux diverses représentations du nombre dans la société. Ainsi, les principes numéro 2 et 3 renvoient quelque peu à l'acquisition de la cardinalité et au fait que celle-ci ne nécessite pas nécessairement de tâches dont la difficulté augmenterait au fur et à mesure des sessions pour faciliter le transfert de son apprentissage. Au contraire, elle serait dépendante du développement de l'enfant et nécessiterait le passage de certaines étapes pour être entièrement acquise. Les principes 3 et 4 renvoient à la notion d'apprentissage implicite et de l'importance de la communication verbale avec les pairs ou avec le professeur lors de l'acquisition de nouvelles compétences. Pour finir, le premier principe fait référence à l'enseignement/apprentissage par analogie dont les caractéristiques ont été que très brièvement abordées dans le cadre de l'apprentissage implicite, mais qui est un aspect également repris dans l'étude de L.Vossius et M.Neuveu (2018).

2. Limites

Au fur et à mesure de la conception de ce mémoire, plusieurs limites et difficultés au niveau des études, de la méthodologie et des résultats sont apparues comme importantes à évoquer dans cette partie.

2.1. Limites au niveau des études sélectionnées

Concernant la qualité et la crédibilité des articles, l'analyse selon la grille CONSORT 2010 revisitée (Gedda, 2015a) aboutit à un degré de fiabilité moyen. En effet, rappelons que sur 19 études, seules 3 sont des « essais contrôlés randomisés ». Le choix d'élargir ce critère d'éligibilité à toutes les autres études mentionnant une répartition aléatoire était justifiable compte tenu du fait que les essais contrôlés randomisés, pour des interventions de type scolaire, étaient rares dans la littérature. Mais bien que les aspects fondamentaux de ce type d'étude aient été maintenus (répartition aléatoire entre un groupe contrôle et un groupe expérimental), de nombreux biais peuvent remettre en cause certaines études et donc l'interprétation des résultats de cette synthèse méthodique.

Premièrement, l'analyse du niveau de preuve selon la liste CONSORT met principalement en exergue une forte faiblesse concernant la randomisation des études, ce qui apporte un doute quant à la fiabilité de cette répartition : la stratégie utilisée pour répartir les groupes, ainsi que les différents intervenants ayant participé à la mise en place de cette randomisation et la notion de double aveugle sont rarement, voire jamais abordés. Ici, nous pouvons mettre en avant un possible biais de confirmation²³ au niveau des résultats, puisque, souvent, le même intervenant ou expérimentateur était chargé d'évaluer les compétences en prétest et post-test(s) et d'administrer l'intervention dans les études de type interdisciplinaire.

Deuxièmement, d'un point de vue méthodologique, certaines informations se sont avérées manquantes dans le recueil de données concernant, par exemple, le nombre exact d'enfants dans le/les groupe(s) expérimental(aux) et le groupe de référence (il aurait été intéressant d'avoir le pourcentage correspondant), le temps par séance pour deux études, le nombre exact d'élèves dans les sous-groupes afin d'avoir une estimation plus précise de ce critère... Il semblerait alors que ces études comportent un léger biais méthodologique à ce niveau, puisqu'une étude est entièrement fiable si elle est reproductible à tout niveau avec les informations retrouvées dans l'article.

Troisièmement, les résultats énoncés dans les études perdent de leur valeur principalement au niveau du manque d'information concernant les dates auxquelles les sujets ont été recrutés (inclusion des semaines de vacances non évoquées dans certaines études) et le

²³ **Biais de confirmation** : Tendance naturelle qu'ont les individus à privilégier les informations qui confirment leurs idées préconçues, leurs hypothèses et à accorder moins de poids au point de vue jouant en défaveur de leurs conceptions (Wolf, 1990)

suivis de ceux-ci ainsi que l'absence des risques et des effets secondaires. Pour le premier item, il aurait été intéressant d'obtenir de plus amples informations sur le temps passé entre le pré-test et l'intervention et sur celui entre l'intervention et le post-test. En effet, ce dernier aurait pu donner des indications relatives au transfert des compétences : l'évaluation immédiatement après l'intervention aurait-elle donné de meilleurs résultats que celle réalisée deux semaines plus tard ? Y aurait-il eu une différence importante entre les évaluations réalisées après 3-4 semaines et celles réalisées après 1-2 semaines ? Au contraire, le transfert des compétences aurait-il été meilleur quelques semaines après la fin de l'intervention plutôt qu'immédiatement après celle-ci ? Et, bien évidemment, ce temps entre l'intervention et l'évaluation est-il un critère à prendre en compte pour améliorer l'efficacité d'une intervention ? Aussi, il se pourrait que les semaines de vacances ayant eu lieu durant la période du programme n'aient pas été rapportées, pour la plupart, et qu'ainsi, pour certaines interventions, la durée soit en réalité plus courte. Pour le deuxième item, il aurait été intéressant d'obtenir les observations cliniques des chercheurs et professeurs concernant les attitudes et comportements des enfants face au programme d'intervention. Sans doute que ce dernier point aurait permis d'appréhender avec plus de certitudes les résultats, particulièrement concernant le nombre de séances par semaine, le temps par séance... Effectivement, il se pourrait que certains enfants ne supportent pas les ateliers de ce genre et soient perturbés par la présence d'une autre personne en classe ou soient agacés par les tâches qui leur sont proposés. N'oublions pas qu'un enfant ayant des attitudes et des comportements négatifs ne sera pas mentalement disposé aux nouveaux apprentissages et qu'au final, cela peut avoir un impact sur son implication et donc sur ses résultats futurs.

Enfin, concernant l'analyse du niveau de preuve de ces études, le choix de la grille à utiliser a suscité une grande remise en question. Sans doute que les études sans mention d'« essai contrôlé randomisé » auraient dû être considérées, à titre plus large, d'études expérimentales²⁴ et qu'ainsi la grille associée aurait apporté moins de biais les concernant. La randomisation, à ce stade, aurait été un bonus venant renforcer la méthodologie des études. Néanmoins, il nous a semblé plus pertinent de choisir la grille CONSORT 2010 revisitée pour les essais contrôlés randomisés afin de garantir une cohérence dans la comparaison entre les études.

²⁴ **Etude expérimentale** : étude dont l'intervenant peut agir sur le statut d'exposition des sujets à un traitement ou à un programme (Cattell, 1988).

2.2. Limites au niveau de la synthèse méthodique

2.2.1. Méthodologie

Tout d'abord, la conception de la recherche a montré plusieurs obstacles aboutissant à la sélection de 19 articles uniquement. En effet, certains articles manquaient fortement d'informations s'avérant importantes pour la recherche, ce qui a constitué un frein dans la décision de prendre en compte l'article et de l'analyser. Rappelons qu'une des raisons constituant un frein à la sélection est le manque d'information de l'abstract. Au fur et à mesure du premier triage, une limite a dû être fixée concernant le maximum d'informations manquantes autorisées, ce qui a permis d'avoir une sélection stricte au niveau des critères tout en faisant preuve d'une certaine tolérance. Il se pourrait alors que l'on soit passé à côté d'articles pertinents, réduisant ainsi notre nombre total d'articles. Néanmoins, lorsque nous comparons cette recherche à deux autres revues du même style abondant, qui plus est, un sujet semblable, aucune différence au niveau de la proportion des articles sélectionnés par rapport à ceux initialement trouvés n'est relevée. Par exemple, dans notre recherche, 4% des articles ont été sélectionnés alors que les méta-analyses de Nelson & McMaster, (2019) et d' A. H. Wang et al., (2016) obtiennent respectivement une proportion d'études sélectionnées de 1,1% et de 2%. Ainsi, la crainte relative à la proportion d'études sélectionnées pour cette analyse s'avère finalement infondée, d'autant plus qu'au vu des limites imposées (i.e., règlement de l'Université de Liège concernant les mémoires de type revue systématique se limitant à 500 références pour le premier triage) certaines décisions, comme la limitation des dates de publications, ont dû être prises. De ce fait, il aurait été possible que plusieurs autres études soient incluses dans l'analyse et que les résultats aient fait osciller l'interprétation vers un autre point de vue.

Aussi, une deuxième limite de cette méthodologie est la constitution de la stratégie de recherche. En effet, il a été difficile de faire le choix des descripteurs les plus pertinents parmi tous ceux proposés, mais également de manipuler le langage libre de sorte que celui-ci permette de compléter la recherche. Bien que la sélection se soit faite sur la base de la Scope Note, il est possible que certains descripteurs ou mots dans le langage libre auraient été plus pertinents et spécifiques pour cette recherche. En effet, relativement aux critères d'exclusion lors du premier triage, 259 articles sur 484 n'ont pas été inclus car il ne s'agissait pas d' « intervention ». Pour cela, trouver un terme se rapprochant le plus possible de la notion de programme d'entraînement, en y incluant une intervention qui se fasse en dehors du programme éducationnel mais toujours dans le milieu scolaire, a été particulièrement difficile. Il est alors

possible que les descripteurs choisis ne soient pas assez spécifiques et que c'est peut-être à cause de cela qu'il y a eu autant de « bruit » dans la recherche. Aussi, le langage libre utilisé en premier lieu n'a sans doute pas permis d'inclure autant de références souhaitées car, premièrement, certains mots ont pu être oubliés, tel que « one-to-one correspondance » qui est la traduction spécifique du terme « dénombrement » et qui, après vérification ne donne pas de résultats pour la base de données PsycInfo ; et deuxièmement car la traduction des concepts mathématiques à cet âge n'est pas forcément évidente. En effet, pour le mot « counting », bien qu'il puisse à la fois faire référence à la comptine numérique et au dénombrement, il est majoritairement utilisé pour le premier concept. Ainsi, la recherche aurait davantage favorisé les références abordant la comptine numérique. Cela s'avère être plausible puisqu'il s'agit de la compétence la plus évaluée dans les résultats.

2.2.2. Résultats

En premier lieu, un regard critique doit être apporté à la notion d'effet spécifique de l'intervention. En effet, bien que de nombreuses variables soient contrôlées, plusieurs facteurs peuvent influencer sur les résultats et il est difficile de mettre en exergue les causes et conditions propres au programme d'intervention. Ainsi, il est important de nuancer les résultats, d'autant plus que les études sélectionnées ne déterminent pas quel facteur a été plus influent dans l'intervention, en raison des nombreuses variables en jeu. Plusieurs questions émergent alors : l'intervention a-t-elle montré des résultats significatifs grâce à la méthodologie interne du programme mis en place ? Ou bien, s'avère-t-elle efficace grâce au programme lui-même ? Au contraire, pour les études n'ayant pas eu d'effet significatif de l'intervention, cela est-il réellement dû à la procédure d'intervention ou au contenu du programme lui-même ? Il paraît compliqué, même après toute cette recherche, de répondre à cela de manière catégorique. Néanmoins, nous pouvons dire que la procédure mise en place semble influencer la réussite de l'intervention. Des recherches futures avec le contrôle de l'une ou l'autre variable, afin d'appréhender l'effet spécifique de la méthodologie ou du programme, seraient intéressantes pour la mise en place d'interventions scolaires.

En deuxième lieu, il semble pertinent de revenir sur les études n'ayant pas montré d'effets significatifs. Comme l'ont démontré les deux études de Szkudlarek et Brannon, (2018) et de Vogt et al., (2018), les effets de l'intervention se sont avérés plus élevés après avoir scindé les participants sur base de leurs compétences au prétest. Un questionnement surgit alors :

pouvons-nous réellement parler d'effet non significatif pour les études pour lesquelles il n'y a pas eu d'effet ? Effectivement, si a priori les auteurs avaient scindé les deux groupes sur la base de leurs pré-compétences, aurait-il été pertinent de les classer tout de même comme n'ayant pas eu d'effets probants ? Peut-être aurait-il été intéressant de regarder spécifiquement les interventions significatives sur les enfants identifiés comme ayant des difficultés, et comparer les résultats concernant la méthodologie du programme avec les nôtres.

Une troisième limite réside dans le manque de détails concernant les tâches évaluant les compétences du nombre et leur dénomination. En effet, certains articles rapportent la batterie de test utilisée en y énumérant les sous-tâches, mais sans les expliciter. Or, comme expliqué plus haut dans la méthodologie, lorsqu'il était référé qu'une tâche évaluait le « counting », sans plus d'information, il était difficile de dire s'il s'agissait de la comptine numérique ou du dénombrement. Aussi, il a été retrouvé plusieurs fois dans la littérature des descriptions de tâches relatives à celle de la comparaison d'ensembles/de chiffres, associées à la compétence de la cardinalité, ce qui n'est pas réellement le cas s'il n'y a que cette tâche-là²⁵. Entre autres, certaines batteries ou tests inconnus auraient pu amener à l'exclusion de l'article si les sous-tâches n'avaient pas été détaillées. Par conséquent, tout ceci constitue un frein essentiel à l'analyse et à l'interprétation des résultats. Il est alors fortement recommandé de bien détailler les tests et les sous-tâches afin de s'assurer de la bonne correspondance des compétences du nombre.

Une quatrième limite, qui a d'ailleurs été citée à plusieurs reprises dans la discussion, est le manque clair d'informations et d'observations cliniques, que ce soit au niveau des participants, des professeurs ou des chercheurs. L'humain, dans toute activité entreprise, développe certaines émotions et comportements associés pouvant impacter ses performances sur le moment ou ultérieurement. Par conséquent, il semble assez important de prendre en considération ces variables pouvant venir moduler l'effet d'une intervention.

En dernier lieu, soulevons le fait que le manque d'analyse statistique a constitué un frein à l'interprétation des données élaborées sur la base d'un faible nombre d'études. Ainsi, il aurait été judicieux de réaliser une méta-analyse pour appuyer les arguments et explications qualitatives proposés en résultats sur la base de données psychométriques concrètes.

²⁵ Rappel : l'enfant, depuis tout petit, est capable d'estimer la différence entre deux ensembles mais la cardinalité s'acquière avec le développement. Même si ces tâches peuvent être un indice concernant la compréhension de cette notion, cela ne veut pas dire que l'enfant est capable de la produire et qu'il l'a entièrement acquise.

3. Conclusions

3.1. Interprétation générale des résultats

A l'heure actuelle, plusieurs programmes d'entraînement ou interventions, dont le but est d'améliorer les compétences du nombre chez les enfants de maternelle tout-venant, ont déjà été mis en place. Aussi, plusieurs données de la littérature indiquent que certains auteurs se sont déjà penchés sur l'intérêt de regrouper tous ces programmes mais jusqu'ici, personne ne l'a fait dans le but de rassembler tous les critères méthodologiques permettant, in fine, de construire un protocole d'étude le plus efficace possible et de déterminer « *quelle serait la meilleure procédure d'intervention* ».

Ainsi, après l'aboutissement de notre question de recherche et de l'exécution d'une stratégie méthodologique rigoureuse et structurée, 19 références ont été rassemblées selon leur caractéristiques méthodologiques. Les résultats semblent montrer que sur l'ensemble de ces études, celles pour lesquelles on observe une amélioration significative des compétences du nombre chez les enfants de maternelle sont celles qui disposent d'une intervention de **type coaching administrée à des petit groupes d'enfants, allant de 3 à 10, pendant 1 mois minimum, à raison de 3 fois par semaine en moyenne, avec des séances d'une durée de 30 minutes**. Aussi, il semblerait que certaines caractéristiques méthodologiques favoriseraient le transfert pour certaines compétences, telles que **l'augmentation de la difficulté** des séances ou l'apprentissage implicite. De plus, il est recommandé de tenir compte de **l'âge de l'enfant** lors de l'élaboration d'une telle intervention afin d'adapter les **compétences du nombre évaluées** et l'organisation globale du programme.

Par conséquent, cette recherche apporte principalement l'idée selon laquelle chaque programme d'entraînement réalisé doit être élaboré peu ou prou « sur-mesure » par rapport à la population choisie, au type d'intervention choisie (et donc au type d'intervenant qui va administrer le programme) et selon les compétences que le chercheur souhaite voir s'améliorer. Néanmoins, deux critères restent ubiquitaires tout le long des résultats et semblent ainsi nécessaires à l'efficacité du programme : l'administration par petits groupes d'élèves et la durée d'intervention durant plus d'un mois.

En conclusion, nous pouvons dire que cette recherche peut apporter des éléments intéressants et aiguiller les futurs chercheurs qui souhaiteraient mettre en place une intervention sur la base des mêmes caractéristiques. L'intégration de ce genre d'intervention en guise de

programme scolaire éducationnel semble également faisable compte tenu du fait que c'est le professeur qui administrerait le programme. Néanmoins, cette recherche, bien qu'elle ait essayé d'être la plus exhaustive possible, demeure encore incomplète sur plusieurs points (c.f., partie Synthèse des niveaux de preuve et Limites).

3.2. Perspectives futures

Comme énoncé à plusieurs reprises, certaines variables ou critères n'ont pas été pris en compte, que ce soit au niveau des études ou dans notre analyse. Voici les perspectives et recommandations qui pourraient alors être suggérées aux futures études.

Tout d'abord, il serait intéressant d'effectuer une revue systématique sur ce même sujet en prenant en compte un maximum de bases de données, en élargissant la période de temps sélectionnée et en complétant (si possible) la stratégie de recherche, afin de voir si les résultats et interprétations rejoindraient les nôtres. Dans le même ordre d'idée, il serait plus pertinent de sélectionner des études sans biais méthodologiques, avec un niveau de preuve moyen, bon ou très élevée pour appuyer la crédibilité des résultats, qui, comme nous l'avons vu, ont été interprétés sur la base d'un nombre restreint d'études.

Concernant les critères associés, peut-être serait-il plus judicieux de sélectionner uniquement des populations provenant de pays dont la langue, l'écriture littéraire et algébrique, le sens et la direction de lecture sont comparables. Aussi, il serait intéressant d'investiguer plus spécifiquement le peu d'études transdisciplinaires existantes afin de comparer les résultats aux nôtres quant à l'efficacité du programme. En ce sens, nous suggérons de prendre en compte, et plus en détail, les compétences travaillées relativement aux compétences du nombre évaluées, afin de les comparer correctement et d'élaborer des hypothèses plus concrètes concernant les critères d'intervention à prendre en compte pour travailler certaines compétences. Enfin, l'addition d'une évaluation statistique serait de rigueur pour consolider les interprétations qualitatives.

Pour clôturer ce travail, plusieurs points sont recommandés concernant les futures études interventionnelles. Premièrement, il serait avantageux d'apporter un point de vue clinique comprenant les observations relatives à l'enfant, au professeur mais aussi à l'expérimentateur, afin d'avoir une vision complète du déroulement du programme et d'identifier les variables affectives et émotionnelles pouvant impacter les performances de

l'enfant. Deuxièmement, il est fortement recommandé de détailler l'ensemble des sous-caractéristiques prises en compte dans les résultats, notamment les sous-tâches des tests utilisés pour les évaluations des compétences numériques ou les activités effectuées par le groupe de référence. Cela permettrait d'améliorer la crédibilité et la fiabilité de l'étude, de rendre celle-ci reproductible et, enfin, d'éviter tout biais méthodologique relatif au recueil de données. Enfin, nous suggérons aux futurs chercheurs d'avoir un regard plus pointu concernant la corrélation entre le niveau socio-économique faible des enfants et leurs performances et de privilégier un échantillon d'enfants de provenance socio-économique mixte s'ils désirent que ce dernier soit le plus représentatif possible de la population.

Bibliographie :

- Alibali, M. W., & DiRusso, A. A. (1999). The function of gesture in learning to count : More than keeping track. *Cognitive Development*, 14(1), 37-56.
[https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(99\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(99)80017-3)
- Aunio, P., & Mononen, R. (2018). The effects of educational computer game on low-performing children's early numeracy skills-An intervention study in a preschool setting. *Journal of Special Needs Education*, 33(5), 677-691.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory : The Interface between Memory and Cognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 281-288.
<https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.281>
- Baker, S., Gersten, R., & Lee, D.-S. (2002). A synthesis of empirical research on teaching mathematics to low-achieving students. *The Elementary School Journal*, 103(1), 51-73.
<https://doi.org/10.1086/499715>
- Barnes, M. A., Klein, A., Swank, P., Starkey, P., McCandliss, B., Flynn, K., Zucker, T., Huang, C.-W., Fall, A.-M., & Roberts, G. (2016). Effects of Tutorial Interventions in Mathematics and Attention for Low-Performing Preschool Children. *Journal of Research on Educational Effectiveness*.
- Baroody, A. J., Brach, C., & Tai, Y. (2006). The Application and Development of an Addition Goal Sketch. *Cognition and Instruction*.
- Baroody, A. J., & Price, J. (1983). The development of number-word sequence in the counting of three-year-olds. *Journal for Research in Mathematics Education*, 14(5), 361-368.
<https://doi.org/10.2307/748681>
- Beaudart, C., Rabenda, V., & Bruyère, O. (2016). Il n'est jamais trop tard pour apprendre à (bien) lire ... La revue systématique. *Ortho-Rhumato*, 14(6).
<https://orbi.uliege.be/handle/2268/205285>

- Binti Ali, S. R. (2017). A Case study of fun Learning with numeracy of preschoolers. *Journal of Early Childhood Education and Care*.
- Bofferding, L., & Hoffman, A. (2019). Children's integer understanding and the effects of linear board games : A look at two measures. *Journal of Mathematical Behavior*.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2019.100721>
- *Bojorque, G., Torbeyns, J., Van Hoof, J., Van Nijlen, D., & Verschaffel, L. (2018). Effectiveness of the Building Blocks program for enhancing Ecuadorian kindergartners' numerical competencies. *Early Childhood Research Quarterly*, 231-241.
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2017.12.009>
- Briars, D., & Siegler, R. S. (1984). A featural analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology*, 20(4), 607-618. <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.20.4.607>
- Brissiaud, R. (1989). *Comment les enfants apprennent à calculer : Au-delà de Piaget et de la théorie des ensembles*. (Retz).
- Bryant, D. P., Bryant, B. R., Roberts, G., Vaughn, S., Pfannenstiel, K. H., Porterfield, J., & Gersten, R. (2011). Early numeracy intervention program for first-grade students with mathematics difficulties. *Exceptional Children*, 78(1), 7-23.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x>
- Cannac, C., Viargues, P., & Dot, D. (2010). L'écriture scientifique : Approche et réflexions. *Rev Odont Stomat*, 39, 3-75.
- Carbonneau, K. J., & Marley, S. C. (2015). Instructional guidance and realism of manipulatives influence preschool children's mathematics learning. *Journal of Experimental Education*, 83(4), 495-513. <https://doi.org/10.1080/00220973.2014.989306>

- Cattell, R. B. (1988). The Principles of Experimental Design and Analysis in Relation to Theory Building. In J. R. Nesselroade & R. B. Cattell (Éds.), *Handbook of Multivariate Experimental Psychology* (p. 21-67). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0893-5_2
- Cheung, P., Rubenson, M., & Barner, D. (2017). To infinity and beyond : Children generalize the successor function to all possible numbers years after learning to count. *Cognitive Psychology*, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2016.11.002>
- Civetelli, C. (2013). *A systematic investigation of program differentiation within a kindergarten reading intervention study : The importance of accounting for implementation across conditions* (Numéros 8-A(E), p. No Pagination Specified). U Connecticut, US.
- Clarke, A. M., & Cooper, G. M. (1966). Transfer in category learnin of young children: its relation to task complexity and overlearning. *British Journal of Psychology*, 57(3-4), 361-373. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1966.tb01037.x>
- Clarke, B., Doabler, C. T., Kosty, D., Kurtz Nelson, E., Smolkowski, K., Fien, H., & Turtura, J. (2017). Testing the efficacy of a kindergarten mathematics intervention by small group size. *Grantee Submission*.
- *Clarke, B., Doabler, C. T., Smolkowski, K., Baker, S. K., Fien, H., & Cary, M. S. (2016). Examining the efficacy of a Tier 2 kindergarten mathematics intervention. *Journal of Learning Disabilities*, 49(2), 152-165. <https://doi.org/10.1177/0022219414538514>
- Clarke, B., Doabler, C. T., Smolkowski, K., Kurtz-Nelson, E., Fien, H., Baker, S. K., & Kosty, D. (2016). Testing the immediate and long-term efficacy of a Tier 2 kindergarten mathematics intervention. *Grantee Submission*.
- Codding, R. S., VanDerHeyden, A. M., Martin, R. J., Desai, S., Allard, N., & Perrault, L. (2016). Maniuplating treatment dose : Evaluating the frequency of small group

- intervention targeting whole number. *Learning Disabilities Research & Practice*, 31(4), 208-220. <https://doi.org/10.1111/ldrp.12120>
- *Cornu, V., Schiltz, C., Pazouki, T., & Martin, R. (2019). Training early visuo-spatial abilities : A controlled classroom-cased intervention study. *Applied Developmental Science*.
- Crollen, V., Noel, M.-P., Honore, N., Degroote, V., & Collignon, O. (2020). Investigating the respective contribution of sensory modalities and spatial disposition in numerical training. *Journal of Experimental Child Psychology*. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104729>
- *Da Silva, E. R., Dos Santos Baldin, M., & Dos Santos, F. H. (2017). Cognitive effects of numeracy musical training in Brazilian preschool children : A prospective pilot study. *Psychology & Neuroscience*, 10(3), 281-296. <https://doi.org/10.1037/pne0000098>
- Demont, É., & Gombert, J.-É. (2004). L'apprentissage de la lecture : Évolution des procédures et apprentissage implicite. *Enfance*, 56(3), 245. <https://doi.org/10.3917/enf.563.0245>
- *Dillon, M. R., Kannan, H., Dean, J. T., Spelke, E. S., & Duflo, E. (2017). Cognitive science in the field : A preschool intervention durably enhances intuitive but not formal mathematics. *Science*, 357(6346), 47-55. <https://doi.org/10.1126/science.aal4724>
- *Doabler, C. T., Clarke, B., Kosty, D. B., Baker, S. K., Smolkowski, K., & Fien, H. (2016). Effects of a core kindergarten mathematics curriculum on the mathematics achievement of spanish-speaking english learners. *School Psychology Review*.
- Doabler, C. T., Clarke, B., Kosty, D., Kurtz-Nelson, E., Fien, H., Smolkowski, K., & Baker, S. K. (2019). Examining the impact of group size on the treatment intensity of a Tier 2 mathematics intervention within a systematic framework of replication. *Journal of Learning Disabilities*, 52(2), 168-180. <https://doi.org/10.1177/0022219418789376>
- Doabler, C. T., Clarke, B., Kosty, D., Smolkowski, K., Kurtz-Nelson, E., Fien, H., & Baker, S. K. (2019). Building number sense among english learners : A multisite randomized

- controlled trial of a Tier 2 kindergarten mathematics intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, 432-444. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.08.004>
- Doctoroff, G. L., Fisher, P. H., Burrows, B. M., & Edman, M. T. (2016). Preschool children's interest, social-emotional skills, and emergent mathematics skills : Preschool children's interest. *Psychology in the Schools*, 53(4), 390-403. <https://doi.org/10.1002/pits.21912>
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., Duckworth, K., & Japel, C. (2008). « School readiness and later achievement » : Correction to Duncan et al. (2007). *Developmental Psychology*, 44(1), 232. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.44.1.217>
- Durieux, N. (2016). *Introduction à la Recherche Documentaire*.
- Durieux, N., Etienne, A.-M., & Willems, S. (2017). Introduction à l'Evidence-Based Practice en psychologie. *Le Journal des psychologues*, 3(345), 16-20. <https://doi.org/10.3917/jdp.345.0016>
- Elbaum, B., Vaughn, S., Tejero Hughes, M., & Watson Moody, S. (2000). How effective are one-to-one tutoring programs in reading for elementary students at risk for reading failure? A meta-analysis of the intervention research. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 605-619. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.4.605>
- Elofsson, J., Bohm, A. E., Jeppsson, C., & Samuelsson, J. (2018). Physical activity and music to support pre-school children's mathematics learning. *Education 3-13*, 46(5), 483-493. <https://doi.org/10.1080/03004279.2016.1273250>
- Fleck, J. R. (1972). Cognitive Styles in children and performance on piagetian Conservation Tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 35(3), 747-756. <https://doi.org/10.2466/pms.1972.35.3.747>

- Foster, M. E., Anthony, J. L., Clements, D. H., Sarama, J., & Williams, J. M. (2016). Improving mathematics learning of kindergarten students through computer-Assisted Instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*.
- Friend, M., Cook, L., Hurley-Chamberlain, D., & Shamberger, C. (2010). Co-Teaching : An Illustration of the complexity of collaboration in special education. *Journal of Educational and Psychological Consultation*, 20(1), 9-27.
<https://doi.org/10.1080/10474410903535380>
- Friso-van den Bos, I., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2018). Counting and number line trainings in kindergarten : effects on arithmetic performance and number sense. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00975>
- Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. Springer-Verlag Publishing; US.
- Garon-Carrier, G., Boivin, M., Lemelin, J.-P., Kovas, Y., Parent, S., Seguin, J. R., Vitaro, F., Tremblay, R. E., & Dionne, G. (2018). Early developmental trajectories of number knowledge and math achievement from 4 to 10 years : Low-persistent profile and early-life predictors. *Journal of School Psychology*, 84-98.
<https://doi.org/10.1016/j.jsp.2018.02.004>
- Geary, D. C., vanMarle, K., Chu, F. W., Rouder, J., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2018). Early conceptual understanding of cardinality predicts superior school-entry number-system knowledge. *Psychological Science*, 29(2), 191-205.
<https://doi.org/10.1177/0956797617729817>
- Gedda, M. (2015a). Traduction française des lignes directrices CONSORT pour l'écriture et la lecture des essais contrôlés randomisés. *Kinesither Rev*, 15(157), 7-12.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.002>.

- Gedda, M. (2015b). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinesither Rev*, 15(157), 39-44.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.006>
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1986). *The child's understanding of number*. Harvard University Press; US.
- *Gerholm, T., Horberg, T., Toner, S., Kallioinen, P., Frankenberg, S., Kjallander, S., Palmer, A., & Taguchi, H. L. (2018). A protocol for a three-arm cluster randomized controlled superiority trial investigating the effects of two pedagogical methodologies in Swedish preschool settings on language and communication, executive functions, auditive selective attention, socioemotional skills and early maths skills. *BMC Psychology*.
- Gersten, R., Chard, D. J., Jayanthi, M., Baker, S. K., Morphy, P., & Flojo, J. (2009). Mathematics instruction for students with learning disabilities : A meta-analysis of instructional components. *Review of Educational Research*, 79(3), 1202-1242.
<https://doi.org/10.3102/0034654309334431>
- Girolametto, L., & Weitzman, E. (2007). Promoting peer interaction skills : professional development for early childhood educators and preschool teachers. *Topics in Language Disorders*, 27(2), 93-110. <https://doi.org/10.1097/01.TLD.0000269927.96009.b7>
- Göbel, S. M. (2018). How culturally predominant reading direction and number word construction influence numerical cognition and mathematics performance. In *Language and Culture in Mathematical Cognition* (p. 229-256). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812574-8.00010-9>
- Griffin, S. (2004). Building number sense with Number Worlds : A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 173-180.
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.012>

- Hall, P., & Weaver, L. (2001). Interdisciplinary education and teamwork : A long and winding road. *Medical Education*, 35, 867-875.
- Hartas, D. (2004). Teacher and speech-language therapist collaboration : being equal and achieving a common goal? *Child Language Teaching and Therapy*.
- *Honore, N., & Noel, M.-P. (2016). Improving preschoolers' arithmetic through number magnitude training : The impact of non-symbolic and symbolic training. *PLoS ONE*, 11(11).
- *Honore, N., & Noel, M.-P. (2017). Impact of working memory training targeting the central executive on kindergarteners' numerical skills. *Journal of Education and Training Studies*.
- Izard, V., Streri, A., & Spelke, E. S. (2014). Toward exact number : Young children use one-to-one correspondence to measure set identity but not numerical equality. *Cognitive Psychology*, 27-53. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2014.01.004>
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters : Kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 850-867. <https://doi.org/10.1037/a0014939>
- *Karademir, A., & Akman, B. (2019). Effect of inquiry-based mathematics activities on preschoolers; Math skills. *Journal of Progressive Education*.
- Kermani, H. (2017). Computer mathematics games and conditions for enhancing young children ; Learning of number sense. *Journal of Learning and Instruction*.
- Koomen, H. M. Y., van Leeuwen, M. G. P., & van der Leij, A. (2004). Does well-being contribute to performance? Emotional security, teacher support and learning behaviour in kindergarten. *Infant and Child Development*, 13(3), 253-275. <https://doi.org/10.1002/icd.352>

- Koponen, T., Salmi, P., Torppa, M., Eklund, K., Aro, T., Aro, M., Poikkeus, A.-M., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2016). Counting and rapid naming predict the fluency of arithmetic and reading skills. *Contemporary Educational Psychology*, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.004>
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties : Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction*, 19(6), 513-526. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002>
- Krinzinger, H., Gregoire, J., Desoete, A., Kaufmann, L., Nuerk, H.-C., & Willmes, K. (2011). Differential language effects on numerical skills in second grade. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42(4), 614-629. <https://doi.org/10.1177/0022022111406252>
- Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. H. (2003). Mathematics interventions for children with special educational needs : A meta-analysis. *Remedial and Special Education*.
- Laborde, C. (1990). Language and mathematics. In P. Nesher & J. Kilpatrick (Éds.), *Mathematics and Cognition* (1^{re} éd., p. 53-69). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013499.005>
- Ladd, G. W. (1990). Having friends, keeping friends, making friends, and being liked by peers in the classroom : Predictors of children's early school adjustment? *Child Development*, 61(4), 1081. <https://doi.org/10.2307/1130877>
- Le Corre, M., Van de Walle, G., Brannon, E. M., & Carey, S. (2006). Re-visiting the competence/performance debate in the acquisition of the counting principles. *Cognitive Psychology*, 52(2), 130-169. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.07.002>
- LeFevre, J.-A., Smith-Chant, B. L., Fast, L., Skwarchuk, S.-L., Sargla, E., Arnup, J. S., Penner-Wilger, M., Bisanz, J., & Kamawar, D. (2006). What counts as knowing? The development of conceptual and procedural knowledge of counting from kindergarten

- through Grade 2. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(4), 285-303.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.11.002>
- Lemaire, P. (1996). The role of working memory resources in simple cognitive arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 8(1), 73-104.
<https://doi.org/10.1080/095414496383211>
- Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E., & Cohen, L. (2003). Approximate quantities and exact number words : Dissociable systems. *Neuropsychologia*, 41(12), 1942-1958.
[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00123-4)
- Lewis Presser, A., Clements, M., Ginsburg, H., & Ertle, B. (2015). Big Math for Little Kids : The effectiveness of a preschool and kindergarten mathematics curriculum. *Early Education and Development*.
- Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science*, 14(6), 1292-1300. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01080.x>
- Lonigan, C. J., Phillips, B. M., Clancy, J. L., Landry, S. H., Swank, P. R., Assel, M., Taylor, H. B., Klein, A., Starkey, P., Domitrovich, C. E., Eisenberg, N., Villiers, J., Villiers, P., & Barnes, M. (2015). Impacts of a comprehensive school readiness curriculum for preschool children at risk for educational difficulties. *Child Development*.
- Maertens, B., De Smedt, B., Sasanguie, D., Elen, J., & Reynvoet, B. (2016). Enhancing arithmetic in pre-schoolers with comparison or number line estimation training : Does it matter? *Learning and Instruction*, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.08.004>
- Marks, G. N. (2005). Accounting for immigrant non-immigrant differences in reading and mathematics in twenty countries. *Ethnic and Racial Studies*, 28(5), 925-946.
<https://doi.org/10.1080/01419870500158943>

- Mavilidi, M.-F., Okely, A., Chandler, P., Louise Domazet, S., & Paas, F. (2018). Immediate and delayed effects of integrating physical activity into preschool children's learning of numeracy skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 502-519. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.09.009>
- *McClelland, M. M., Tominey, S. L., Schmitt, S. A., Hatfield, B., Purpura, D., Gonzales, C., & Tracy, A. (2019). Red Light, Purple Light ! Results of an Intervention to Promote School Readiness for Children from Low-Income Backgrounds. *Grantee Submission*.
- McManis, M. H., & McManis, L. D. (2016). Using a Touch-Based, Computer-Assisted Learning System to promote literacy and math skills for low-income preschoolers. *Journal of Information Technology Education*.
- Meloni, C., Fanari, R., Bertucci, A., & Berretti, S. (2017). Impact of Early Numeracy Training on kindergarteners from middle-income families. *International Association for Development of the Information Society*.
- *Miller, T. (2018). Developing numeracy skills using interactive technology in a play-based learning environment. *Journal of STEM Education*.
- Miura, I. T., Okamoto, Y., Vlahovic-Stetic, V., Kim, C. C., & Han, J. H. (1999). Language Supports for children's understanding of numerical fractions : Cross-National comparisons. In *The development of arithmetic concepts and skills : Constructing adaptive expertise* (Lawrence Erlbaum Associates Publisher, Vol. 74, p. 229-242). <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022096599925195>
- Mou, Y., Berteletti, I., & Hyde, D. C. (2018). What counts in preschool number knowledge? A Bayes factor analytic approach toward theoretical model development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116-133. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.07.016>
- *Navarrete, J. A., Gomez, D. M., & Dartnell, P. (2018). Promoting preschoolers' numerical knowledge through spatial analogies : Numbers' spatial alignment influences its

- learning. *Contemporary Educational Psychology*, 112-124.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2018.06.006>
- Nelson, G., & McMaster, K. L. (2019). The effects of early numeracy interventions for students in preschool and early elementary : A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 111(6), 1001-1022. <https://doi.org/10.1037/edu0000334>
- Nevo, E., & Vaknin-Nusbaum, V. (2018). Enhancing language and print-concept skills by using interactive storybook reading in kindergarten. *Journal of Early Childhood Literacy*, 18(4), 545-569. <https://doi.org/10.1177/1468798417694482>
- Nunes, T., & Bryant, P. (2008). Rational numbers and intensive quantities : Challenges and insights to pupils' implicit knowledge. *Anales de Psicologia*, 24(2), 262-270.
- Ollivier, F., Noel, Y., Legrand, A., & Bonneton-Botte, N. (2019). A teacher-implemented intervention program to promote finger use in numerical tasks. *Journal of Psychology of Education*, No Pagination Specified. <https://doi.org/10.1007/s10212-019-00441-9>
- O'Rear, C. D., & McNeil, N. M. (2019). Improved set-size labeling mediates the effect of a counting intervention on children : Understanding of cardinality. *Developmental Science*.
- Paliwal, V., & Baroody, A. J. (2018). How best to teach the cardinality principle? *Early Childhood Research Quarterly*, 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.03.012>
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2018). The Effectiveness of Computer and Tablet assisted intervention in early childhood students ; Understanding of numbers. An empirical study conducted in Greece. *Education and Information Technologies*.
- *Passolunghi, M. C., & Costa, H. M. (2016). Working memory and early numeracy training in preschool children. *Child Neuropsychology*, 22(1), 81-98.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2014.971726>

- Pianta, R. C., Nimetz, S. L., & Bennett, E. (1997). Mother-child relationships, teacher-child relationships, and school outcomes in preschool and kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly*, 12(3), 263-280. [https://doi.org/10.1016/S0885-2006\(97\)90003-X](https://doi.org/10.1016/S0885-2006(97)90003-X)
- Pianta, R. C., Steinberg, M. S., & Rollins, K. B. (1995). The first two years of school : Teacher-child relationships and deflections in children's classroom adjustment. *Development and Psychopathology*, 7(2), 295-312. <https://doi.org/10.1017/S0954579400006519>
- Piper, B., Sitabkhan, Y., & Nderu, E. (2018). Mathematics from the Beginning : Evaluating the Tayari Preprimary Program's Impact on Early Mathematics Skills. *Global Education Review*.
- Polat, O., Yavuz, E. A., & Tunc, A. B. O. (2017). The Effect of using mind maps on the development of maths and science skills. *Journal of Educational Sciences*.
- Raghubar, K. P., & Barnes, M. A. (2017). Early numeracy skills in preschool-aged children : A review of neurocognitive findings and implications for assessment and intervention. *The Clinical Neuropsychologist*, 31(2), 329-351. <https://doi.org/10.1080/13854046.2016.1259387>
- Rogowsky, B. A., Terwilliger, C. C., Young, C. A., & Kribbs, E. E. (2018). Playful learning with technology : The effect of computer-assisted instruction on literacy and numeracy skills of preschoolers. *Journal of Play*, 7(1), 60-80. <https://doi.org/10.1080/21594937.2017.1348324>
- *Rosenfeld, D., Dominguez, X., Llorente, C., Pasnik, S., Moorthy, S., Hupert, N., Gerard, S., & Vidiksis, R. (2019). A curriculum supplement that integrates transmedia to promote early math learning : A randomized controlled trial of a PBS KIDS intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, 241-253. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2019.07.003>

- Salmi, L.-R. (2012). *Lecture critique et communication médicale scientifique : Comment lire, présenter, rédiger et publier une étude clinique ou épidémiologique*. (3rd éd.). Elsevier Masson.
- Sarnecka, B. W., & Carey, S. (2008). How counting represents number : What children must learn and when they learn it. *Cognition*, 108(3), 662-674.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.05.007>
- Schacter, J., Shih, J., Allen, C. M., DeVaul, L., Adkins, A. B., Ito, T., & Jo, B. (2016). Math shelf : A randomized trial of a prekindergarten tablet number sense Curriculum. *Early Education and Development*.
- Scherer, R., Siddiq, F., & Sanchez Viveros, B. (2019). The cognitive benefits of learning computer programming : A meta-analysis of transfer effects. *Journal of Educational Psychology*.
- *Schmitt, S. A., Korucu, I., Napoli, A. R., Bryant, L. M., & Purpura, D. J. (2018). Using block play to enhance preschool children's mathematics and executive functioning : A randomized controlled trial. *Early Childhood Research Quarterly*, 181-191.
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.04.006>
- Sheridan, S. M., Edwards, C. P., Marvin, C. A., & Knoche, L. L. (2009). Professional development in early childhood programs : Process issues and research needs. *Early Education & Development*, 20(3), 377-401.
<https://doi.org/10.1080/10409280802582795>
- Shirani Bidabadi, N., Nasr Esfahani, A. R., Mirshah Jafari, E., & Abedi, A. (2019). Developing a mathematics curriculum to improve learning behaviors and mathematics competency of children. *Journal of Educational Research*.
- Shore, R. A. (2012). Professional development for early childhood education : A national perspective. *NHSA Dialog*, 15(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/15240754.2012.638560>

- Sidney, P. G., & Thompson, C. A. (2019). Implicit analogies in learning : Supporting transfer by warming up. *Current Directions in Psychological Science*, 28(6), 619-625.
<https://doi.org/10.1177/0963721419870801>
- Siegler, R. S., Duncan, G. J., Davis-Kean, P. E., Duckworth, K., Claessens, A., Engel, M., Susperreguy, M. I., & Chen, M. (2012). Early predictors of high school mathematics achievement. *Psychological Science*, 23(7), 691-697.
<https://doi.org/10.1177/0956797612440101>
- Snell, M. E., Forston, L. D., Stanton-Chapman, T. L., & Walker, V. L. (2013). A review of 20 years of research on professional development interventions for preschool teachers and staff. *Early Child Development and Care*, 183(7), 857-873.
<https://doi.org/10.1080/03004430.2012.702112>
- Starkey, P., Klein, A., & Wakeley, A. (2004). Enhancing young children's mathematical knowledge through a pre-kindergarten mathematics intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 99-120. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.002>
- Stock, P., Desoete, A., & Roeyers, H. (2009). Mastery of the counting principles in toddlers : A crucial step in the development of budding arithmetic abilities? *Learning and Individual Differences*.
- Sullivan, P., Askew, M., Cheeseman, J., Clarke, D., Mornane, A., Roche, A., & Walker, N. (2015). Supporting teachers in structuring mathematics lessons involving challenging tasks. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 18(2), 123-140.
<https://doi.org/10.1007/s10857-014-9279-2>
- *Szkudlarek, E., & Brannon, E. M. (2018). Approximate arithmetic training improves informal math performance in low achieving preschoolers. *Frontiers in Psychology*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00606>
- Takagi, K. (1983). Child development and attention. *Japanese Psychological Review*, 229-244.

- *van den Heuvel-Panhuizen, M., Elia, I., & Robitzsch, A. (2016). Effects of reading picture books on kindergartners' mathematics performance. *Educational Psychology*.
- Van Herwegen, J., Costa, H. M., Nicholson, B., & Donlan, C. (2018). Improving number abilities in low achieving preschoolers: Symbolic versus non-symbolic training programs. *Research in Developmental Disabilities*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.03.011>
- Van Rinsveld, A., Schiltz, C., Majerus, S., & Fayol, M. (2020). When one-two-three beats two-one-three: Tracking the acquisition of the verbal number sequence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(1), 122-129. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01704-8>
- Villani, G. M. (2014). The Influence of Early Childhood Program Participation on Academic Achievement at the Elementary Level. *ProQuest LLC*.
- Vinter, A., & Perruchet, P. (2000). Implicit learning in children is not related to age: Evidence from drawing behavior. *Child Development*, 71(5), 1223-1240. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00225>
- *Vogt, F., Hauser, B., Stebler, R., Rechsteiner, K., & Urech, C. (2018). Learning through play—pedagogy and learning outcomes in early childhood mathematics. *European Early Childhood Education Research Journal*.
- Wang, A. H., Firmender, J. M., Power, J. R., & Byrnes, J. P. (2016). Understanding the program effectiveness of early mathematics interventions for prekindergarten and kindergarten environments: A meta-analytic review. *Early Education and Development*.
- Wang, Y. (2016). *Early literacy intervention in chinese: The relative role of copying activity, and its combination with morphological awareness and pinyin knowledge*. 7-B(E), No Pagination Specified.
- Warren, S. F., Fey, M. E., & Yoder, P. J. (2007). Differential treatment intensity research: A missing link to creating optimally effective communication interventions. *Mental*

- Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 13(1), 70-77.
<https://doi.org/10.1002/mrdd.20139>
- Watts, T. W., Duncan, G. J., Siegler, R. S., & Davis-Kean, P. E. (2014). What's past is prologue: Relations between early mathematics knowledge and high school achievement. *Educational Researcher*, 43(7), 352-360.
<https://doi.org/10.3102/0013189X14553660>
- Westphal, M., & Bonanno, G. A. (2004). 1. Emotion self-regulation. In M. Beauregard (Éd.), *Advances in Consciousness Research* (Vol. 54, p. 1). John Benjamins Publishing Company. <https://doi.org/10.1075/aicr.54.03wes>
- Wolf, F. M. (1990). Methodological observations on bias. In *The future of meta-analysis* (p. 139-151). Wachter, Kenneth W & Straf Miron L.
- Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36(2), 155-193.
<https://doi.org/10.1016/0010-0277%2890%2990003-3>
- Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24(2), 220-251. <https://doi.org/10.1016/0010-0285%2892%2990008-P>
- Xu, F., Spelke, E. S., & Goddard, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science*, 8(1), 88-101. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00395.x>
- Ziegler, E., Edelsbrunner, P. A., & Stern, E. (2018). The relative merits of explicit and implicit learning of contrasted algebra principles. *Educational Psychology Review*, 30(2), 531-558. <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9424-4>

Annexes :

Annexes 1 : Détail de la stratégie de recherche PsycInfo

1. Number Comprehension/
2. Mathematical Ability/
3. (num* and abilit*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
4. counting.mp.
5. "count".mp.
6. "cardinality".mp.
7. (cardinal* and principle*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
8. (cardinal* and meaning*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
9. (cardinal* and knower*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
10. (cardinal* and num*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
11. enumerat*.mp.
12. (cardinal* and value*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
13. 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8 or 9 or 10 or 11 or 12
14. School Based Intervention/
15. Educational Programs/
16. Teaching Methods/
17. (educat* and intervent*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
18. (teach* and program*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
19. (school* and gam*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
20. (class* and gam*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
21. (school* and activit*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
22. (school* and train*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
23. (school* and intervent*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
24. (class* and train*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
25. (class* and intervent*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
26. (train* and program*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
27. (class* and activit*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
28. 14 or 15 or 16 or 17 or 18 or 19 or 20 or 21 or 22 or 23 or 24 or 25 or 26 or 27
29. Preschool Students/
30. Kindergarten Students/
31. Kindergartens/
32. preschool*.mp.
33. kindergarten*.mp.
34. (preschool* and child*).mp. [mp=title, abstract, heading word, table of contents, key concepts, original title, tests & measures, mesh]
35. 29 or 30 or 31 or 32 or 33 or 34
36. 13 and 28 and 35
37. limit 36 to (peer reviewed journal and yr="2015 - 2020")

Annexe 2 : Détail de la stratégie de recherche ERIC

1. Preschool Children/
2. Preschools/
3. Kindergarten/
4. preschool*.ti,ab,mp.
5. kindergarten*.ti,ab,mp.
6. 1 or 2 or 3 or 4 or 5
7. Numeracy/
8. Mathematics Skills/
9. math*.mp. and literacy*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
10. counting*.ti,ab,mp.
11. "count".ti,ab,mp.
12. enumerat*.ti,ab,mp.
13. cardinality.ti,ab,mp.
14. cardinal*.mp. and principle*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
15. cardinal*.mp. and meaning*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
16. cardinal*.mp. and num*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
17. cardinal*.mp. and value*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
18. training methods/
19. learning activities/
20. integrate*.mp. and learn*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
21. train*.mp. and technique*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
22. early intervention/
23. school activities/
24. assembl*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
25. school*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
26. class activities/
27. classroom techniques/
28. class*.ti,ab,mp.
29. early childhood education/
30. school*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
31. train*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
32. teach*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
33. learn*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
34. learn*.mp. and program*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
35. learn*.mp. and technique*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
36. learn*.mp. and method*.ti,ab,mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
37. 18 or 19 or 20 or 21 or 22 or 23 or 24 or 25 or 26 or 27 or 28 or 29 or 30 or 31 or 32 or 33 or 34 or 35 or 36
38. (quant* and literacy*).mp. [mp=abstract, title, heading word, identifiers]
39. 7 or 8 or 9 or 10 or 11 or 12 or 13 or 14 or 15 or 16 or 17 or 38
40. 6 and 37 and 39
41. limit 40 to (peer reviewed and yr="2015 - 2020")

Annexe 3 : Totalité de la table d'extraction

Annexe 3.1 : Caractéristiques de la population complète

CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION

	Mâge (mois)	Classe	Nombre de classes	Nombre d'enfants	Nbr f	Nbr G	Tout venant/ Représentatif de la population	NSE	Origine pop/Pays
BOJORQUE ET AL., 2018	62	K	/ (18 écoles)	355	173	182	O	M	Equateur
CLARKE ET AL., 2016	66,26	K	29	140	66	74	O	M	USA
CORNU ET AL., 2019	64,9	Kindergarten 1 et 2	10	125	/	/	O	M	Luxembourg
DA SILVA ET AL., 2017	60	P	/	57	29	28	O	M	Brésil
DILLON ET AL., 2017	57	P	214	1540	/	/	O	LI	Inde
DOABLER ET AL., 2016	66	K	66	556	272	284	O(english learners)	M	USA
GERHOLM ET AL., 2019	62,5	P	28	432	/	/	O	M	Suisse
HONORE & NOEL, 2016	69	P	/	56	27	29	O	M	Belgique-Wallonie
HONORE & NOEL, 2017	67	P	/	34	/	/	O	M	Belgique
KARADEMIR & AKMAN, 2019	60-72	K	3	57	28	29	O	M	Turquie
MCCLELLAND ET AL., 2019	51	P	13	188	/	/	O	LI	USA
MILLER, 2018	48-60	K	1	13	6	7	O	M	Canada
NAVARRETE ET AL., 2018	52	P	6	77	40	37	O	M	Chili
PASSOLUNGI & COSTA, 2016	60	P	/	48	27	21	O	M	Italie
ROSENFELD ET AL., 2019	53	P	86	966	454	512	O	M	USA
SCHMITT ET AL., 2018	55,2	P	/	59	/	/	O	M	Multiculturel
SZKUDLAREK & BRANNON, 2018	54	P	7	158	/	/	O	LI	USA
VAN DEN HEUVEL-PANHUIZEN ET AL., 2016	62	K	50	384	183	201	O	M	Pays-bas
VOGT ET AL., 2018	75	K	35	329	/	/	O	M	Suisse

Note. Nbr F : Nombre de filles ; Nbr G : nombres de garçons ; NSE : niveau-socio-économique

Annexe 3.2 : Compétences du nombre évaluées (suite)

	Compétences travaillées = compétences évaluées	Autres	Batteries/Tests
BOJORQUE ET AL., 2018	O	Quantifiers, Addition, soustraction, place value, multiplication et division, reconnaissance nombre et subitizing	Test of Early Number and Arithmetic (TENA) & Tools for Early Assessment in Math (TEAM)
CLARKE ET AL., 2016	O	Calculation, Math concepts, base1 à-Place value	TEMA & EN-CBM
CORNU ET AL., 2019	N		
DA SILVA ET AL., 2017	O	Notion de quantité perceptive, Transcodification, Addition, Soustraction	ZAKERI-K
DILLON ET AL., 2017	O	Numerical & Geometric reasoning, nom de figures	/
DOABLER ET AL., 2016	O	Missing number	TEMA-3d; EN-CBM Measures
GERHOLM ET AL., 2019	N	Subitizing	/
HONORE & NOEL, 2016	N	Addition, verbal number comparison task =Number sens	/
HONORE & NOEL, 2017	N	N	/
KARADEMIR & AKMAN, 2019	N	/	TEMA-3d
MCCLELLAND ET AL., 2019	O	Number combination	Preschool Early Numeracy Skills Screener (PENS)
MILLER, 2018	O	/	/
NAVARRETE ET AL., 2018	O	/	/
PASSOLUNGI & COSTA, 2016	O	/	ENT (version A)
ROSENFELD ET AL., 2019	N	Subitizing, reconnaissance nombres, arithmétique, forme et composition de formes	REMA et SBA
SCHMITT ET AL., 2018	N	/	PENS-B
SZKUDLAREK & BRANNON, 2018	O	Simple arithmetic problem	/
VAN DEN HEUVEL-PANHUIZEN ET AL., 2016	N	/	
VOGT ET AL., 2018	O	Ordinality, quantité, number knowledge	

Annexe 3.3 : Caractéristiques des programmes d'entraînement partie 2 (suite partie 1 se trouvant dans le tableau 3)

CARACTERISTIQUES DES PROGRAMMES D'ENTRAÎNEMENT (PARTIE 2)

	En classe	Répartition	Prétests	Post-test 1	Post-test 2	Post-test 3	GE1	GE2	GC
BOJORQUE ET AL., 2018	O	Random	O	O	/	N	O	/	O
CLARKE ET AL., 2016	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
CORNU ET AL., 2019	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
DA SILVA ET AL., 2017	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
DILLON ET AL., 2017	O	Random (écoles)	O	O/0-3 mois*	O/6-9 mois*	O/12-15 mois*	O	O	O
DOABLER ET AL., 2016	O	Random (écoles)	O	O	N	N	O	N	O
GERHOLM ET AL., 2019	O	Random	O	O	N	N	O	O	O
HONORE & NOEL, 2016	O	Random	O	O	N	N	O	O	O
HONORE & NOEL, 2017	O	Random	O	O/immédiat*	O/6 mois*	N	O	N	O
KARADEMIR & AKMAN, 2019	O	Random	O	O/3 jours*	O/5 semaines*	N	O	O	O
MCCLELLAND ET AL., 2019	O	Random	O	O	N	N	O	O	O
MILLER, 2018	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
NAVARRETE, ET AL., 2018	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
PASSOLUNGI & COSTA, 2016	O	Random	O	O	N	N	O	O	O
ROSENFELD ET AL., 2019	O	Random	O	O	N	N	O	O	O
SCHMITT ET AL., 2018	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
SZKUDLAREK & BRANNON, 2018	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
VAN DEN HEUVEL-PANHUIZEN ET AL., 2016	O	Random	O	O	N	N	O	N	O
VOGT ET AL., 2018	O	Random	O	O	N	N	O	O	O

Note. GE1, 1^{er} Groupe expérimental ; GE2, 2^{ème} groupe expérimental ; GC, Groupe contrôle ; *, Oui/ temps entre l'intervention et le post-test.

Annexe 4 : Tableau d'évaluation complète du niveau de preuve des articles selon la liste CONSORT 2010 revisitée

Annexe 4.1 : Niveau de preuve des dix premiers articles par ordre alphabétique

	Item n°	Bojorque et al., 2018	Clarke et al., 2016	Cornu et al., 2019	Da Silva et al., 2017	Dillon et al., 2017	Doabler et al., 2016	Gerholm et al., 2019	Honore & Noel, 2016	Honore & Noel, 2017	Karademir & Akman, 2019
Titre et Résumé	1a	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N
	1b	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Introduction	2a	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	2b	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Méthodologie	3a	O	O	O	O	O	O	O	N	N	O
	3b	N	N	O	O	N	N	NA	N	N	NA
	4a	O	O	N	O	N	N	O	N	N	O
	4b	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	5	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	6a	O	O	O	O	O	O	O	N	O	O
	6b	NA	NA	NA	NA	NA	NA	O	NA	NA	NA
	7a	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	7b	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Randomisation	8a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
8b		O	O	O	O	N	O	O	O	N	O
9		NA	O	O	O	N	N	O	N	N	N
10		N	N	N	N	N	N	O	N	N	N
11a		N	N	N	O	NA	N	O	N	N	NA
11b		NA	NA	NA	NA	NA	NA	O	NA	NA	O
12a		O	O	O	O	O	O	O	N	O	O
12b		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Résultats	13a	O	O	O	O	N	O	O	O	O	O
		O	O	O	N	N	N	O	N	O	O
	14a	N	N	N	N	N	N	O	N	N	O
	14b	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	15	O	N	O	N	N	O	O	N	N	O
	16	N	O	O	O	N	N	N	N	N	O
	17a	O	N	O	O	O	O	O	O	O	O
	17b	N	N	O	N	N	O	O	O	NA	O
	18	O	O	O	O	O	NA	O	O	O	NA
	19	N	O	N	N	N	N	O	N	O	N
Discussion	20	O	O	O	O	N	O	O	O	O	N
	21	O	O	O	O	N	O	O	N	O	O
	22	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Informations supplémentaires	23	O	N	N	N	O	N	O	N	N	N
	24	O	N	N	N	O	N	O	N	N	N
	25	O	N	N	N	O	N	O	N	N	N
Score	37	25	23	25	24	18	20	33	16	19	24

Annexe 4.2 : Niveau de preuve des neuf derniers articles

Section/ sujet	Item n°	McClelland et al., 2019	Miller, 2018	Navarrete et al., 2018	Passolunghi & Costa, 2016	Rosenfield et al., 2019	Schmitt et al., 2018	Szkudlarek & Brannon, 2018	Van den heuvel-Panhuizen et al., 2016	Vogt et al., 2018
Titre et Résumé	1a	N	N	N	N	O	O	N	N	N
	1b	O	O	O	N	O	O	O	O	O
Introduction	2a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	2b	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Méthodologie	3a	N	O	N	N	O	O	O	O	O
	3b	N	N	N	N	O	O	N	N	N
	4a	O	N	O	O	O	O	O	O	N
	4b	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	5	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	6a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	6b	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	7a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	7b	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Randomisation	8a	N	O	O	N	O	O	O	O	O
	8b	O	N	O	O	O	O	N	O	O
	9	N	N	N	N	N	N	N	O	O
	10	N	N	O	N	N	N	N	N	N
	11a	N	N	N	N	N	N	N	O	N
	11b	NA	NA	O	NA	NA	NA	NA	NA	O
	12a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	12b	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Résultats	13a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		N	N	N	N	O	O	N	O	N
	14a	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	14b	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	15	O	N	O	O	O	N	O	O	N
	16	O	O	N	O	N	O	N	O	O
	17a	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	17b	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	18	O	O	NA	NA	O	NA	O	O	NA
	19	N	N	N	N	O	N	N	O	N
Discussion	20	O	O	O	O	O	O	O	O	N
	21	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	22	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Informations supplémentaires	23	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	24	N	N	N	N	N	N	N	N	O
	25	O	O	O	N	N	O	O	O	O
Score /37		22	21	23	19	26	25	22	28	23

Note. NA, Non applicable ; O, Oui ; N, Non.

1a, Identification en tant qu'«essai randomisé» dans le titre ; 1b, Résumé structuré du plan d'essai, méthodes, résultats et conclusions (pour une aide spécifique voir CONSORT pour Abstract) ; 2a, Contexte scientifique et explication du bien-fondé ; 2b, Objectifs spécifiques et hypothèses ; 3a, Description du plan de l'essai (tel que : groupes parallèles, plan factoriel) en incluant les ratios d'allocation ; 3b, Changements importants de méthode après le début de l'essai (tel que les critères d'éligibilité), en expliquer la raison ; 4a, Critères d'éligibilité des participants ; 4b, Structures et lieux de recueil des données ; 5- Interventions pour chaque groupe avec suffisamment de détails pour pouvoir reproduire l'étude, en incluant comment et quand elles ont été véritablement conduites ; 6a, Critères « à priori » de jugement et secondaires entièrement définis, en incluant comment et quand ils ont été évalués ; 6b, Changement quelconque de critères de jugement après le début de l'essai, en expliquer la raison ; 7a, Comment la taille de l'échantillon a-t-elle été déterminée ? 7b, Quand cela est applicable, explication des analyses intermédiaires et des règles d'arrêt. ; 8a, Méthode utilisée pour générer la séquence d'allocation par tirage au sort 8b, Type de randomisation, en incluant les détails à une méthode de restriction (comme par ex. : par blocs, avec la taille des blocs) ; 9, Mécanismes utilisés pour mettre en œuvre la séquence d'allocation randomisée (comme par exemple : l'utilisation d'enveloppes numérotées séquentiellement), en décrivant chaque mesure prise pour masquer l'allocation jusqu'à l'assignation des interventions ; 10, Qui a généré la séquence d'allocation, qui a enrôlé les participants et qui a assigné les participants à leurs groupes ; 11a, Au cas où, décrire qui a été en aveugle après l'assignation des interventions (par exemple, les participants, les administrateurs de traitement, ceux qui évaluent les résultats) et comment ont-ils été empêchés de savoir ; 11b, Si approprié, description de la similitude des interventions ; 12a, Méthodes statistiques utilisées pour comparer les groupes au regard des critères de jugement principal et secondaires ; 12b, Méthodes utilisées pour des analyses supplémentaires, telles que des analyses de sous-groupes ou des analyses ajustées ; 13a, Pour chaque groupe, le nombre de participants qui ont été assignés par tirage au sort, qui ont reçu le traitement qui leur était destiné, et qui ont été analysés pour le critère de jugement principal + Pour chaque groupe, abandons et exclusions après la randomisation, en donner les raisons ; 14a, Dates définissant les périodes de recrutement et de suivi ; 14b, Pourquoi l'essai a-t-il pris fin ou a été interrompu ; 15, Une table décrivant les caractéristiques initiales démographiques et cliniques de chaque groupe ; 16, Nombre de participants (dénominateur) inclus dans chaque analyse en précisant si l'analyse a été faite avec les groupes d'origine ; 17a, Pour chaque critère de jugement principal et secondaire, donner les résultats pour chaque groupe, et la taille estimée de l'effet ainsi que sa précision (comme par ex. : intervalles de confiance à 95%) ; 17b, Pour les variables binaires, une présentation de la taille de l'effet en valeurs absolues et relatives est recommandée ; 18, Résultats de toute analyse supplémentaire réalisée, en incluant les analyses en sous-groupes et les analyses ajustées, et en distinguant les analyses spécifiées à priori des analyses exploratoires ; 19, Tous les risques importants ou effets secondaires inattendus dans chaque groupe (pour un conseil détaillé voir 'CONSORT for harms') ; 20, Limitations de l'essai, en tenant compte des sources de biais potentiels ou d'imprécision, et au cas où, en tenant compte de la multiplicité des analyses ; 21, «Généralisabilité» (validité externe, applicabilité) des résultats de l'essai ; 22, Interprétations/conclusions cohérentes avec les résultats, en tenant compte du ratio bénéfices/risques et de possibles autres faits pertinents ; 23, Numéro d'enregistrement de l'essai en précisant le registre utilisé ; 24, Où le protocole complet de l'essai peut-il être consulté, si possible ; 25, Sources de financement et autres ressources (par ex. : fournitures de médicaments), rôle des donateurs.

Annexe 5 : Tableau de résultats/nombre d'études qui correspond à chaque critère

Annexe 5.1.1 : Nombre d'études ayant eu un effet significatif dans l'ensemble et par type d'intervention

Caractéristiques		Sous- caractéristiques	Nombres d'interventions (n=19)	Résultats interventions avec effet significatif (n=14)	Résultats avec effet significatif par type d'intervention (n=14)	
					Coaching /8	Interdisciplinaire /6
Caractéristiques des interventions	Type d'intervention	Interdisciplinaire	11	6/11		
		Coaching	8	8/8		
	Nombre d'enfants par groupe	"Small" groupe (1-10)	13	9/13	4	5
		"Large" groupe (10-20)	2	2/2	1	1
		Toute la classe	4	3/4	3	/
	Durée du programme d'intervention	1-4 semaines	4	1/4	/	1
		5-8 semaines	8	6/8	3	3
		9-12 semaines	3	2/3	2	/
		16-21 semaines	3	3/3	1	2
		30-32 semaines	2	2/2	2	/
	Temps par séance	10-20	9	3/9	1	2
		21-30	3	3/3	2	1
		31-45	3	3/3	2	1
		46-60	2	2/2	/	2
		>61	1	1/1	1	/
	Nombre de séances par semaines	1	1	1/1	/	1
		1-2	1	1/1	/	1
		2	5	3/5	1	2
		2-3	1	0/1	/	/
		3	4	4/4	2	2
		4	2	1/2	1	/
		5	4	2/4	2	/
		Organisation libre du professeur	2	2/2	2	/
	Nombre de séances au total dans le programme d'intervention	1-10	8	6/8	1	5
		11-15	2	0/2	/	/
		16-29	5	4/5	4	/

Compétences du nombre évaluées		30-49	1	1/1	1	/
		50-100	1	1/1	/	1
		>100	2	2/2	2	/
	Augmentation de la difficulté	Oui	6	4/6	1	3
		Non	13	9/13	6	3
	Acquisition chaîne numérique verbale	Comptine	12	8/12	4	4
		Sécabilité	5	2/5	1	1
		Number Naming	14	10/14	5	5
	Dénombrement		11	8/11	5	5
	Cardinalité		10	7/10	6	6
	Fonction de succession		5	4/5	3	2
	Compétences pré- arithmétiques	Composition	10	6/10	5	1
		Décomposition	6	4/6	3	1
Caractéristiques de la population	Age de l'échantillon	48-60 (« petit »)	9	6/9	3	4
		61-72	11		6	2
		(« moyen »)		7/11		
		>73 (« avancé »)	1	1/1	1	/
	Taille de l'échantillon	0-50 (« petit »)	4	1/4	/	1
		51-100	5		2	3
		(« moyen »)		4/5		
		101-500	8		5	1
		(« large »)		6/8		
		>501 (« très large »)	3		2	1
				3/3		

Annexe 5.1.2 : Nombre d'interventions ayant eu un effet significatif qui ont évalué ces compétences du nombre

Caractéristiques		Sous-caractéristiques	Compétences du nombre évaluées pour les études ayant un effet significatif							
			Chaîne numérique verbale					Compétences pré-arithmétiques		
			Comptine /8	Sécabili té /2	Numb er Namin g /10	Dénombre ment /8	Cardinalité /7	Fonctio n de successi on /4	Compositi on /6	Décomposit ion /4
Caractéristiques des interventions	Type d'intervention	Interdisciplinaire	4	1	5	3	1	/	1	1
		Coaching	4	1	5	5	6	4	5	3
	Nombre d'enfants par groupe	"Small" groupe (1-10)	5	1	6	4	5	2	4	3
		"Large" groupe (10-20)	2	/	2	1	1	1	/	/
		Toute la classe	2	1	2	2	2	1	1	1
	Durée du programme d'intervention	1-4 semaines	1	/	1	/	/	/	/	/
		5-8 semaines	2	1	3	3	3	3	1	1
		9-12 semaines	2	/	2	1	/	/	2	1
		16-21 semaines	1	/	2	2	2	/	2	1
		30-32 semaines	2	1	2	2	3	1	1	1
		10-20	2	/	3	2	1	1	1	1
	Temps par séance	21-30	/	/	/	1	2	1	1	1
		31-45	3	1	3	2	3	2	1	1
		46-60	1	1	2	2	/	/	/	/
		>61	1	/	1	/	/	/	/	/
		1	/	/	1	1	/	/	/	/
	Nombre de séances	1-2	/	/	/	/	/	/	/	/
		2	2	1	3	2	1	2	/	/

	par semaines	2-3	/	/	/	/	/	/	/	/
		3	3	/	3	2	3	1	3	3
		4	/	/	/	1	1	/	/	/
		5	2	1	2	2	2	1	1	1
	Nombre de séances au total dans le programme d'intervention	Organisation libre du professeur	1	/	1	/	1	/	2	/
		1-10	3	1	4	2	1	1	/	/
		11-15	0	/	/	/	/	/	/	/
		16-29	0	/	2	3	2	2	1	1
		30-49	1	/	1	1	1	/	1	1
		50-100	1	/	1	1	1	/	1	1
		>100								
			2	1	2	2	2	1	1	1
	Augmentation de la difficulté	Oui	1	1	3	4	/	1	/	/
		Non								
	Caractéristiques de la population		7	1	7	5	8	3	6	4
		Age de l'échantillon								
		48-60 (« petit »)	3	1	4	3	2	2	1	/
		61-72 (« moyen »)	6	1	6	5	6	1	4	3
		>73 (« avancé »)	/	/	/	/	1	1	1	1

Annexe 5.2.1 : Nombre d'études n'ayant pas eu d'effet significatif dans l'ensemble et par type d'intervention

Caractéristiques		Sous-caractéristiques	Résultats interventions avec effet significatif	Résultats avec effet significatif par type d'intervention	
Caractéristiques des interventions	Type d'intervention			Coaching	Interdisciplinaire
		Interdisciplinaire	5		
		Coaching	0		
	Nombre d'enfants par groupe	"Small" groupe (1-10)	4	/	4
		"Large" groupe (10-20)	/	/	/
		Toute la classe	1	/	1
	Durée du programme d'intervention	1-4 semaines	2	/	2
		5-8 semaines	2	/	2
		9-12 semaines	1	/	1
		16-21 semaines	/	/	/
		30-32 semaines	/	/	/
	Temps par séance	10-20	4	/	4
		21-30	/	/	/
		31-45	1	/	1
		46-60	/	/	/
		>61	/	/	/
	Nombre de séances par semaines	1	/	/	/
		1-2	/	/	/
		2	3	/	2
		2-3	1	/	1
		3	/	/	/
		4	/	/	/
		5	1	/	1
		Organisation libre du professeur	/	/	/

Compétences du nombre évaluées	Nombre de séances au total dans le programme d'intervention	1-10	/	/	/
		11-15	2	/	2
		16-29	3	/	3
		30-49	/	/	/
		50-100	/	/	/
		>100	/	/	/
	Augmentation de la difficulté	Oui	1	/	1
		Non	4	/	4
	Acquisition chaîne numérique verbale	Comptine	4/5	/	4/5
		Sécabilité	3/5	/	3/5
		Number Naming	4/5	/	4/5
	Dénombrement		3/5	/	5
	Cardinalité		3/5	/	6
	Fonction de succession		2/5	/	2
	Compétences pré-arithmétiques	Composition	4/5	/	4/5
		Décomposition	2/5	/	2/5
Caractéristiques de la population	Age de l'échantillon	48-60 (« petit »)	2	/	2
		61-72 (« moyen »)	3	/	3
		>73 (« avancé »)	/	/	/
	Taille de l'échantillon	0-50 (« petit »)	1	/	1
		51-100 (« moyen »)	3	/	3
		101-500 (« large »)	1	/	1
		>501 (« très large »)	4	/	4

Annexe 5.2.2 : Nombre d'études n'ayant pas eu d'effet significatif par compétence évaluée

Caractéristiques		Sous-caractéristiques	Compétences du nombre évaluées pour les études ayant un effet significatif							
			Chaîne numérique verbale					Compétences pré-arithmétiques		
			Comptine /4	Sécabili té /3	Numb er Namin g /5	Dénombre ment /4	Cardinalité /3	Fonctio n de successi on /2	Compositi on /4	Décomposit ion /2
Caractéristiques des interventions	Type d'intervention	Interdisciplinaire	4	3	5	4	3	2	4	2
		Coaching	/	/	/	/	/	/	/	/
	Nombre d'enfants par groupe	"Small" groupe (1-10)	3	2	4	3	2	2	3	1
		"Large" groupe (10-20)	/	/	/	/	/	/	/	/
		Toute la classe	1	1	1	1	1	/	1	1
	Durée du programme d'intervention	1-4 semaines	2	1	2	/	2	1	2	1
		5-8 semaines	1	1	2	3	/	1	1	/
		9-12 semaines	1	1	1	1	1	/	1	1
		16-21 semaines	/	/	/	/	/	/	/	/
		30-32 semaines	/	/	/	/	/	/	/	/
	Temps par séance	10-20	4	3	4	3	3	1	4	2
		21-30	/	/	/	/	/	/	/	/
		31-45	/	/	1	1	/	1	/	/
		46-60	/	/	/	/	/	/	/	/
		>61	/	/	/	/	/	/	/	/
	Nombre de séances	1	/	/	/	/	/	/	/	/
		1-2	/	/	/	/	/	/	/	/
		2	2	2	2	2	1	1	2	2

	par semaines	2-3	1	/	1	/	1	1	1	/
		3	/	/	/	/	/	/	/	/
		4	/	/	/	/	/	/	/	/
		4-5	/	/	/	/	/	/	/	/
		5	1	1	1	1	1	/	1	/
	Nombre de séances au total dans le programme d'intervention	Organisation libre du professeur	/	/	/	/	/	/	/	/
		1-10	/	/	/	/	/	/	/	/
		11-15	1	/	2	1	1	1	1	/
		16-29	3	3	3	3	2	1	3	2
		30-49	/	/	/	/	/	/	/	/
		50-100	/	/	/	/	/	/	/	/
		>100								
			/	/	/	/	/	/	/	/
		Augmentation de la difficulté								
		Oui	1	1	2	2	1	1	1	/
		Non								
			3	2	3	2	2	1	3	2
Caractéristiques de la population	Age de l'échantillon	48-60 (« petit »)	1	1	2	3	2	2	2	/
		61-72 (« moyen »)	3	2	3	1	1	1	2	2
		>73 (« avancé »)	/	/	/	/	/	/	/	/

Partie 2 : Interventions en milieu scolaire

1. Intervention « doigts et nombres »

1.1. *Déroulement des séances*

L'intervention numérique a été réalisée par une étudiante stagiaire durant les dix semaines du programme. Les séances se déroulaient sur les temps de classe et en collaboration avec les enseignantes des deux classes. Afin de garantir une certaine routine quotidienne, recommandée par Wang et al. (2016), les séances proposées gardaient une structure identique. Les dix premières minutes des séances étaient consacrées à un temps de regroupement. C'était alors l'occasion de rappeler les notions travaillées, de chanter ou de présenter de nouveaux ateliers. Les enfants étaient, par la suite, répartis en deux groupes de tailles égales pour travailler en atelier. L'un des groupes de travail était encadré par l'étudiante stagiaire tandis que le second l'était par l'enseignante. Chaque groupe réalisait une activité différente répondant aux objectifs travaillés. Les enfants travaillaient sur une première activité environ huit à dix minutes avant de changer d'atelier. Le vendredi était consacré à des ateliers tournants reprenant trois activités réalisées au cours de la semaine. Les enfants étaient alors répartis en trois groupes et étaient invités à réaliser chaque atelier durant une dizaine de minutes. C'était alors l'occasion de réaliser nos évaluations formatives tout comme le préconise Wilson et al. (2009). Nous considérions la numérosité travaillée comme étant acquise si 80% des enfants de notre échantillon étaient capables de produire la collection de la numérosité travaillée au cours d'une tâche de type « donne-moi » avec une entrée digitale. Si tel était le cas, le programme était poursuivi en augmentant d'une numérosité par semaine. Dans le cas contraire, le travail de la numérosité se poursuivait sur quelques jours afin d'obtenir le pourcentage de réussite souhaité.

1.2. *Matériel et méthode*

Au total, 123 activités ont été proposées aux enfants tout au long du programme (pour un détail de ces activités, se référer au document annexé). En lien avec nos questions de recherche, les

activités ont été réparties en deux catégories : les activités numériques (63%) et les activités digitales (37%) (Figure 10).

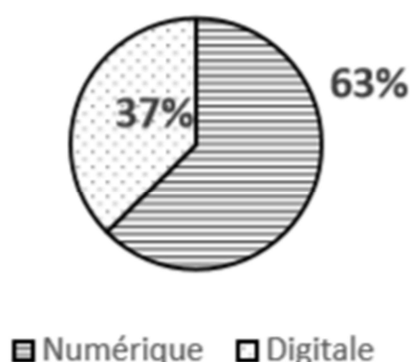


Figure 10 : Répartition des activités proposées dans le cadre de l'intervention « doigts et nombres »

Les activités numériques visaient à développer les apprentissages nécessaires à l'acquisition des habiletés numériques précoces (e.g., compréhension de la cardinalité et de ses prérequis) tandis que les activités motrices visaient, quant à elles, à développer les habiletés motrices digitales telles que les gnosies digitales ou encore la dissociation et la coordination des doigts nécessaires à la représentation des nombres par des configurations de doigts ou à la récitation de la chaîne numérique digitale.

1.2.1. Activités numériques

Les activités numériques ont été réparties selon quatre objectifs différents dont la progression suivait le développement des compétences numériques de l'enfant (Figure 11) :

- Apprendre la chaîne numérique digitale (3%).
- Reproduire sur ses doigts les gestes-nombres des numérosités étudiées (22%).

- Savoir dénombrer les éléments d'une collection en respectant le principe de correspondance terme à terme et produire une réponse cardinale (36%).
- Savoir produire une collection d'éléments demandée au départ d'une représentation numérique digitale (39%).

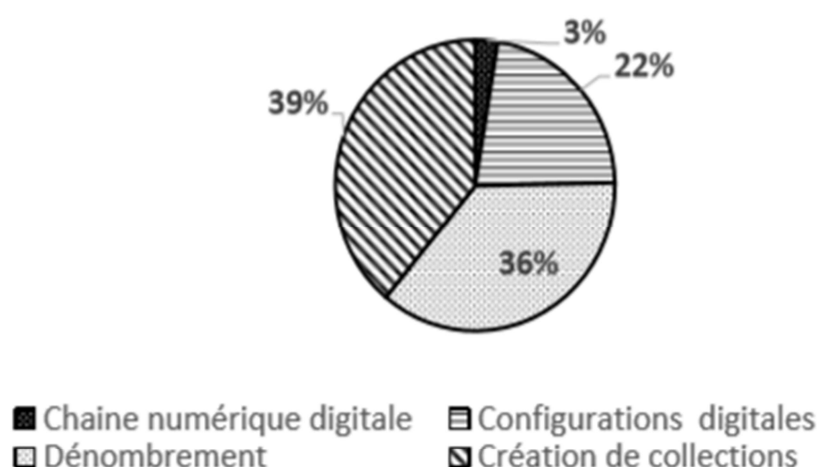


Figure 11 : Répartition des activités numériques réalisées dans le cadre de l'intervention « doigts et nombres »

Tout au long des dix semaines d'intervention, nous avons travaillé les numérosités de un à dix en augmentant d'une unité par semaine. Une nouvelle numérosité était découverte le lundi et travaillée le reste de la semaine conjointement à la numérosité précédente. Lors de la phase de découverte, il s'agissait d'apprendre la configuration digitale permettant de représenter le mot-nombre découvert ainsi que de rappeler et développer la chaîne numérique digitale. L'apprentissage de la nouvelle configuration digitale se faisait au moyen de figurines en pâte à sel représentant des empreintes d'animaux (Figure 12a). Lors de cette activité collective, les enfants comptaient le nombre de « doigts » présents sur l'empreinte étudiée et apprenaient à représenter ce

nombre sur leurs propres doigts. Les temps de regroupement étaient également l'occasion de répéter ensemble la chaîne numérique digitale en levant chaque doigt en correspondance avec les mots-nombres. Puisqu'il était difficile de juger du niveau individuel des enfants quant à cette compétence, des ateliers encadrés par l'adulte ont été réalisés en prime. C'était alors l'occasion de leur proposer des puzzles en bandelettes (Figure 12b) qu'ils devaient assembler en respectant l'ordre des configurations de doigts de la chaîne numérique digitale.

Lorsque le transcodage (i.e., représentation du mot-nombre par la configuration de doigts correspondante) et la comptine numérique digitale semblaient maîtrisées jusqu'au nombre étudié, nous proposons aux enfants de travailler le lien entre le symbole digital (i.e., configuration digitale) et la collection non symbolique associée au moyen d'activités de dénombrement. Plusieurs activités différentes travaillant des compétences identiques ont été proposées aux enfants. Lors de l'assemblage du puzzle (Figure 12c), par exemple, il s'agissait de dénombrer les collections de manchots dessinés derrière chaque pièce. L'enfant devait, par la suite, placer la pièce du puzzle sur la configuration de doigts correspondante afin de reconstituer le dessin dans son entièreté. Ces activités nous permettaient de développer les principes de dénombrement décrits par Gelman et Gallistel en 1978 (cités par Gelman, R. & Meck, 1983) dont celui de correspondance terme à terme. C'était également l'occasion de donner un sens à la configuration digitale travaillée lui conférant ainsi une valeur cardinale (Di Luca & Pesenti, 2008).

Rappelons que Wynn (1992) met en évidence le fait que certains enfants peuvent se montrer capables de produire une réponse cardinale à une activité de dénombrement sans pour autant avoir acquis entièrement le sens cardinal du mot-nombre. Afin de répondre à cette critique, nous choisissons de travailler l'acquisition de la cardinalité en proposant également des activités au cours desquelles les enfants étaient amenés à produire, par eux-mêmes, une collection d'éléments d'une numérosité donnée au moyen d'une configuration digitale. Pour exemple, lors de l'activité du porc épic (Figure 12d), les enfants devaient placer sur l'animal le nombre de pinces à linge indiqués par la configuration de doigts.



Figure 12 : Exemple d'activités numériques présentées aux enfants

1.2.2. Activités digitales

Les activités digitales ont été réparties en deux groupes d'activités : les activités développant les compétences de dissociation (80%) et celles de coordination (20%) des doigts (Figure 13).

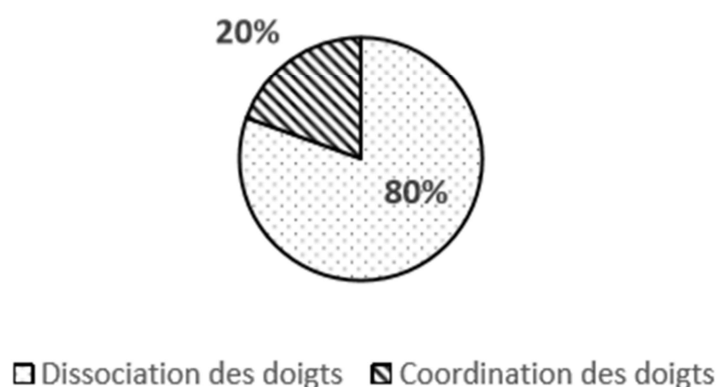
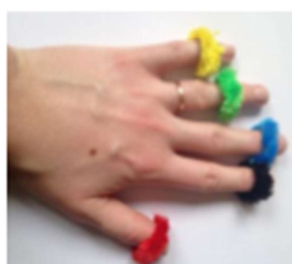


Figure 13 : Répartition des activités motrices digitales réalisées dans le cadre de l'intervention « doigts et nombres »

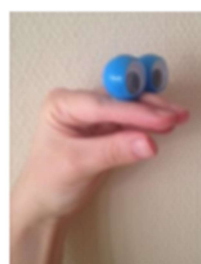
Les activités de développement des compétences de dissociation des doigts s'inspirent de la méthodologie de Gracia-Bafalluy et Noël (2008). A titre d'exemple, nous avons appris aux enfants à enfiler des bagues de couleurs en suivant un ordre précis (Figure 14a). Ces derniers devaient, par la suite, toucher chaque animal présenté sur la feuille d'exercices (Figure 14b) en faisant correspondre la couleur de l'animal avec le doigt portant la bague de la couleur travaillée. Ainsi, ils devaient, par exemple, toucher la grenouille verte avec l'annulaire, puis le poussin jaune avec l'auriculaire etc... Afin de compléter ces activités et en accord avec l'objectif travaillé, nous chantions plusieurs fois par semaine une chanson gestuée pendant laquelle les enfants devaient, par exemple, imiter la bouche du crocodile en faisant toucher l'index, le majeur, l'annulaire et l'auriculaire par le pouce (Figure 14c).



a



b



c

Figure 14 : Exemple d'activités visant à développer la dissociation des doigts

Les compétences de coordination ont, quant à elles, été travaillées au moyen d'un jeu de plateau pendant lequel chaque enfant devait piocher une carte (Figure 15) présentant une activité

digitale dynamique (e.g., ouverture de la main en écartant les doigts l'un après l'autre). La carte était lue par l'adulte et l'item montré aux enfants qui devaient, par la suite, reproduire la figure.



Figure 15 : Jeu de plateau permettant l'entraînement des compétences de coordination

2. Interventions contrôlées « lecture » et « psychomotricité »

Parallèlement à notre intervention expérimentale, une intervention en lecture partagée a été proposée aux enfants du « Groupe L. ». Cette intervention, proposée par une logopède diplômée, a été construite en s'inspirant de la méthodologie de Lefebvre, Trudeau et Sutton (2011). Elle présentait, tout comme pour notre intervention, une structure régulière tout au long de la semaine afin de permettre la mise en place de routines d'apprentissage. Un livre était ainsi découvert chaque lundi et lu aux enfants chaque jour de la semaine. Au cours de cette lecture, l'intervenant réalisait des interruptions régulières afin de travailler les prérequis à la lecture tels que le vocabulaire, la conscience phonologique ou encore la découverte de stratégies de lecture (e.g., il est nécessaire de

commencer à lire par la première ligne qui se situe sur la gauche). Au total, dix livres différents ont été travaillés au cours de l'ensemble de notre programme.

L'intervention en psychomotricité, proposée à notre « Groupe P. » consistait, quant à elle à développer les compétences motrices générales des enfants. Elle a été réalisée par trois étudiantes différentes. Il s'agissait alors de travailler ces compétences au moyen de jeux individuels et collectifs. Une à deux fois par semaine, un circuit installé dans la salle de psychomotricité de l'école était proposé aux enfants afin qu'ils puissent apprendre à réaliser des roulades ou à monter sur des espaliers.

Résumé :

Contexte : Dans le but de pallier les différences interindividuelles que l'on peut souvent retrouver en mathématiques chez les enfants en première année de primaire, de nombreux programmes d'entraînements en milieu scolaire ont été mis en place. Cependant, compte tenu des résultats hétérogènes que l'on retrouve dans la littérature, il est difficile de savoir quel serait, finalement, le meilleur prototype d'intervention à mettre en place pour que celle-ci soit la plus efficace possible. Le but de ce mémoire est donc de rassembler toutes les études d'intervention en milieu scolaire chez les enfants de maternelle tout-venant et toutes celles traitant du domaine numérique dans la littérature afin, idéalement, de pouvoir aiguiller les prochains auteurs dans la mise en place d'un programme de ce genre et ainsi d'en garantir une meilleure efficacité.

Méthodologie : Cette recherche prend la forme d'une revue de type systématique, suivant une méthodologie rigoureuse propre à ce type de référence. Une stratégie de recherche a donc été appliquée à deux bases de données, après avoir été longuement discutée, pour obtenir un maximum de 500 références (critères mis en place pour la réalisation d'un mémoire à la FPLSE). Après deux phases de triage, au regard des nombreux critères d'éligibilité établis, 19 références ont pu être analysées et interprétées pour répondre à notre question de recherche.

Résultats et discussion : Sur les 19 études sélectionnées, 14 ont montré un effet significatif de l'intervention. Ainsi, l'analyse qualitative des résultats semble montrer une meilleure efficacité des programmes d'entraînement lorsqu'il s'agit du professeur de la classe, préalablement entraîné, qui l'administre à un petit groupe d'enfants (entre 3 et 10 élèves). Avec cela, les sessions d'entraînement devraient s'étaler sur une période d'au moins un mois, à raison de 3 fois par semaines durant 30 minutes minimum par jour. L'interprétation de cette analyse qualitative a également été menée de manière plus étendue en croisant les caractéristiques de l'intervention avec celles de la population et les compétences du nombre. Pour que l'intervention soit profitable au transfert des apprentissages, il serait nécessaire d'adapter le programme en fonction de l'âge de l'échantillon et selon certains concepts numériques qui seraient plus sensibles à certaines procédures. Aussi, nous avons croisé les caractéristiques de la population et les compétences du nombres évaluées. Les résultats montrent qu'il serait davantage bénéfique, pour le transfert des apprentissages, d'adapter les compétences évaluées selon le développement cognitif et mathématiques de l'enfant. Les résultats concernant les études non significatives ont également été interprétés et vont dans le sens de nos hypothèses. Tous ces résultats ont ensuite été discutés et comparés avec la littérature et, enfin, les limites ont été abordées au regard de la présente recherche et des études sélectionnées.