

**Trouble des apprentissages en mathématiques et ligne  
numérique : revue systématique de la littérature**

Laetitia MARCON\*, Anne LAFAY\*\*

\* étudiante en master en orthophonie, Institut des Techniques et Sciences de Réadaptation, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, France

\*\* orthophoniste, membre de l'Ordre des Orthophonistes et Audiologistes du Québec, chercheuse postdoctorale, Mathematics Teaching and Learning Lab, Concordia University, Montréal, Canada

**Adresses de correspondance :**

laetitia.marcon@hotmail.fr

lafay\_anne@yahoo.fr

ISSN 2117-7155

**Résumé :**

La précision des représentations numériques sur la ligne numérique est corrélée et prédictive des capacités de calcul. Le présent article a pour but de faire état des connaissances portant sur la précision des représentations numériques sur ligne numérique des personnes ayant un trouble des apprentissages en mathématiques (TAM - dyscalculie). Pour cela, une méthode de *scoping* sur six bases de données a été utilisée. Les résultats de cette revue systématique de la littérature ont permis d'identifier vingt articles. Une synthèse a donc été réalisée concernant les performances plus faibles des personnes ayant un TAM par rapport aux personnes au développement typique (DT) sur une ligne de 0 à 100 et de 0 à 1000, ainsi que les stratégies moins fréquentes, plus atypiques et moins efficaces des TAM. De plus, les interventions ciblant ou utilisant la ligne numérique chez les personnes TAM ont montré l'efficacité d'un entraînement adapté et ciblé sur la représentation des nombres mais aussi sur les habiletés de calcul.

**Mots clés :** dyscalculie - trouble des apprentissages en mathématiques - ligne numérique

**Math learning disabilities and number line: Systematic review of literature****Summary:**

The accuracy of number representation on the number line is correlated and predictive on arithmetical skills. The current research aims to sum up data on studies concerning number representation on number line and people with math learning disabilities (MLD - Developmental dyscalculia). A scoping method on six data bases was used. Results of this systematic literature review allowed to identify twenty studies. A synthesis thus revealed low performances for people with MLD comparing to people with typical development on a line from 0 to 100 and from 0 to 1000. In addition, MLD seem to use strategies less frequently, more atypical and less efficient. Moreover, interventions focusing or using number line with MLD showed that a suitable and targeted training is efficient on number representation and on calculation skills.

**Key words:** developmental dyscalculia - math learning disabilities (MLD) - number line

## ----- INTRODUCTION -----

### 1. Le Trouble des Apprentissages en Mathématiques

La dyscalculie est, d'après le manuel de diagnostic et statistique des troubles mentaux (DSM-5, 2013), un trouble des apprentissages en mathématiques. Ce trouble touche le traitement des données numériques, l'apprentissage des faits arithmétiques, le calcul ou la résolution de problèmes. Les difficultés apparaissent en cours de scolarité primaire et sont présentes pendant au moins six mois malgré la mise en place de mesures (pédagogique ou thérapeutique) ciblant ces difficultés. Les performances scolaires perturbées sont nettement en-dessous du niveau escompté pour l'âge chronologique du sujet, et ce de manière quantifiable, interférant de façon significative avec les performances scolaires et les activités de la vie quotidienne. Enfin, les difficultés ne peuvent être mieux expliquées par un handicap intellectuel, une acuité visuelle ou auditive non corrigée, des troubles neurologiques ou mentaux, un trouble psychosocial, un manque de maîtrise de la langue d'enseignement scolaire ou une pédagogie inadéquate de l'enseignement. Ce trouble peut aussi être appelé trouble des apprentissages en mathématiques : il sera abrégé TAM par la suite, en opposition aux enfants au développement typique (DT).

La cause du TAM est controversée. Selon la première hypothèse, le TAM résulterait d'un trouble cognitif général affectant par exemple la mémoire de travail (pour une revue, voir Geary, 1993, 2010 ; Geary, Nicholas, Li, & Sun, 2017). Selon la seconde hypothèse, le TAM résulterait d'un déficit cognitif numérique : un déficit du sens du nombre (Andersson & Östergren, 2012 ; Desoete, Praet, Titeca & Ceulemans, 2013 ; Sella, Berteletti, Brazzolotto, Luncageli, & Zorzi, 2013 ; Wong, Ho & Tang, 2017), un déficit d'accès au sens du nombre via les codes symboliques arabes (Huber, Sury, Moeller, Rubinsten & Nuerk, 2015 ; Lafay, St-Pierre & Macoir, 2017b ; Lafay, Macoir & St-Pierre, 2017a ; Rousselle & Noël, 2007, Noël & Rousselle, 2011) et oraux (Lafay et al., 2017b ; Lafay et al., 2017a), un déficit de reconnaissance des codes symboliques arabes et oraux (Lafay et al., 2017a) (pour une revue, voir Lafay, St-Pierre & Macoir, 2015).

Enfin, Andersson et Östergren (2012) émettent l'hypothèse d'un déficit aux causes multiples. Iuculano, Tang, Hall et Butterworth (2008) décrivent une dissociation entre un premier enfant qui présente un déficit du sens du nombre et un deuxième enfant qui présente un déficit d'accès au sens du nombre via les nombres arabes. Wong et al. (2017) montrent un déficit du sens du nombre chez un groupe de jeunes ayant un TAM et un déficit d'accès au sens du nombre via les nombres arabes chez un groupe de jeunes faibles en mathématiques. Träff, Olsson, Östergren et Skagerlund (2017) décrivent quatre profils cognitifs différents chez quatre enfants présentant un TAM : un premier enfant qui a un déficit du sens du nombre, un deuxième enfant qui a un déficit du sens du nombre accompagné d'un trouble cognitif général, un troisième enfant qui a un déficit d'accès au sens du nombre via les nombres arabes accompagné d'un trouble cognitif général et un dernier enfant qui a un trouble cognitif général. Le présent article se consacre à la seconde hypothèse (déficit cognitif numérique) et en particulier à un déficit de traitement des nombres sur une ligne numérique.

## 2. La ligne numérique comme modèle de représentation des nombres

La ligne numérique mentale est le modèle de représentation des nombres reconnus actuellement (Dehaene, 1992, 2010), à savoir une représentation spatiale des nombres, orientée de gauche à droite, considérée généralement comme une représentation du sens du nombre. Elle peut également être utilisée pour la résolution de problèmes, la compréhension et la représentation des quantités (Gersten, Schumacher & Jordan, 2017). La tâche la plus classique pour étudier la ligne numérique est le positionnement de nombres sur une ligne numérique bornée ou non. Ce type de tâche permet de vérifier si la position du nombre indiquée par l'enfant sur la ligne numérique est proche ou éloignée de sa position attendue, reflétant ainsi ses représentations numériques mentales. Quelques études ont étudié le développement de la précision numérique chez l'enfant au développement typique : la précision numérique évolue positivement avec l'âge. Par exemple, Siegler et Booth (2004) et Booth et Siegler (2006) montrent que, dans une tâche de placement de nombres sur une ligne numérique, les enfants de 8-9 ans sont meilleurs que ceux de 7-8 ans, qui sont meilleurs que ceux de 6-7 ans, qui sont à leur tour meilleurs que ceux de 5-6 ans. Très jeunes, les enfants mettent en évidence des représentations numériques approximatives : les enfants de 5-6 ans ont des représentations de 0 à 100 dont la représentation graphique est une fonction logarithmique (Siegler & Booth, 2004 ; Booth & Siegler, 2006 ; Laski & Siegler, 2007). Ensuite, les représentations se précisent et deviennent davantage linéaires à l'âge de 6-7 ans (Geary, Hoard, Nugent & Byrd-Craven, 2008 ; Booth & Siegler, 2006) ou 7-8 ans (Siegler & Booth, 2004 ; Laski & Siegler, 2007). De même, les représentations numériques jusqu'à 1000 deviennent de plus en plus linéaires, et donc plus précises, de l'âge de 9 ans jusqu'à l'âge adulte (Booth & Siegler, 2006 ; Opfer & Siegler, 2007).

Schneider et al. (2018) ont conduit une méta-analyse sur la relation entre les performances dans une tâche de ligne numérique et les performances mathématiques et montrent, à partir de quarante-et-un articles impliquant plus de 10 000 enfants de 4 à 14 ans une corrélation significative et positive ( $r = .443$ ) entre ces deux habiletés. Par exemple, Booth et Siegler (2006) montrent chez des enfants de 5-6 ans à 8-9 ans une corrélation entre les résultats à un test standardisé en mathématiques et les performances de placement de nombres arabes ou d'estimation de résultats d'un calcul sur une ligne numérique. En 2008, ces mêmes auteurs montrent, chez des enfants de 7-8 ans, une corrélation entre la précision (i.e., la linéarité des représentations) de la ligne numérique et les performances arithmétiques, suggérant ainsi que la précision de la ligne numérique est prédictive des aptitudes arithmétiques. L'ensemble de ces éléments mène naturellement à s'interroger sur l'intégrité des représentations des nombres sous forme de ligne numérique.

### ----- OBJECTIFS -----

La présente étude a pour but de faire état des connaissances des études portant sur les représentations sur la ligne numérique mentale chez les personnes ayant un TAM. Pour cela, une méthode de *scoping* est utilisée. D'après l'article de Regnaud (2017, p. 12), le *scoping* – ou « revue de concept » – est un type de revues systématiques qui consiste à « réunir toutes les informations, quelle que soit leur nature, pour cartographier et identifier les informations disponibles en lien avec une question d'intérêt » sur une thématique particulière. Recenser l'ensemble des connaissances en ce qui concerne les représentations des nombres sous forme de ligne numérique des personnes ayant un TAM et en réaliser la synthèse aideront à la démarche d'évaluation et d'intervention menée par les praticiens.

## ----- METHODE -----

### 1. Sources d'information et stratégies de recherche

La recherche d'articles a été réalisée sur six bases de données (PsychInfo, Pubmed, ERIC, Cochrane Library, Glossa et Speechbite). La base LLBA n'a pas été consultée car l'accès n'était pas possible via l'Université Lyon 1. Dans la mesure du possible, le mot clé *number line* a été combiné avec la population cible *dyscalculia OR math\* learning disabilit\* OR math\* difficult\* OR low-math*. Le terme français « trouble des apprentissages en mathématiques » (TAM) n'a pas été utilisé puisque c'est une nouvelle terminologie. Pour la base de données ERIC, le terme *number line* a été mis entre parenthèses pour réduire les 7 179 résultats à 251. Quant à Cochrane Library, la combinaison n'a sorti aucun résultat, de sorte que seulement le terme « *number line* » a été entré. Enfin, la recherche dans Glossa a été réalisée en français avec le terme « ligne numerique » (entré sans accent dans le moteur de recherche).

En plus de la revue systématique de la littérature, un screening des outils d'évaluation et des outils d'intervention a été réalisé sur les sites des éditeurs avec le mot clé « ligne numerique » ou en parcourant les onglets lorsqu'il n'y avait pas de résultats. De plus, « jeu « ligne numerique » » et « « number line » game » ont été entrés dans le moteur de recherche « Google ».

### 2. Sélection des études

Une des auteures (LM) a examiné les titres et les résumés d'études pour établir l'éligibilité potentielle. Les textes complets jugés pertinents pour la problématique ont alors été lus pour s'assurer qu'ils pourraient être inclus dans cette synthèse.

### 3. Critères d'éligibilité

Les critères de sélection étaient : 1) tout type d'études expérimentales (comparaison intergroupes, intervention, etc.), 2) avec des personnes (enfants et adultes) ayant des difficultés en mathématiques. Les critères d'exclusion étaient : 1) les études portant sur des populations d'individus au développement typique ou avec troubles intellectuels, sensoriels ou avec syndromes génétiques, 2) les études portant sur un autre aspect mathématique que la ligne numérique. Enfin, les doublons ont été sélectionnés une unique fois. La figure 1 résume la procédure de recherche.

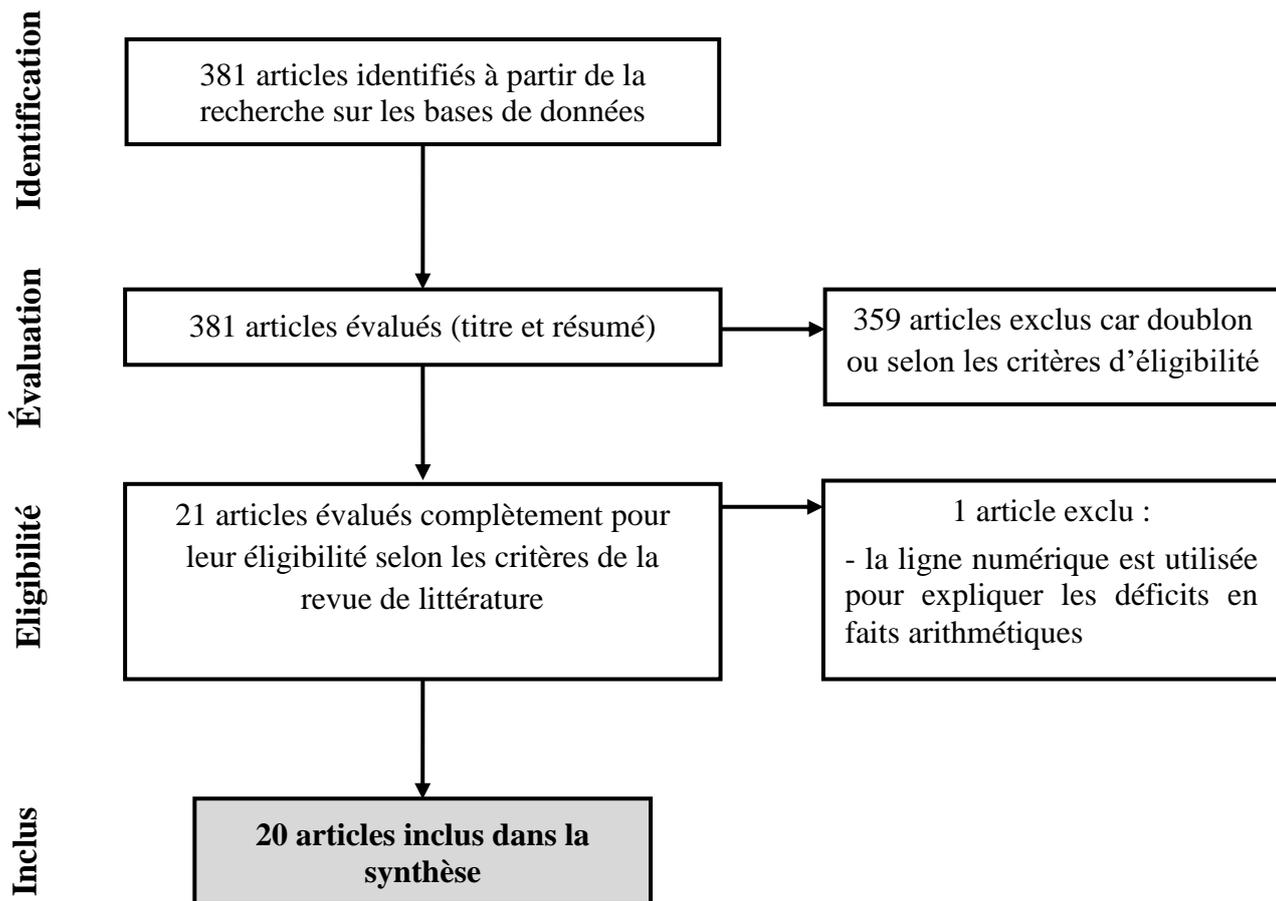


Figure 1. Diagramme de la procédure de sélection des études.

#### 4. Protocole de collecte des données

Une des auteures (LM) a extrait les caractéristiques des études et les conclusions principales. De plus, elle a évalué la qualité méthodologique des études portant spécifiquement sur des interventions. La qualité et la puissance méthodologique des études sélectionnées et décrivant des interventions ont respectivement été analysées à partir de la grille d'analyse d'Ebbels (2017). Cette grille d'analyse permet de déterminer la robustesse d'une étude en considérant d'une part le degré de contrôle expérimental (en 10 degrés) et, d'autre part, la taille de l'échantillon. Ebbels (2017) décrit alors quatre types d'étude : A) étude avec un fort contrôle expérimental mais une petite taille d'échantillon, B) étude avec un fort contrôle expérimental et une grande taille d'échantillon, C) étude avec un faible contrôle expérimental et une petite taille d'échantillon, et D) étude avec un faible contrôle expérimental mais une grande taille d'échantillon. Les études de type B sont les études les plus robustes.

## ----- RESULTATS -----

Parmi les 381 articles identifiés pendant la recherche, 20 articles répondant aux critères de recherche et publiés jusqu'en octobre 2017 ont été sélectionnés. Quatorze études s'intéressent à l'évaluation des performances d'estimation de nombres sur la ligne numérique chez les personnes ayant un TAM. Quatre études évaluent l'efficacité d'une intervention ciblant ou utilisant une ligne numérique auprès de personnes ayant un TAM.

### 1. Évaluation des performances

Parmi les vingt articles constituant la revue de littérature, quatorze études traitaient de l'évaluation des performances des personnes ayant un TAM sur la ligne numérique. La tâche classique est généralement d'estimer la position correspondant à un nombre sur une ligne. Les performances sont alors évaluées de deux manières principales : 1) pourcentage absolu d'erreur ( $[\text{position estimée par l'enfant} - \text{position attendue}] / \text{longueur de la ligne}$ ) : plus le pourcentage est faible, plus la précision numérique est bonne ; 2) linéarité de la représentation graphique (en abscisse, le nombre cible ; en ordonnée, la position estimée par l'enfant) : plus la représentation graphique est linéaire, plus la précision numérique est bonne. D'autre part, certains auteurs étudient le type et l'efficacité des stratégies utilisées. Enfin, d'autres chercheurs se penchent sur l'identification des prédicteurs à la précision numérique dans une perspective longitudinale.

#### a. Évaluation des représentations numériques

Concernant le pourcentage absolu d'erreur (PAE) sur une ligne numérique de 0 à 100, la synthèse des études montre que les TAM ont un plus grand PAE que les DT de la Grande Section de Maternelle (GSM) au CE2 (Wong et al., 2017 pour la GSM et le CP ; Geary et al., 2008 pour le CP et le CE1 ; Namkung & Fuchs, 2012 pour le CE1 ; Lafay et al., 2017b, Landerl, 2013 ; van Viersen, Slot, Kroesbergen, van't Noordende & Leseman, 2013 pour le CE2). Cependant, les scores des TAM sont semblables à ceux des DT en CM1 (Landerl, 2013 ; Sella et al., 2013, pour le CM1). D'autre part, Lafay et al. (2017b) soulignent la dissociation, en CE2, entre la modalité non symbolique (passer d'un nombre en code analogique [ensemble de points] à une position sur ligne numérique) pour laquelle les TAM sont aussi précis que les DT et la modalité symbolique (passer d'un nombre en chiffres arabes ou oral à une position sur ligne numérique) pour laquelle les TAM sont moins performants que les DT.

Quant aux performances sur une ligne de 0 à 1000, des différences significatives attestent aussi des difficultés (plus grand PAE) des TAM par rapport aux DT (Ribeiro, Tonoli, Ribeiro & Santos, 2017 pour des enfants du CE2 à la 6<sup>e</sup> ; Landerl, 2013 pour fin CE2 à CM1 ; Sella et al., 2013 pour le CM1). Avec les études longitudinales, il est possible de voir que les TAM améliorent leurs performances en termes de PAE mais que la différence avec les DT est toujours significative en 6<sup>e</sup> (Bartelet, Ansari, Vaessen & Blomert, 2014 ; Landerl, 2013).

L'analyse de la représentation graphique des estimations de nombres sur une ligne numérique montre que les enfants DT passent, avec l'âge et l'exposition au nombre, d'une représentation logarithmique (suggérant des représentations imprécises) à une représentation linéaire (suggérant des représentations précises). On observe que les DT ont déjà une représentation linéaire pour les nombres de 0 à 100 en CP alors que les TAM ont encore en CE1 une représentation logarithmique (Desoete et al. 2013 ; Geary et al., 2008 ; Wong et al., 2017). En CE1, Geary et al. (2008) montrent que la représentation numérique des TAM oscille entre la représentation graphique logarithmique et la représentation graphique linéaire alors qu'elle est déjà linéaire chez les DT. Après le CE2, Lafay et al. (2017b), Landerl, Fussenegger, Moll et Willburger (2009), Sella et al. (2013) et van Viersen et al. (2013) font état d'une représentation graphique linéaire pour les TAM. Toutefois, la représentation graphique des TAM est moins linéaire que celle des DT (Lafay et al., 2017b). En 6<sup>e</sup>, la représentation graphique pour les nombres de 0 à 1000 est logarithmique pour les TAM alors qu'elle est déjà linéaire chez les DT dès le CE2 (Andersson & Östergren, 2012 ; Sella et al., 2013 ; van Viersen et al., 2013).

Ashkenazi et Henik (2010) ont testé des adultes sur une tâche de bissection de lignes physique et numérique (consistant à indiquer le milieu de la ligne). Concernant la ligne physique, les DT déviaient vers la gauche alors que les TAM déviaient vers la droite. Quant à la ligne numérique, les deux groupes déviaient vers la gauche avec un taux d'erreur significativement plus élevé pour les TAM. Le taux d'erreur plus élevé des TAM suggère une distorsion de leur ligne numérique.

En conclusion, cette synthèse permet de constater que les TAM ont un pourcentage d'erreur plus élevé sur une ligne de 0 à 100 par rapport aux DT jusqu'en CM1 et sur une ligne de 0 à 1000, au moins jusqu'en 6<sup>e</sup>. D'autre part, les TAM arrivent à une représentation linéaire vers le CE2 alors que les DT acquièrent une représentation linéaire dès le CP, pour une ligne de 0 à 100. Les représentations numériques restent toutefois toujours moins précises. Lorsque la ligne concerne des grands nombres jusqu'à 1000, les TAM ont une représentation logarithmique persistante alors que les DT ont une représentation linéaire dès le CE2.

## **b. Évaluation des stratégies**

Les performances des enfants sont également liées aux stratégies utilisées pour le placement sur la ligne numérique. Parmi les quatorze articles traitant de l'évaluation, quatre se consacrent à l'étude de ces stratégies.

Van Viersen et al. (2013) et van't Noordende, van Hoogmoed, Schot et Kroesbergen (2016) ont utilisé une technique d'*eye tracking* pour évaluer les stratégies des enfants de 9 à 11 ans pendant une tâche de positionnement de nombres sur une ligne numérique. Cette technique consiste en l'analyse de la fixation et des mouvements oculaires. La première étude montre que les TAM ont des stratégies plus atypiques, moins identifiées et moins fonctionnelles que les DT pour l'analyse du nombre arabe à placer sur une ligne numérique. Les DT utilisent au contraire des processus identifiés : le processus holistique (fixation égale sur les unités et les dizaines, le nombre est une entité entière), la décomposition parallèle (plus longues fixations sur les dizaines, les dizaines et les unités sont décomposées de façon parallèle) et la décomposition séquentielle (presque aucune fixation sur les unités). De plus, les TAM se servent différemment des points de référence (qui sont les repères « évidents » de la ligne numérique comme la borne inférieure, la borne supérieure et le milieu) : plus longues

fixations sur le milieu que le début ou la fin de la ligne numérique. Dans la deuxième étude, les mêmes auteurs montrent à nouveau que les TAM utilisent moins les points de référence que les DT. Ils observent en effet que les TAM ont tendance à plus utiliser le milieu de la ligne alors que les DT adaptent leurs stratégies aux nombres présentés et qu'ils utilisent ainsi des points de référence plus éloignés de la cible, leur réponse étant naturellement éloignée de cette cible.

Zhang, Stecker et Beqiri (2017) ont analysé les stratégies des enfants dans le placement de fractions sur une ligne numérique. À nouveau, les résultats montrent que les TAM utilisent plus souvent de mauvaises stratégies et font plus d'erreurs d'exécution que les DT. Ces stratégies se traduisent par une mauvaise segmentation de la ligne, une mauvaise transformation de la fraction ou encore un traitement identique des deux lignes (0 à 1 et 0 à 5) suggérant une conception « partie-tout » et non une conception « nombre » de la fraction.

Enfin, Rodriguez, Parmar et Signer (2001) ont étudié les stratégies d'utilisation de la ligne numérique pour la résolution de problèmes à énoncé verbal. Ils ont évalué des groupes « atypiques » d'enfants en CM1 – c'est-à-dire des enfants bilingues en difficultés, des enfants avec des troubles des apprentissages (TA) – et des enfants DT. Les bilingues ont un niveau de lecture et de mathématiques de CP-CE1 et les TA ont un niveau de lecture et de mathématiques de CE1-CE2 (percentile 20-30). Les résultats montrent que les bilingues et les TA ont des difficultés dans la réalisation de la tâche de résolution de problèmes. De plus, ces deux groupes ont recours à de mauvaises stratégies pour la résolution du problème. Les bilingues, lorsqu'ils doivent représenter symboliquement la situation à l'aide de la ligne numérique, ont des difficultés avec le point d'origine et la direction de la ligne. Quant aux TA, ils essaient de mesurer la distance entre deux nombres sur la ligne numérique pour faire une soustraction, ils font une autre opération ou encore ils ne mettent pas les nombres dans le bon ordre pour exécuter l'opération.

En résumé, les TAM utilisent moins de stratégies que les DT pour le placement de nombres sur la ligne. D'autre part, celles-ci sont moins efficaces et plus atypiques. L'analyse des mouvements oculaires a pu mettre en évidence une fixation plus importante du milieu de la ligne numérique au détriment des autres points de référence. Les TAM n'adaptent pas leurs stratégies aux nombres cibles. L'utilisation de stratégies moins nombreuses et différentes pourrait d'ailleurs expliquer que les TAM ont des représentations numériques moins précises que les DT.

### c. Évaluation des prédicteurs

Trois études de la présente synthèse se sont consacrées à l'étude du lien entre l'imprécision numérique et le niveau mathématique chez les TAM. Plusieurs facteurs ont ainsi été identifiés.

Tout d'abord, Geary et al. (2008) ont observé qu'une représentation graphique linéaire des nombres (c'est-à-dire une bonne précision) sur la ligne numérique en CP est corrélée à un QI élevé, à un faible score au calepin visuo-spatial et à une haute capacité de l'administrateur central (mémoire de travail). Cependant, en CE1, seuls le QI et l'administrateur central restent corrélés à la tâche de positionnement de nombres sur ligne numérique. D'ailleurs, Bartelet et al. (2014) ont mis en évidence différents profils de dyscalculies : seulement certains TAM ont des déficits de placement de nombres sur la ligne numérique. Ce résultat suggère que ces différences de profil pourraient être dues à des différences au niveau des capacités cognitives générales. Desoete et al. (2013) ont montré une corrélation entre le pourcentage d'erreur sur la ligne numérique d'une part (pour les trois formats de présentation des nombres : symbolique, arabe et orale) et plusieurs habiletés mathématiques d'autre part : les compétences mathématiques précoces (notamment la connaissance du sens du nombre et la numération), le calcul procédural et conceptuel et les performances aux épreuves logiques de Piaget (sériation et classification). De même, l'étude longitudinale du CE1 au CM1 menée par Landerl (2013) a montré que l'efficacité des processus numériques (ligne numérique, dénombrement de points, comparaison de nombres) est un bon indicateur pour le développement des compétences arithmétiques.

En résumé, la précision numérique mesurée par les épreuves de placement de nombres sur la ligne numérique est fortement reliée avec les performances en arithmétique.

#### **d. Outils d'évaluation**

Étant donné ces résultats en recherche, il semble tout à fait pertinent d'intégrer une évaluation de l'estimation de nombres sur une ligne numérique en pratique clinique orthophonique. Pour cette raison, un screening des outils d'évaluation a été réalisé à partir des études de Lafay, St-Pierre et Macoir (2014) et plus récemment Lafay et Cattini (2017, en révision). Dans certains tests ou batteries de bilan comme Examath 8-15 pour les 8-15 ans (Lafay & Helloin, 2016), Zareki-R pour les 6-11 ans et demi (von Aster & Dellatolas, 2006), EDA pour les 4-11 ans (Billard & Touzin, 2012), Numérical pour les 7-10 ans (Gaillard, 2000) et MathEval pour les 4-8 ans (Heremans, 2011), il existe une épreuve de placement de nombres sur une ligne numérique et/ou une production de nombres à partir d'une position donnée sur une ligne numérique (en modalité arabe ou orale). Lafay et Cattini (2018) ont évalué la qualité psychométrique de ces tests. Cette étude prend en compte la standardisation, la validité, la fidélité et les normes. Il en ressort les pourcentages suivants : Examath 8-15 à 67%, Zareki-R à 48%, Numérical à 48 %, EDA à 45% et MathEval 43%.

## **2. Intervention**

Parmi les vingt articles constituant la revue de littérature, quatre traitent d'une intervention ciblant ou utilisant la ligne numérique chez les TAM.

### **a. Intervention sur la ligne numérique**

Tout d'abord, Iuculano et Cohen Kadosh (2014) (design 4 « within-participants single baseline design » et 1 participante ayant un TAM ; donc étude de type C selon la grille d'analyse d'Ebbels, 2017) ont couplé un apprentissage de neuf symboles correspondant à des magnitudes (nombres artificiels) à la stimulation transcrânienne avec deux participants TAM adultes. L'entraînement a duré six sessions de 120 minutes pendant sept jours. Alors que le

patient 1 (anode sur le lobe droit et cathode sur le lobe gauche) n'obtient pas de meilleurs résultats après l'intervention, le patient 2 (anode sur le lobe gauche et cathode sur le lobe droit) améliore ses performances. Celui-ci obtient une représentation linéaire des nombres à une tâche de positionnement de nombres sur une ligne numérique. Ce résultat suggère donc qu'une amélioration des représentations numériques sur ligne numérique est possible chez l'adulte avec une intervention adaptée à la personne.

Huber et al. (2015) (design 8 « between participant comparison » et 15 participants ayant un TAM ; donc étude de type A selon la grille d'analyse d'Ebbels, 2017) ont expérimenté un protocole d'apprentissage en lien avec la ligne numérique avec des adultes. Ils ont entraîné 36 DT et 15 TAM à apprendre différentes configurations de correspondance entre symboles et positionnements sur une ligne numérique selon plusieurs fonctions mathématiques (linéaire, logarithmique, exponentielle, sigmoïde ou encore sigmoïde inverse). Les deux groupes montrent un apprentissage similaire lorsque les nombres se situent près d'un point de référence (comme l'origine 0, la moitié 50 ou la fin de la ligne 100 pour une ligne de 0 à 100). Cependant, les TAM sont moins précis que les DT quand on s'en éloigne. Ce déficit touche tous les types de fonction, ce qui laisse à penser que les TAM souffrent d'un déficit de correspondance entre symboles et ligne numérique mais aussi d'un déficit de jugement de proportion. Cette étude suggère donc qu'avec un entraînement spécifique, les TAM sont capables d'apprendre différentes configurations de correspondance, comme les sujets DT, mais sont moins précis dans leur placement quand on s'éloigne des points de référence.

Gonsalves et Krawec (2014) (design 4 « within-participants single baseline design » et 1 participante ayant un TAM ; donc étude de type C selon la grille d'analyse d'Ebbels, 2017) ont utilisé la ligne numérique pour aider les enfants à schématiser des problèmes à énoncé verbal. Selon les auteurs, cet outil permettrait d'avoir une représentation flexible et adaptable à des énoncés plus complexes. Il conduirait également, à terme, à une compréhension des opérations et du sens du nombre. Cette étude de cas d'une enfant TAM scolarisée en 6<sup>e</sup> (avec groupe contrôle) montre qu'un apprentissage explicite et séquencé est nécessaire. Les enfants étaient entraînés, 3 fois par semaine, à traduire le problème, le reformuler mais aussi à interpréter la ligne numérique pour que, finalement, ils arrivent à choisir la bonne opération à réaliser. Concernant les DT, une amélioration immédiate dès la première séance est observée. Aussi, une efficacité a été mise en évidence dès cinq séances de trente-cinq minutes au domicile de la jeune fille. Pour la jeune fille ayant un TAM, les progrès se situent au niveau de la maîtrise du dessin de la ligne numérique, des stratégies visuelles et de la schématisation du problème. Par ailleurs, un maintien a été observé près de deux à quatre mois après l'intervention. Cette étude montre donc qu'avec un apprentissage adapté et intensif, les enfants ayant un TAM sont capables de se servir de la ligne numérique pour la résolution de problèmes.

Enfin, une seule étude a traité d'un entraînement direct et explicite de la ligne numérique. Kucian et al. (2011) (design 8 « between participant comparison » et 16 participants ayant un TAM ; donc étude de type A selon la grille d'analyse d'Ebbels, 2017) ont travaillé avec des enfants de 8 à 10 ans : 22 TAM et 16 DT. Cet entraînement quotidien de quinze minutes sur cinq semaines prenait la forme d'un jeu informatisé à niveaux combinant des nombres en format symbolique, des nombres en format non symbolique et des calculs. Une quinzaine d'activités étaient proposées (estimation, subitizing, calcul, etc.), le feedback était donné sous forme de ligne numérique. L'intervention a montré son efficacité (et un maintien pour les TAM) avec une amélioration des représentations spatiales, des capacités mathématiques

générales et une modulation neurologique, une baisse de l'activité cérébrale pour les deux groupes (et encore plus pour les TAM) attestant, selon les auteurs, d'une automatisation des processus.

En résumé, les études concernant l'intervention à propos de la ligne numérique chez les TAM sont très peu nombreuses. Pourtant, force est de constater que ces premiers résultats sont encourageants pour poursuivre les recherches dans l'intervention et la rééducation de la ligne numérique chez les TAM. Des progrès sont notés, suggérant ainsi l'efficacité d'un entraînement ciblé. D'autre part, un maintien s'est avéré possible. Aussi, ce type d'entraînement semble avoir un effet bénéfique sur la connaissance des nombres et les habiletés en calcul.

### **b. Outils d'intervention sur la ligne numérique**

Étant donné ces résultats en recherche, il semble tout à fait pertinent d'intégrer une intervention ciblée de l'estimation de nombres sur une ligne numérique en pratique clinique orthophonique. Pour cette raison, un screening des outils d'intervention a été réalisé sur les sites des éditeurs avec des mots-clés. La recherche a permis d'identifier quelques outils pour la rééducation de la ligne numérique, par exemple : 1) le programme informatique « La course aux nombres » (Wilson & Dehaene, 2004) qui a pour objectif l'enseignement des concepts de base des nombres (dont la ligne numérique) et de l'arithmétique ; 2) le jeu de plateau chez les éditions Passe-temps, « 1, 2, 3 En avant ! » de Lafay (2013) où les représentations du nombre et du calcul sont travaillées avec des déplacements sur la ligne numérique. Les résultats sur le moteur de recherche aboutissent aussi à des jeux en ligne sans mention particulière de l'orthophonie (thèmes ludiques comme bateaux, animaux, parachutistes ; lignes avec des bornes différentes et nombres à placer variés). Par ailleurs, certains jeux peuvent travailler la ligne numérique de façon moins explicite. Le « Zoo des nombres » de Sinibardy (2016) chez Cit'inspir propose des jeux de cartes avec des animaux et des toises s'apparentant à une ligne numérique. De plus, chez les éditions Grand Cerf, « Attention au départ » de Courgenouil et Rouchut (2013) est un jeu de manipulation pour construire le nombre et les notions de quantités de 0 à 30 avec une sorte de réglette et un curseur.

## **----- DISCUSSION -----**

La présente étude avait pour but de faire état des connaissances des études portant sur les représentations sur la ligne numérique mentale chez les personnes ayant un TAM. Pour cela, une méthode de revue systématique de la littérature a été effectuée et a permis de mettre en évidence un total de vingt études. Les faits saillants sont de plusieurs ordres.

Tout d'abord, quatorze études s'intéressaient à l'évaluation des performances d'estimation de nombres sur la ligne numérique chez les personnes ayant un TAM. En résumé, les TAM ont des capacités inférieures à celles des DT concernant l'estimation de nombres sur ligne numérique (pourcentage d'erreur plus élevé sur une ligne de 0 à 100 et 0 à 1000 ; représentation graphique des TAM logarithmique (linéaire chez les DT)).

De plus, les stratégies sont moins nombreuses, moins adaptées aux nombres présentés, moins identifiées, moins efficaces et plus atypiques. Aussi, ces performances d'estimation de nombres sur une ligne prédisent les processus et traitements mathématiques futurs.

Par ailleurs, quatre études évaluaient l'efficacité d'une intervention ciblant ou utilisant une ligne numérique auprès de personnes ayant un TAM. En résumé, ces études sont à ce jour très peu nombreuses. Des progrès immédiats et à moyen terme sont notés, suggérant ainsi l'efficacité d'un entraînement ciblé. Aussi, ce type d'entraînement semble avoir un effet bénéfique sur la connaissance des nombres et les habiletés en calcul. Ainsi, force est de constater que ces premiers résultats sont encourageants pour poursuivre les recherches dans l'intervention et la rééducation de la ligne numérique chez les TAM et déterminer si le travail ciblant et/ou par le moyen de la ligne numérique est une pratique probante.

Plusieurs perspectives de recherche fondamentale et clinique se dégagent ainsi de cette synthèse. Tout d'abord, poursuivre les recherches concernant la compréhension et la précision numérique qu'ont (performances) les enfants avec un TAM et l'utilisation (stratégies) qu'ils en font aidera à identifier avec plus de précision les enfants ayant un TAM avec un déficit numérique. De plus, la présente étude montre des résultats parfois contradictoires quant aux performances et aux stratégies utilisées pour estimer des nombres sur une ligne numérique. Ces performances d'estimation de nombres sur une ligne semblent également être prédites par des habiletés cognitives générales comme le QI ou les capacités en mémoire de travail visuo-spatiale. Ensemble, ces résultats laissent supposer que les différentes observations pourraient être dues à l'hétérogénéité des groupes en termes de profil cognitif. On pourrait par exemple supposer que les enfants ayant un TAM de type primaire (déficit cognitif numérique) et les enfants ayant un TAM secondaire à un trouble cognitif général obtiendraient des performances différentes et utiliseraient des stratégies différentes dans une tâche d'estimation de nombres sur une ligne numérique. De futures études pourraient se consacrer à investiguer cette hypothèse.

Ensuite, la présente étude met en évidence un nombre limité d'outils d'évaluation à disposition des cliniciens. Il serait donc intéressant de valider et de normer un test avec une épreuve de ligne numérique pour les enfants avant 7 ans (Examath 8-15 à partir de 8 ans, Zareki-R étalonné sur une population au niveau socio-économique faible et non représentative de la population générale, Numerical à partir de 7 ans, EDA pour le dépistage uniquement). De plus, un outil étalonné pour les TAM après 15 ans serait pertinent du fait de la persistance du trouble à l'âge adulte. Enfin, cette synthèse pousse à recommander aux futurs concepteurs de tests d'intégrer dans l'outil une investigation et une normalisation des stratégies utilisées par l'enfant pour le placement de nombres sur la ligne (ce qu'il regarde, ce qu'il cherche, pourquoi il choisit cet emplacement). Ces données pourraient ainsi servir d'analyse qualitative des stratégies conscientes du patient TAM.

Enfin, la présente étude identifie seulement quatre études ayant investigué une intervention basée sur la ligne numérique chez les TAM (avec une faible méthodologie qui plus est), de même que peu d'outils orthophoniques entraînant spécifiquement la ligne numérique. Pourtant, la ligne numérique aide à la compréhension des magnitudes nécessaires au calcul et à la connaissance des nombres. De même, les performances à cette tâche sont corrélées aux habiletés mathématiques futures. Il semble donc indispensable de développer cet axe de recherche pour obtenir des données probantes nécessaires à la pratique clinique orthophonique. Helloin et Lafay (2018) ont élaboré un logiciel d'entraînement spécifique de

la ligne numérique (DéCaLigne) qui vise l'amélioration des représentations du nombre sur ligne numérique et l'utilisation de celle-ci (procédures explicites) pour l'amélioration des capacités de calcul mental. L'évaluation de l'effet d'un entraînement adapté au patient sur sa précision numérique et ses performances en calcul mental est en cours (Marcon, mémoire d'orthophonie en cours).

En conclusion, la présente recherche met en évidence une relation entre trouble des apprentissages en mathématiques et faible précision numérique : faibles performances et stratégies différentes à une tâche de positionnement sur une ligne numérique ; bénéfiques à un entraînement lié à la ligne numérique. Pourtant, peu d'outils d'évaluation et d'intervention sont existants et validés. Ces résultats sont encourageants et ouvrent indéniablement des perspectives de recherche.

----- BIBLIOGRAPHIE -----

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM-V®). American Psychiatric Pub.
- Andersson, U., & Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 22(6), 701-714. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004>
- Ashkenazi, S., & Henik, A. (2010). A disassociation between physical and mental number bisection in developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, 48(10), 2861-2868. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.028>
- Bartelet, D., Ansari, D., Vaessen, A., & Blomert, L. (2014). Cognitive subtypes of mathematics learning difficulties in primary education. *Research in Developmental Disabilities*, 35(3), 657-670. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.12.010>
- Billard, C., Touzin, M. (2012). *Evaluation Des fonctions cognitives et Apprentissages 4-11 (EDA)*. Isbergues : Ortho Edition.
- Booth, J.L., & Siegler, R.S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental psychology*, 42(1), 189-201. <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.41.6.189>
- Courgenouil, C., & Rouchut, D. (2013). *Attention au départ*. Gagny : Éditions Pédagogiques du Grand Cerf.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44 (1.2), 1-42.
- Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths : quinze ans après*. Paris : Odile Jacob.
- Desoete, A., Praet, M., Titeca, D., & Ceulemans, A. (2013). Cognitive phenotype of mathematical learning disabilities: What can we learn from siblings? *Research in Developmental Disabilities*, 34(1), 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.08.022>
- Ebbels, S.H. (2017). Intervention research: Appraising study designs, interpreting findings and creating research in clinical practice. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 19(3), 218-231. <https://doi.org/10.1080/17549507.2016.1276215>
- Gaillard, F. (2000). *Numerical : Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Paris : SIGNES.ED.
- Geary, D.C. (1993). Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114(2), 345-362. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.114.2.345>
- Geary, D.C. (2010). Mathematical disabilities: Reflections on cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Learning and individual differences*, 20(2), 130-133. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.008> accès ouvert sur PMC : PMC2821095

- Geary, D.C., Hoard, M.K., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2008). Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 277-299. <https://doi.org/10.1080/87565640801982361>  
accès ouvert sur PMC : PMC4439204
- Geary, D.C., Nicholas, A., Li, Y., & Sun, J. (2017). Developmental change in the influence of domain-general abilities and domain-specific knowledge on mathematics achievement: An eight-year longitudinal study. *Journal of educational psychology*, 109(5), 680-693. <https://doi.org/10.1037/edu0000159> accès ouvert sur PMC : PMC5542417
- Gersten, R., Schumacher, R.F., & Jordan, N.C. (2017). Life on the number line: Routes to understanding fraction magnitude for students with difficulties learning mathematics. *Journal of learning disabilities*, 50(6), 655–657. <https://doi.org/10.1177/0022219416662625>
- Gonsalves, N., & Krawec, J. (2014). Using number lines to solve math word problems : A strategy for students with learning disabilities. *Learning disabilities research & practice*, 29(4), 160–170. <https://doi.org/10.1111/ldrp.12042>
- Helloin, M.C., & Lafay, A. (2018). *DéCaLigne : Un programme d'intervention pour la Découverte du Calcul avec la Ligne numérique*. Grenade : HappyNeuron.
- Heremans, M. (2011). MathEval : Test de dépistage de la dyscalculie. Consulté le 22.02.2019 de Matheval : <https://sites.google.com/site/testmatheval/>
- Huber, S., Sury, D., Moeller, K., Rubinsten, O., & Nuerk, H.C. (2015). A general number-to-space mapping deficit in developmental dyscalculia. *Research in Developmental Disabilities*, 43-44, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.06.003>
- Iuculano, T., & Cohen Kadosh, R. (2014). Preliminary evidence for performance enhancement following parietal lobe stimulation in Developmental Dyscalculia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00038> accès ouvert
- Iuculano, T., Tang, J., Hall, C.W., & Butterworth, B. (2008). Core information processing deficits in developmental dyscalculia and low numeracy. *Developmental science*, 11(5), 669-680. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00716.x>  
**Erratum** : *Developmental science*, 11(6), 895.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00778.x>
- Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F., Gälli, M., Martin, E., von Aster, M. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage*, 57(3), 782-795. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.070>
- Lafay, A. (2013). *1 2 3 En avant*. Québec : Éditions Passe-Temps.
- Lafay, A., & Cattini, J. (2-4 juin 2017). Poster : *Psychometric analysis of mathematic assessment tools used with French-speaker children*. Regina, Canada : Canadian society for brain, behavior, and cognitive science.

- Lafay, A., & Cattini, J. (2018). Analyse psychométrique d'outils d'évaluation mathématiques utilisés auprès des enfants francophones. *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie*, 42(2), 127-144.  
accès ouvert sur RCOA : <https://www.cjslpa.ca/detail.php?ID=1232&lang=fr>
- Lafay, A., & Helloin, C. (2016). *Examath 8-15 : Bilan informatisé de la cognition mathématique*. Grenade : HappyNeuron.
- Lafay, A., St-Pierre, M.C., & Macoir, J. (2014). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, 116, 33–58.
- Lafay, A., St-Pierre, M.C., & Macoir, J. (2015). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale : Déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mentales ? *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 56(1), 96-107. <http://dx.doi.org/10.1037/a0037264>
- Lafay, A., Macoir, J., & St-Pierre, M.C. (2017a). Impairment of arabic-and spoken-number processing in children with mathematical learning disability. *Journal of Numerical Cognition*, 3(3), 620-641. <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i3.123> accès ouvert
- Lafay, A., St-Pierre, M.C., & Macoir, J. (2017b). The mental number line in dyscalculia: Impaired number sense or access from symbolic numbers? *Journal of learning disabilities*, 50(6), 672–683. <https://doi.org/10.1177/0022219416640783>
- Landerl, K. (2013). Development of numerical processing in children with typical and dyscalculic arithmetic skills - a longitudinal study. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00459> accès ouvert
- Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of experimental child psychology*, 103(3), 309-324. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2009.03.006>
- Laski, E.V., & Siegler, R.S. (2007). Is 27 a big number? Correlational and causal connections among numerical categorization, number line estimation, and numerical magnitude comparison. *Child development*, 78(6), 1723-1743. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01087.x>
- Namkung, J.M., & Fuchs, L.S. (2012). Early numerical competencies of students with different forms of mathematics difficulty. *Learning disabilities research & practice*, 27(1), 2-11 <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2011.00345.x> accès ouvert sur PMC: PMC3310371
- Noël, M.P., & Rousselle, L. (2011). Developmental changes in the profiles of dyscalculia: an explanation based on a double exact-and-approximate number representation model. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 165. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00165> accès ouvert sur PMC : PMC3243900
- Opfer, J.E., & Siegler, R.S. (2007). Representational change and children's numerical estimation. *Cognitive psychology*, 55(3), 169-195. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2006.09.002>

- Regnaud, J.P. (2017). Pourquoi avons-nous besoin de revues systématiques pour informer les pratiques cliniques ? In P. Gatignol & T. Rousseau (Eds, 2018), *Efficacité des thérapies*, (pp. 9-22). Isbergues : Ortho Edition.
- Ribeiro, F.S., Tonoli, M.C., Ribeiro, D.P. de S.A., & dos Santos, F.H. (2017). Numeracy deficits scrutinized: Evidences of primary developmental dyscalculia. *Psychology & Neuroscience*, 10(2), 189-200. <https://doi.org/10.1037/pne0000082>
- Rodriguez, D., Parmar, R.S., & Signer, B.R. (2001). Fourth-grade culturally and linguistically diverse exceptional students' concepts of number line. *Exceptional children*, 67(2), 199–210. <https://doi.org/10.1177/001440290106700205>
- Rousselle, L., & Noël, M.P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>
- Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L., & Luwel, K. (2018). Associations of number line estimation with mathematical competence: a meta-analysis. *Child development*, 89(5), 1467-1484. <https://doi.org/10.1111/cdev.13068>
- Sella, F., Berteletti, I., Brazzolotto, M., Luncageli, D., & Zorzi, M. (2013). Number line estimation in children with developmental dyscalculia. *Learning disabilities: a contemporary journal*, 11(2), 41–49.
- Siegler, R.S., & Booth, J.L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child development*, 75(2), 428-444. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00684.x>
- Sinibardy, A. (2016). *Le zoo des nombres*. Espanes : Editions Cit'inspir.
- Träff, U., Olsson, L., Östergren, R., & Skagerlund, K. (2017). Heterogeneity of developmental dyscalculia: Cases with different deficit profiles. *Frontiers in psychology*, 7, 2000. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.02000> accès ouvert
- van Viersen, S., Slot, E.M., Kroesbergen, E.H., van't Noordende, J.E., & Leseman, P.P.M. (2013). The added value of eye-tracking in diagnosing dyscalculia: A case study. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00679> accès ouvert
- van't Noordende, J.E., van Hoogmoed, A.H., Schot, W.D., & Kroesbergen, E.H. (2016). Number line estimation strategies in children with mathematical learning difficulties measured by eye tracking. *Psychological Research*, 80(3), 368-378. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0736-z> accès ouvert
- von Aster, M., & Dellatolas, G., (2006). *Zareki-R : Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris : ECPA.
- Wilson, A., & Dehaene, S. (2004). *La course aux nombres*. Paris : INSERM. <https://www.lacourseauxnombres.com/nr/home.php>

Wong, T.T.Y., Ho, C.S.H., & Tang, J. (2017). Defective number sense or impaired access? Differential impairments in different subgroups of children with mathematics difficulties. *Journal of learning disabilities*, 50(1), 49–61. <https://doi.org/10.1177/0022219415588851>

Zhang, D., Stecker, P., & Beqiri, K. (2017). Strategies students with and without mathematics disabilities use when estimating fractions on number lines. *Learning Disability Quarterly*, 40(4), 225–236. <https://doi.org/10.1177/0731948717704966>