



UNIVERSITÉ DE NANTES

Unité de Formation et de Recherche de Médecine et des Techniques Médicales

Année Universitaire 2017/2018

## **Mémoire**

pour l'obtention du

### **Certificat de Capacité en Orthophonie**

**L'enfant de l'école maternelle à risque de  
dyscalculie : Eléments d'un document de  
prévention pour la pratique enseignante**

**présenté par *Laëtitia BARAZER***

**Née le 01/07/1976**

Présidente du jury : Madame Calvarin Suzanne – orthophoniste, chargée de cours

Directrice du mémoire : Madame Toullec-Thery Marie – MCF CREN Université de Nantes,  
et ESPE

Co-directrice : Madame Bourhis-Lebayle Annaïck – orthophoniste, chargée de cours

Membre du jury : Madame David Marie-Béatrice – orthophoniste, chargée de cours

*Ainsi s'achève mes cinq longues années de vie étudiante, clôturées par ce mémoire.*

*Je remercie Mmes Toullec-Théry et Bourhis-Lebayle pour avoir accepté de suivre ce projet en tant que directrice et co-directrice de ce mémoire, pour leurs conseils avisés et leurs relectures. Je remercie également ces enseignants qui ont su transmettre leurs savoirs avec passion et les orthophonistes qui m'ont accueillie lors de mes stages. Je remercie aussi mes autres relectrices comme Marina, Mikaelle et Claire, toutes les « vieilles » de la classe pour être restées unies, et la classe pour sa bonne ambiance. Je remercie enfin ma famille, mon mari et mes trois enfants pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements. Les voir fiers de moi a été la plus belle des récompenses.*

*Et maintenant commence une autre histoire...*

## ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

« Par délibération de Conseil en date du 7 Mars 1962, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation. »

### Engagement de non-plagiat

Je, soussignée Laëtitia Barazer déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes ses formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteurs ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à : Nantes

Le

Signature :

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Cadre théorique</b> .....	<b>2</b>
La dyscalculie, une origine cérébrale .....	2
La dyscalculie, un trouble spécifique des apprentissages .....	3
La dyscalculie, un déficit en calcul .....	4
Une ou des dyscalculie(s).....	5
Les modèles théoriques du traitement cognitif des nombres .....	7
La prévention.....	8
<b>Méthodes</b> .....	<b>10</b>
I. Développement numérique et signes précurseurs de la dyscalculie .....	10
II. Analyse des documents.....	11
Sélection des critères d'analyse .....	11
Recensement et analyse des documents disponibles sur Internet .....	12
<b>Résultats</b> .....	<b>12</b>
I. Développement numérique et signes précurseurs de la dyscalculie .....	12
A son arrivée en maternelle, l'enfant dispose déjà de compétences précoces.....	12
Le système analogique : berceau du « sens du nombre ».....	13
Le système numérique précis et son processus de quantification : le subitizing .....	14
Le système numérique approximatif et son système de quantification : l'estimation .....	16
Premiers savoirs : Apprendre et comprendre les codes symboliques français.....	22
Premiers savoir-faire : le comptage et le dénombrement exact .....	27
II. Analyse des documents.....	29
Sélection des critères pour l'analyse des documents .....	29
Recensement des documents .....	31
Analyses de leur contenu .....	33
Analyse qualitative des critères spécifiques aux documents .....	33
Analyse qualitative des critères concernant la dyscalculie.....	36
Analyse qualitative des critères plus spécifiques aux demandes des enseignants... ..	40
<b>Discussion</b> .....	<b>42</b>
<b>Bibliographie</b> .....	
<b>Annexes</b> .....	

## Liste des tableaux

Tableau 1. Vue d'ensemble des critères d'analyse des 19 documents .....	34
Tableau 2. Statuts des membres/rédacteurs ayant participé à l'élaboration des documents pour les 10 documents les mentionnant.....	35
Tableau 3. Evolution de la terminologie relative à la prise en charge des troubles de la cognition mathématique .....	
Tableau 4. Extrait du livre « Engaging young children in mathematics : Standards for early Childhood education (Clements, Sarama, & Dibiase, 2004, p.178-183).....	

## Liste des figures

Figure 1 : Caractéristiques et résultats des principales études de prévalence de la dyscalculie sur d'importantes populations d'enfants d'âge scolaire (INSERM, 2007, p296) .....	5
Figure 2:Pourcentage of childre having a linear and logarithmic representation. (Praet & Desoete, 2014, p.24).....	17

## Liste des abréviations

APA	American Psychiatric Association
Apajh	Association Pour Adultes et Jeunes Handicapés
CP	Cours préparatoire
CE1	Cours élémentaire 1ère année
CE2	Cours élémentaire 2ème année
CM2	Cours moyen 2ème année
CNESCO	Conseil National d'Evaluation du Système Scolaire
DC	Dyscalculie
DSM-5	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5ème version
ET	Ecart-Type
FFDys	Fédération Française des dys
GEPALM	Groupe d'Étude sur la Psychologie des Activités Logico-Mathématiques
GSM	Grande section maternelle
HAS	Haute Autorité de Santé
INPES	Institut national de prévention et d'éducation pour la santé
INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale
LNM	Ligne numérique mentale
MDT	Mémoire de travail
MDPH	Maison Départementale du Handicap
MEN	Ministère de l'Éducation Nationale
MLT	Mémoire à long terme
MSM	Moyenne section maternelle
NGAP	Nomenclature Générale des Actes Professionnels
RASED	Réseaux d'aides spécialisées aux élèves en difficulté
SNA	Système numérique approximatif
SNP	Système numérique précis
Tedi-Math	Test Diagnostique des compétences de base en Mathématiques

## Introduction

Les pathologies neurodéveloppementales telles que dyslexies, dysorthographies, dysphasies ont de nombreuses années de recherche derrière elles : elles sont à la fois plus connues et médiatisées et peuvent être prises en charge rapidement dès les premiers signes d'alerte. La dyscalculie en revanche fait l'objet d'attentions plus récentes dans les recherches, elle est mal connue des enseignants et même des médecins. (Schulz, 2016). L'American Psychiatric Association (APA, 2016, p.32-35) définit la dyscalculie comme un trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul. Le courant neuropsychologique, quant à lui, distingue le trouble primaire lié à une atteinte de la magnitude, d'un trouble secondaire lié au déficit d'une autre fonction cognitive. Pour expliquer le fonctionnement cognitif du nombre, deux modèles font référence aujourd'hui : le modèle du triple code (Dehaene, 1992) qui cible le fonctionnement de l'adulte et le modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007).

Le nombre est présent dans de nombreuses activités de la vie quotidienne telles que la gestion de l'argent ou l'heure. Une dyscalculie impacte l'enfant, l'adolescent puis l'adulte tant aux niveaux de ses apprentissages et de sa vie professionnelle que dans sa construction psychique et psychologique (Guilloux, 2009 ; Kervarrec, 2017). Les compétences arithmétiques précoces en maternelle influencent les apprentissages à court et long termes (Fayol, Catier, & Bouvier, 2017 ; Geary, Bailey, & Hoard, 2009 ; Krajewski & Schneider, 2009). Or, lors d'un développement numérique troublé, les activités ciblées sont les plus pertinentes et les plus efficaces (Dowker & Sigley, 2010). D'un point de vue scientifique, une meilleure compréhension du développement numérique et des signes précurseurs à observer permettraient aux enseignants une intervention pédagogique ciblée sur les difficultés de l'enfant. D'un point de vue préventif, lorsque les difficultés perdurent malgré la remédiation ciblée, des enseignants informés permettraient une orientation vers une prise en charge orthophonique de la cognition mathématique plus précoce qu'aujourd'hui. Effectivement, lors de mes stages, j'ai pu constater que les enfants dyscalculiques étaient pris en charge vers la fin du primaire. Ceux repérés plus jeunes l'ont été par l'orthophoniste lors d'une prise en charge pour une autre pathologie.

Dans le champ de la prévention de la dyscalculie, pour comprendre quels éléments seraient pertinents dans un document pour la pratique enseignante concernant l'enfant de maternelle, une analyse plurifactorielle est à envisager.

# Cadre théorique

## La dyscalculie, une origine cérébrale

A la naissance, le cerveau de l'enfant n'est pas vierge. Programmés par la génétique, des réseaux neuronaux dédiés aux fonctions cognitives émergent et permettent à l'enfant des compétences précoces (quasi) innées et universelles (Camos, 2011). Puis, son cerveau se réorganise grâce à l'interaction avec son environnement et sous l'influence des apprentissages scolaires (Rosenberg-Lee, Barth, & Menon, 2011, cité par Schulz, 2016). Des connexions neuronales sont sacrifiées au profit de certaines plus efficaces, et d'autres sont créées, c'est la plasticité cérébrale. Ainsi, « l'apprentissage précoce d'une compétence, lorsqu'il intervient dans un organisme en pleine maturation est susceptible de modifier profondément l'organisation cérébrale » (Dehaene, 2010). Ce réseau se complexifie et se spécialise de plus en plus, l'acquis venant enrichir les compétences innées et inversement (Mazeau, 2017).

L'apprentissage mathématique active des circuits neuronaux non prédisposés à l'origine qui deviennent dévolus au calcul (Dehaene, 2010). Le segment horizontal du sillon intrapariétal bilatéral est impliqué dans le sens du nombre et dans toutes les tâches numériques conscientes ou non, quelle qu'en soit la représentation (Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003). Le gyrus angulaire gauche permet la rétention des faits arithmétiques verbaux et s'active lors de tâches verbales non numériques (Dehaene & al.). Et la région supéropostérieure bilatérale sert dans les soustractions, les tâches d'approximation, lors de l'effet de distance et des tâches visuo-spatiales (Dehaene & al.).

Or, la dyscalculie est un « trouble neurodéveloppemental » selon le *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5ème version* (DSM-5) (APA, 2016, p.32-35). Lors du développement cérébral, à l'étape prénatale (Crunelle, 2008) ou lors de la réorganisation cérébrale (Mazeau, 2017), un dysfonctionnement se produit au niveau des zones neurologiques de la fonction concernée. Ce développement troublé est dit déviant. Par conséquent, une « désorganisation précoce des régions cérébrales qui auraient dû normalement se spécialiser dans les nombres » est à l'origine de la dyscalculie développementale (Dehaene, 2010). Cette cause intrinsèque est donc présente dès l'enfance et ne peut être supprimée.

Les recherches en neuropsychologie ont tenté de comprendre les mécanismes sous-jacents. Ainsi, il existe une anomalie du développement des réseaux neuronaux impliqués spécifiquement dans la perception des nombres (Molko, Wilson, & Dehaene, 2005), une différence d'activation dans les régions pariétales dévolues au nombre dans le cortex (pré)

frontal et occipital entre des enfants avec et sans dyscalculie (Kaufmann, Wood, Rubinsten, & Henik, 2011) et une réduction de matière grise et de substance blanche dans le réseau fronto-pariétal chez certains enfants dyscalculiques (Rotzer et al., 2008). Or, ces aires cérébrales, impliquées dans les traitements du nombre, sont les mêmes activées lors de mathématiques de haut niveau (Almaric & Dehaene, 2016).

### **La dyscalculie, un trouble spécifique des apprentissages**

Ce trouble neurodéveloppemental engendre un « trouble spécifique des apprentissages » (APA, 2016, p.32-35). A ce titre, ses critères diagnostiques sont communs à tous les « dys ». Premièrement, des difficultés persistent plus de six mois malgré les mesures mises en place (durabilité) et diffèrent d'une fluctuation normale des résultats scolaires (First, Crocq, & Moraru, 2016). Ainsi, une étude longitudinale de 140 enfants diagnostiqués dyscalculiques et d'intelligence normale de 5ème grade (Cours Moyen 2ème année (CM2)) montre que six ans plus tard, 95% d'entre eux ont des performances arithmétiques inférieures au percentile 25 dont 40% inférieures au percentile 5 (Shalev, Manor & Gross-Tsur, 2005). Deuxièmement, les compétences scolaires sont quantitativement inférieures à celles attendues et interfèrent significativement avec les performances scolaires quand les demandes de l'école excèdent les capacités du sujet (de -1,6 à -2 écarts-types et au-delà aux tests étalonnés). Mazeau et Pouhet (2014) parlent de handicap. Ce nouveau critère permet de diagnostiquer plus tardivement des enfants plus âgés ayant développé des compensations initialement efficaces. Cependant, il ne permet pas de différencier le trouble neurodéveloppemental d'un retard des apprentissages pouvant être lié à de nombreux facteurs comme un milieu socio-économique défavorisé (Lévine, Suriyakham, Rowe, Huttenlocher, & Gunderson, 2010) ou une pédagogie inadaptée, (Brissiaud 2012, cité par Legeay & Morel, 2016, p159). En effet, les critères du DSM-5 reposent sur la constatation de symptômes au niveau des apprentissages (le retard scolaire est objectif) et non sur des examens plus spécifiques du sujet mettant en lumière les processus défaillants qui permettraient d'établir un diagnostic (Mazeau & Pouhet, 2014). Troisièmement, un diagnostic différentiel tel que handicap intellectuel, troubles sensoriels, neurologiques ou mentaux, adversité psychosociale, maîtrise insuffisante du français ou enseignement inapproprié n'explique pas mieux les difficultés. C'est pourquoi ces troubles sont dits spécifiques. Pour autant, « ce diagnostic [par exclusion] peut sembler excessif [car] certains enfants peuvent en effet cumuler les difficultés » (Crunelle, 2008) car « spécifique ne veut pas dire isolé » (Mazeau & Pouhet, 2014). On parle alors de comorbidité.

La comorbidité renvoie à la présence concomitante chez un individu de deux troubles

ou plus (INSERM, 2007, p.96). Ainsi, des atteintes chromosomales et des syndromes neurologiques (INSERM) prédisposent à développer une dyscalculie : infirmité motrice cérébrale (Lacert & Gérard, 2001), prématurité, faible poids de naissance, épilepsie, syndrome de Turner ou de William-Beuren (Schulz, 2016). La comorbidité de la dyscalculie avec les autres troubles spécifiques des apprentissages n'est pas rare. Une étude de 1056 enfants montre que sur les 3.6% des enfants qui développent des troubles spécifiques des apprentissages mathématiques associés ou non à d'autres troubles, seul 1,3% a des troubles uniquement en mathématique (Lewis, Hitch, & Walker, 1994). Le pourcentage de personnes associant dyscalculie-dyslexie est donc relativement élevé : de 17% (Gross-Tsur, Manor, & Shalev, 1996) à 63% (Lewis & al., 1994). Il ne s'agit pas de deux pathologies relevant d'un unique mécanisme cognitif mais bien de deux troubles co-existants. La dyscalculie, isolée ou concomitante à une dyslexie, relève donc bien d'un handicap spécifique du traitement numérique et n'est pas la conséquence d'un trouble des autres habiletés cognitives (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004). Toutefois, cette comorbidité entraîne de plus faibles résultats en arithmétique par rapport à une dyscalculie isolée (Fuchs & Fuchs, 2002, cité par INSERM, 2007).

### **La dyscalculie, un déficit en calcul**

Le DSM-5 utilise l'appellation « trouble spécifique des apprentissages avec déficit en calcul » ou « dyscalculie » lorsque les difficultés concernent le « sens des nombres, la mémorisation des faits arithmétiques et le calcul exact ou fluide » (APA, 2016, p.32-35).

La dyscalculie est distincte du « trouble du raisonnement » (APA, 2016, p.32-35) qui concerne les difficultés du raisonnement mathématique. Pourtant, ces deux terminologies sont sources de confusion dans l'esprit des enseignants (Landais, 2016) et dans notre profession (Mazeau & Pouhet, 2014). En orthophonie, l'appellation « logico-math » est encore trop fréquemment usitée (Ménissier, 2017), sous l'influence de la théorie piagétienne structuraliste et d'une définition plus large de la génération de Jaulin-Mannoni, d'une dyscalculie regroupant un trouble numérique et un trouble du raisonnement mathématique (Legeay & Morel, 2016). Cette vision de la dyscalculie s'expliquait par les connaissances de l'époque. En effet, en présence de sévères difficultés d'apprentissage en mathématique, soit l'enfant avait une anomalie cérébrale sous-jacente (i.e. une déficience mentale) soit l'environnement était pathogène (Mazeau, 2017). C'est pourquoi, nombre d'orthophonistes ont été, et sont encore, principalement formés aux compétences piagésiennes (Guedin, 2017). Mais les activités ciblées sur la logique n'améliorent que la logique alors que des activités ciblées sur le nombre

améliorent les domaines du nombre et de la logique chez 45 enfants d'âge moyen de 4,5 ans (Clements, 1984). Néanmoins, l'association d'un trouble du raisonnement et d'une dyscalculie n'est pas rare. Dans l'étude anglaise précédemment citée de Lewis et collaborateurs (1994), l'intelligence des enfants a été évaluée selon les matrices progressives de Raven que l'on sait fortement corrélées au facteur  $g$ <sup>1</sup>. Lewis et ses collaborateurs ont montré que chez les enfants avec un quotient intellectuel supérieur à 90, 1.3% développe des troubles spécifiques des apprentissages uniquement en mathématique et 2.3% ont des troubles des apprentissages en mathématique et en lecture (Ibid.). Alors que chez les enfants dont le quotient intellectuel est inférieur à 90 (« low ability ») pouvant suggérer un trouble du raisonnement, 1.8% ont des troubles des apprentissages non spécifiques uniquement en mathématique et 5.3% ont des troubles des apprentissages non spécifiques en mathématique et en lecture (Lewis & al. Ibid.).

### Une ou des dyscalculie(s)

La dyscalculie a une prévalence qui varie selon les critères d'inclusion et d'exclusion retenus par les auteurs (cf. Figure 1).

Étude	N	Âges (années)	Critère d'inclusion	Critère d'exclusion	Dyscalculie (Taux en %)
Kosc, 1974	375	10-12	Batterie de tests <i>ad hoc</i>	QI < 90	6,4
Badian, 1983	1 476	7-14	Score < centile 20 <i>Stanford Achievement</i>	Aucun	6,4
Lewis et coll., 1994	1 056	9-10	Score standardisé < 85 <i>Group Mathematics Test</i>	Test PM Raven < 90	3,6
Gross-Tsur et coll., 1996	3 029	10-11	2 ans de retard Batterie de tests <i>ad hoc</i>	QI < 80	6,5
Desoete et coll., 2004	3 978	8-11	2 écarts-types de la moyenne Batterie de tests	Aucun	2,3 à 7,7 selon l'âge

**Figure 1 : Caractéristiques et résultats des principales études de prévalence de la dyscalculie sur d'importantes populations d'enfants d'âge scolaire (INSERM, 2007, p296)**

Au sens neuropsychologique, la dyscalculie se scinde en deux concepts :

La dyscalculie primaire<sup>2</sup> se caractérise par un déficit du sens du nombre, au sens d'une atteinte de la magnitude (Butterworth, 2005) et recrute au niveau du sillon intrapariétal (Molko, Wilson & Dehaene, 2005). Le sens du nombre en tant que compétence précoce dans

<sup>1</sup> Facteur  $g$  : Il représente l'intelligence générale selon Spearman et Carroll (Leseq, 2014). En cas de suspicion de déficience intellectuelle, deux subtests d'épreuves psychométriques sont fortement corrélés au facteur  $g$ : le test des similitudes et celui des matrices du test psychométrique des échelles de Wechsler (Leseq, 2014).

<sup>2</sup> Les termes dyscalculie vraie, pure, primitive voire dyscalculie-diagnostic se retrouve dans la littérature.

le traitement analogique des quantités non symboliques ne s'est pas correctement mis en place (Molko & al. 2005), ou l'accès au sens du nombre via les systèmes symboliques s'est mal réalisé (Noël & Rousselle, 2011). La dyscalculie développementale se manifeste donc par un :

« déficit spécifique du sens du nombre au niveau du SNP et/ou un déficit spécifique de traitement des nombres symboliques c'est-à-dire à la fois un déficit de reconnaissance des nombres symboliques, un déficit d'accès au sens du nombre via ces codes symboliques et une acuité plus faible de la ligne numérique lorsqu'elle implique ces nombres symboliques » (Lafay, St-Pierre, & Macoir, 2016, p.iii).

La dyscalculie secondaire serait la conséquence d'un autre trouble cognitif primaire (Mazeau, 2017). Un trouble des fonctions langagières impacte les représentations symboliques verbales et ses compétences associées : apprentissage de la comptine numérique, mémorisation de faits arithmétiques, calcul mental, association moindre entre noms de nombres et numéraux (Content, 2017), transcodage du code oral vers le code arabe et compréhension des problèmes et énoncés arithmétiques (Mazeau & Pouhet, 2014). La représentation de l'espace étant contiguë au substrat neuronal du sens du nombre (Dehaene, 2010), un déficit des fonctions visuo-spatiales se répercute aux niveaux des représentations indo-arabes dont dépendent l'organisation spatiale du comptage, la numération, les calculs posés (Mazeau & Pouhet, 2014), la ligne numérique mentale orientée spatialement et le subitizing. Le trouble des fonctions exécutives fait évoquer un profil de multi-dys et engendre des difficultés dans les procédures et les stratégies de calcul (Wilson & Dehaene, 2007). Enfin, les troubles des fonctions mnésiques, principalement mémoire de travail (MDT) et mémoire à long terme (MLT), peuvent être confondus avec de faibles capacités intellectuelles, un manque de travail ou de motivation de la part de l'enfant et compromettent fortement sa scolarité en pénalisant l'ensemble de ses apprentissages (Mazeau & Pouhet, 2014). « A un moment donné de la scolarité, les scores aux différentes composantes de la MDT sont le plus souvent significativement corrélés aux performances arithmétiques » (Fuchs et al., cité par Fayol, 2017, p.17). La MDT impacte l'apprentissage et la mémorisation des procédures et stratégies de calcul (Fayol, 2017), alors que le trouble de la MLT ne se manifeste qu'aux premiers apprentissages par cœur, vers sept, huit ans (Mazeau & Pouhet, 2014). Tous les apprentissages arithmétiques (doubles, faits arithmétiques...) seront laborieux comme si l'enfant « construisait sur du sable » (Mazeau & Pouhet, 2014, p.200).

La dyscalculie se définit donc en tant que trouble neurodéveloppemental spécifique des apprentissages avec déficit du calcul. Elle peut être primaire ou secondaire à de nombreux autres troubles cognitifs.

## Les modèles théoriques du traitement cognitif des nombres

Deux grands modèles théoriques permettent une compréhension des systèmes et sous-systèmes impliqués dans le développement de la cognition mathématique.

Le « modèle du triple code » (Dehaene, 1992) décrit trois systèmes interdépendants de représentations mentales des nombres. Le système analogique, sémantique est à la base du sens du nombre. Cette représentation non symbolique de la quantité est utilisée dans les tâches de quantification de petites numérosités, d'estimation, de comparaison des quantités et dans le calcul approximatif. Ce système est composé de deux sous-systèmes : le système numérique approximatif (SNA) impliqué pour l'approximation des magnitudes numériques lors de grandes quantités et le système numérique précis (SNP) impliqué dans la représentation précise des petites quantités (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004). Le système analogique et ses sous-systèmes sont à la base de l'intuition protoarithmétique des enfants et servent de fondation aux concepts mathématiques ultérieurs (Feigenson & al.). Les deux autres systèmes sont symboliques et asémantiques. Ils codent les représentations arabe et orale du nombre (Dehaene, 1992). Le code verbal est la représentation orale ou écrite en lettres de la quantité et demande un certain degré d'abstraction. Il est utilisé pour l'accès aux faits arithmétiques, le comptage et le calcul exact (via la comptine numérique). Le code arabe est la représentation visuelle-arabe des nombres en chiffres. Ce code intervient pour les jugements de parité, l'arithmétique écrite. Sa maîtrise est dépendante du traitement visuo-spatial. Les procédures de transcodages permettent de passer d'un code à l'autre.

Dans la continuité du triple code, Von Aster et Shalev (2007) ont proposé un modèle développemental expliquant le développement de la cognition mathématique chez l'enfant. En quatre stades successifs, il rend compte des dysfonctionnements neuropsychologiques de la dyscalculie. Ces auteurs postulent qu'en première étape le bébé possède un système inné des représentations des quantités concrètes sous la forme de grandeurs cardinales. Cela rejoint les études comportementales, initiées par Wynn (1992) qui montrent que le bébé aurait des compétences précoces de quantification de petites numérosités et de comparaison de grandes numérosités avant l'apparition du langage (Camos, 2011). Grâce à cela, il attribue une signification numérique aux collections d'objets et à leurs transformations. Aux deuxième et troisième étapes, l'enfant met ses acquis précédents en relation avec le système verbal (mots-nombre) et le système arabe (chiffre), cet apprentissage dépendant de l'école maternelle. Enfin, à la quatrième étape, une ligne numérique mentale s'élabore, orientée spatialement de gauche à droite où l'ordinalité organise les traitements numériques, rendant possible le calcul réfléchi. Von Aster et Shalev (2007) soulignent aussi l'importance de la maturation de la

mémoire de travail et l'augmentation des capacités de traitement pour le développement numérique.

Les modèles de Dehaene (1992), modèle adulte reposant sur un triple code et celui développemental en quatre stades de Von Aster et Shalev (2007) permettent d'avoir une vision générale des éléments nécessaires au développement numérique de l'enfant.

## La prévention

Des études scientifiques récentes portant en partie sur des enfants entre 3 et 5 ans mettent en évidence que les compétences arithmétiques précoces en maternelle influencent fortement les apprentissages à court et long termes (Fayol & al., 2017 ; Geary & al., 2009 ; Krajewski & Schneider, 2009). Une étude longitudinale montre que les épreuves de comparaisons de quantités combinées au comptage en grande section maternelle (GSM) prédisent à 87,5% les enfants à risque de dyscalculie (Stock, Desoete, & Roeyers, 2010). De plus, les épreuves de subitizing sont corrélées avec l'efficacité en calcul et la réussite mathématique ultérieure (Reigosa-Crespo & al., 2013).

Dans une démarche de prévention, il est alors pertinent pour l'enseignant de disposer de repères concernant le développement numérique normal et pathologique de l'enfant, car même s'ils « trouvent eux-mêmes des solutions judicieuses de façon empirique » (Guedin, 2017, p.260), cela leur permettrait de remédier rapidement aux difficultés et d'intervenir avant qu'elles ne se répercutent en cascade sur d'autres apprentissages. En effet, les erreurs repérées en GSM persistent et influencent les apprentissages ultérieurs en cours élémentaire 2ème année (CE2) puis en 4ème (Mazzocco, Murphy, Brown, Rinne, & Herold, 2013). De plus, ces déficits engendrent un effet domino se répercutant au niveau psychoaffectif, familial et psychorelationnel (Guilloux, 2009), impactent l'estime de soi (Kervarrec, 2017) et entraînent une anxiété mathématique (Van Nieuwenhoven & De Vriendt 2010 ; Vilette, Danet, & Dione, 2017). Les sujets atteints par l'anxiété mathématique ont des « processus numériques élémentaires déficitaires » (Maloney, Risko, Ansari, & Fugelsang, 2010). C'est un « sentiment d'appréhension » impliqué uniquement lors des tâches de « traitement d'informations numériques » ou dans la « perspective d'une situation mathématique » et indépendante de l'anxiété générale (Vilette, Danet, Dione, 2017, p202-203). Elle est corrélée négativement avec les résultats scolaires en mathématique et se manifeste en fin de primaire (Vilette, & al. 2017). Adulte, si la personne est dyscalculique, elle voit sa vie impactée au quotidien avec des retentissements sur la vie familiale, professionnelle et psychologique (INSERM, 2007) ajouté à un moindre bien-être émotionnel (Thibaut, 2017).

Comprendre les fondements des apprentissages en maternelle est donc essentiel pour « apporter un éclairage pertinent aux pratiques pédagogiques » comme avec le modèle du triple code de Dehaene (Guedin, 2017, p.258). Cela permettrait la mise en place d'activités ciblées pour une intervention plus efficace et pertinente (Dowker & Sigley, 2010). Car, soumis à un entraînement spécifique, deux tiers des enfants avec une dyscalculie développementale progressent (Mazzocco & Räsänen, 2013), tandis que les autres présentent une résistance à l'intervention (Mazzocco & Räsänen). Celle-ci est fréquente dans le cas d'une potentielle dyscalculie ou d'une grande difficulté mathématique. Bien qu'elle puisse être présente lors d'une fragilité en mathématique, elle reste rare dans un développement numérique typique (Fayol, 2017).

Si l'enfant est en très grande difficulté dans la mise en place de ses premiers savoirs numériques et que les activités de remédiation mises en place durant quelques mois ne fonctionnent pas, une orientation par un médecin vers un professionnel de santé compétent dans ce domaine trouve toute sa justification. Ainsi, le médecin peut adresser l'enfant vers un orthophoniste car la dyscalculie fait partie de ses compétences, et ce, dès sa formation initiale. La prise en charge des troubles des apprentissages en mathématique en orthophonie a évolué et la terminologie s'y est adaptée au sein du décret de compétences (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2013) et de la Nomenclature Générale des Actes Professionnels (N.G.A.P.) comme le montre le tableau 3 en annexe 1. Aujourd'hui, les orthophonistes sont spécialisés dans la cognition mathématique, c'est-à-dire à « l'implication de toutes les fonctions cognitives qui participent à la construction de l'ensemble des notions mathématiques » (Ménissier, 2017). Seulement, l'orientation vers des spécialistes lors de difficultés persistantes dans le domaine du nombre n'est pas encore chose pensée. La formation des professeurs des écoles reste, à ce sujet, limitée à quelques heures dans leur formation Master, comme le précise le Ministère de l'Education Nationale (MEN) (2015). Ils n'ont pas toujours connaissance des signes à observer (Landais, 2016) et se retrouvent démunis face à des enfants en difficulté (Dias & Deruaz, 2012). Tout se passe comme si la construction du nombre n'était pas importante en maternelle : en exemple, sur le site Eduscol (MEN, 2017), il n'y a aucune ressource d'accompagnement concernant les mathématiques dans « Programme, ressources et évaluation pour le cycle 1 ». Pourtant, les professeurs des écoles sont demandeurs d'informations sur les troubles des apprentissages en mathématiques (Grisard, 2012 ; Landais, 2016). Landais (Ibid.), dans son mémoire d'orthophonie, montre que si 98.6% des enseignants connaissent le terme dyscalculie, seuls 26.9% l'ont abordé lors de leur formation initiale. Les autres ont eu recours à diverses voies : formation continue

(35,8%), rencontres avec d'autres enseignants, amis, orthophonistes ou autres professionnels de santé, enseignants spécialisés, lectures personnelles, Internet, autoformation (Dias & Deruaz, 2012 ; Landais, 2016). D'autant que ce trouble n'est pas si rare puisque 69.8% d'entre eux l'ont déjà suspecté chez un ou plusieurs de leurs élèves et pour 41.9% au moins un élève est diagnostiqué dyscalculique (Landais, Ibid.). Lorsqu'il leur est demandé de définir ce concept, 10% des enseignants ne savent pas (Ibid.). Les réponses des 90% restant montrent que les enseignants ont des connaissances mais mélangent causes (ex : difficulté avec le sens du nombre) et conséquences (ex : difficulté avec la monnaie, en sciences), et/ou confondent dyscalculie avec un trouble du raisonnement ou un autre trouble (par ex : dyspraxie) (Ibid.).

Landais (Ibid.) a créé une plaquette d'information et de prévention, volontairement synthétique, sur le trouble spécifique des apprentissages en mathématique en primaire, non diffusée actuellement. Landais montre que les enseignants ont appris des informations dans sa plaquette, qu'elle les a éclairés sur leur vie professionnelle, que cette plaquette a un bénéfice sur leurs pratiques professionnelles et qu'il est pertinent de la diffuser. Mais les enseignants ont également fait part de leur souhait d'informations plus détaillées au niveau théorique et plus concrètes. La maternelle y est également très peu abordée. Au regard des avancées scientifiques récentes, il serait donc intéressant que les enseignants qui souhaitent s'informer sur le repérage précoce d'enfants à risque de dyscalculie en maternelle disposent d'un outil actualisé auquel se référer.

Problématique : Dans une démarche de prévention, en quoi les résultats scientifiques et l'étude des principaux documents existants dans le champ de la dyscalculie permettent d'envisager les éléments d'un document qui participerait à la pratique enseignante. La réponse à cette question demande d'une part l'étude de la littérature scientifique concernant le développement numérique normal et pathologique de l'enfant de maternelle et d'autre part l'analyse, selon des critères prédéfinis, des principaux documents sur la dyscalculie disponibles sur Internet.

## Méthodes

### I. Développement numérique et signes précurseurs de la dyscalculie

La dyscalculie se diagnostique au stade des apprentissages formels. Mais l'origine du trouble étant neurodéveloppementale, des prémices sont potentiellement repérables précocement, en maternelle, avant l'installation d'une dyscalculie. Avoir conscience de ces éléments participe à sa prévention à la condition de comprendre également que seul un

faisceau d'éléments convergents devrait amener l'enseignant à s'interroger sur cet enfant-là et non sur un seul élément. Afin de comprendre, si cela est possible, à quel niveau le concept du nombre peut être impacté lors d'un développement déviant, le développement numérique de l'enfant de maternelle est analysé en s'appuyant sur les données scientifiques. Cette partie repose sur l'étude de la littérature scientifique issue de livres, de bases de données PUBMED et PSYCHINFO, sur la revue « Rééducation orthophonique » et sur les données scientifiques du Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques (Tedi-Math) (Van Nieuwenhoven, Noël, & Grégoire, 2001) concernant les compétences généralement acquises en maternelle<sup>3</sup>. Ce test, dans la lignée des modèles théoriques, présente des propriétés psychométriques correctes pour cette tranche d'âge (Lafay & Cattini, 2017). Lorsque cela est pertinent, les 25% d'enfants les plus faibles seront pris comme référence afin d'inclure les enfants fragiles qui bénéficieraient favorablement d'une aide ponctuelle. Cette partie se base également sur Clements, Sarama et DiBiase (2004) qui ont étudié le nombre, ses utilisations et leurs implications au niveau scolaire. Ils ont détaillé les activités mathématiques au regard des recherches développementales et ont établi une liste de compétences dans le domaine du nombre et des opérations avec l'âge moyen et la tranche d'âge auxquels l'enfant apprend normalement la compétence ciblée. Cette liste est consultable partiellement en annexe 2.

## II. Analyse des documents

### Sélection des critères d'analyse

La Haute Autorité de Santé a validé le Guide méthodologique : « Elaboration d'un document écrit d'information à l'intention des patients et des usagers du système de santé » (HAS, 2008). Rédigé à l'origine dans une « démarche d'information des patients et usagers de santé », il s'appuie sur des recommandations professionnelles existantes (HAS, p.6). Ce guide indique son utilisation possible pour les documents ayant pour thème la prévention. La seconde partie de la troisième annexe appelée « Critères d'évaluation de la qualité des documents écrits d'information destinés aux patients et usagers du système de santé » (HAS, p.37) recense des critères d'analyse de contenu de documents d'information. Le choix de critères pour l'analyse du contenu des documents disponibles sur Internet s'appuie sur ce guide. Le premier des critères d'analyse s'intitule « Prise en compte des attentes et des questions posées par les usagers » (HAS, 2008, p.37). En effet, pour pouvoir analyser les documents, les attentes et besoins des professeurs des écoles doivent être définis. Landais

---

<sup>3</sup> compétences acquises à partir de la moyenne section (MSM) (période 2). La période 1 y correspond aux mois de septembre-février, la période 2 se réfère aux mois de mars à août.

(Ibid.) a réalisé ce travail dans son mémoire *via* deux questionnaires destinés aux enseignants de primaire. Cependant, il n'existe pas de spécificité pour enseigner en classe maternelle ou élémentaire chez les professeurs des écoles, ils sont habilités à exercer à l'école primaire, tous niveaux confondus. De plus, comme les éléments théoriques concernant l'information et la prévention de l'enfant de maternelle à risque de dyscalculie abordent également la construction du nombre chez l'enfant, ils peuvent donc éclairer l'enseignant en classe élémentaire. C'est pourquoi ces données seront réutilisées si une analyse statistique préalable grâce au logiciel statistique Jasp version 0.8.5 (Jasp Team, 2018) montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les réponses des enseignants exerçant en maternelle et ceux exerçant en élémentaire. Son questionnaire préalable à la construction de son livret évalue les connaissances des enseignants sur le trouble spécifique des apprentissages en mathématique ou dyscalculie et leurs besoins en termes d'informations : 69 enseignants y ont répondu dont 18 exerçant en maternelle. Le second questionnaire, questionnaire de satisfaction, concerne la maquette de son document. Il a obtenu 23 réponses. Les limites sont le faible nombre de réponses au second questionnaire et le nombre de questions ouvertes, très enrichissantes d'un point de vue qualitatif, mais ne permettant pas une analyse statistique poussée des résultats.

### **Recensement et analyse des documents disponibles sur Internet**

Le recensement des documents disponibles (plaquettes, livrets, guides...) de type PDF sur Internet est réalisé grâce au moteur de recherche Firefox version 58.0 (Mozilla Foundation, 2002) en utilisant les mots-clés combinant les termes : dyscalculie, trouble, dys, spécifique, apprentissages, mathématiques, numératie, difficultés. Puis le contenu en est analysé selon les critères définis à l'étape précédente.

## **Résultats**

### **I. Développement numérique et signes précurseurs de la dyscalculie**

#### **A son arrivée en maternelle, l'enfant dispose déjà de compétences précoces**

Le bébé est numériquement pré-équipé pour percevoir les numérosités. Ce « module du nombre » (Butterworth, 1999, cité par Thévenot & Masson, 2013) est à la base du « sens du nombre » (Danzig, 1954, cité par Dehaene, 2010) ou « number sense » (Butterworth 1999, cité par Dehaene, 2011). Il permet une représentation mentale des quantités, bien avant l'acquisition du langage, des apprentissages numériques formels et indépendamment des influences sociétales culturelles. Ces habiletés protonumériques sont mises en évidence par

des études scientifiques en utilisant le paradigme d'habituation<sup>4</sup>. Mais si on peut se poser la question d'une nécessité à s'y intéresser en maternelle, Guedin y répond par l'affirmative car un enfant présentant des lacunes dans la mise en place du système numérique et de sa compréhension pourrait passer inaperçu aux yeux de l'école en appliquant des activités de routine (Guedin, 2017).

### **Le système analogique : berceau du « sens du nombre »**

Ce système [quasi] inné représente la quantité sous un codage de type analogique. Il est la base sémantique du nombre car il existe une relation entre le signifiant et le signifié. Présente chez tous les humains depuis la naissance et chez divers animaux (Camos, 2011), cette représentation numérique, non symbolique, ne dépend d'aucune culture. Dans notre culture, les représentations digitales en tant qu'outil pré-symbolique ont un double statut : représentations analogiques pour l'enfant de maternelle avec le lien signifiant-signifié et représentations symboliques lors de la mémorisation des configurations digitales car elles ne nécessitent plus de comptage et fonctionnent alors comme un code symbolique (Guedin, Thevenot, & Fayol, 2017, sous presse). L'utilisation des doigts et les résultats en arithmétique sont fortement et positivement corrélés en grande section maternelle (GSM) car ils aident à comprendre les représentations symboliques et les liens avec les représentations analogiques ; en cours élémentaire 1ère année (CE1) en revanche, leurs utilisations relèvent d'un manque de recours à des stratégies plus efficaces (Guedin & al., sous presse). Une attention doit donc être portée aux enfants n'utilisant pas leurs doigts en GSM pour comprendre le nombre. Pour finir, ce système est indépendant du langage. Pourtant sous l'influence de l'acquisition du langage, les expériences de l'enfant, la scolarisation et l'apprentissage des codes symboliques culturels (Mazeau & Pouhet, 2014), il va se perfectionner.

Les aires cérébrales associées à la magnitude s'enracinent dans les segments horizontaux des sillons intrapariétaux droit et gauche (Dehaene & al., 2003), régions également impliquées dans les processus visuo-spatiaux. Ces mêmes aires s'activent chez l'adulte (Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2004 ; Piazza, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2006) comme chez le nourrisson de trois mois (Izard, Dehaene, Dehaene-Lambertz, 2008). Par ailleurs, Feigenson et ses collaborateurs (2004) ont identifié deux systèmes numériques différents qui sont utilisés pour quantifier des numérosités sans utiliser le nombre mais relevant de mécanismes de quantification distincts. L'un concerne les toutes petites

---

<sup>4</sup> Le paradigme d'habituation : les bébés sont en premier habitués à des collections de même taille. Puis lorsqu'on leur présente secondairement une collection identique ou différente en taille, les bébés regardent plus longtemps ce qui est nouveau ou inattendu.

collections qui permettrait de quantifier de manière exacte par un processus très rapide, c'est le système numérique précis (SNP). Le second traite des grandes numérosités qui sont évaluées de manière approximative via le système numérique approximatif (SNA) (Feigenson & al., 2004 ; Piazza & al., 2010).

### **Le système numérique précis et son processus de quantification : le subitizing**

Le bébé est compétent à discriminer de manière exacte des petites quantités (Wynn, 1992). Pour l'Education Nationale, les enfants entrant en maternelle discriminent les quantités un, deux et trois représentées de manière conventionnelle (dé, domino) et les reconnaissent de façon aléatoire ou organisée dès la moyenne section maternelle (MSM) (MEN, 2015). Mandler et Shebo (1982) sont pionniers dans le domaine du subitizing qui permet de percevoir quasi-instantanément (entre 600-800 ms pour les numérosités 1, 2 et 3), et sans compter, une petite quantité de façon intuitive. Les enfants sont en mesure de subitizer de 1 à 3 items (Starkey & Cooper, 1995) et les adultes de 1 à 4 (Trick et Phyllyshyn, 1994, cités par Barrouillet et Camos, 2006) voire 5 (Starkey & Cooper, 1995). Cette capacité, innée, est indépendante de leur configuration spatiale, elle se nomme subitizing perceptif ou subitization (Clements, 1999). Ce processus existe dès la naissance. Les enfants auront ensuite un accroissement de sa rapidité jusqu'à 8,5 ans (Reeve, Reynolds, Humberstone, & Butterworth, 2012 ; Scheiffer & Landerl, 2011), l'accroissement continuant jusqu'à 11 ans où il atteint l'efficacité de celui d'un adulte (Schleiffer & Landerl). Le subitizing perceptif inné est à distinguer du subitizing conceptuel ou structurel. Ce dernier consiste en la reconnaissance de patterns de points selon des configurations spatiales canoniques, qui sont des configurations particulières associées à une quantité, puis mémorisées par expositions répétées (Clements, 1999). Leur reconnaissance n'impose pas le dénombrement (Mazeau et Pouhet, 2014) tout comme le subitizing perceptif, en revanche la durée du subitizing croît en fonction de la numérosité (Mandler & Shebo, 1982).

Grâce à cette capacité de subitizing, les bébés de 5 mois ont une intuition du résultat d'opérations d'ajout ou de retrait de un pour les numérosités inférieures à quatre (Wynn, 1992). Cette expérience réalisée avec des Mickey a été répliquée positivement avec de nombreuses variantes (Mazeau et Pouhet, 2014). Les numérosités à partir de quatre, quant à elles, nécessitent d'être quantifiées par un mécanisme de comptage, rapide mais plus long (environ 250 à 350 ms pour chaque item supplémentaire), provoquant une rupture dans la courbe représentative de la numérosité en fonction du temps de réaction. Or, les enfants qui ne présenteraient pas cette discontinuité ont des résultats également très faibles en

mathématiques (Landerl & al., 2004 ; Schleiffer & Landerl, 2011). Starkey et Cooper (1995), quant à eux, ont évalué les capacités de subitizing d'enfants entre 3,5 ans et 5 ans et ont montré la très forte réussite à une épreuve de présentation de numérosités que l'enfant devait nommer verbalement (lié au code symbolique). A 4 ans, les enfants identifient les numérosités 1 (100% des enfants en 200 ms et 1 s), 2 (100% en 200 ms et 1 s) et 3 (96% en 200 ms et 100% des enfants en 1 s) ; à 5 ans, les enfants identifient les numérosités 1 (100% en 200 ms et 1 s), 2 (100% en 200 ms et 1 s), 3 (100% en 200 ms et 1 s) et 4 (78% des enfants en 200 ms et en 1 s) (Starkey & Cooper, 1995, p.413). Cette capacité de subitizing serait corrélée avec la fluence en calcul et la future réussite mathématique (Reigosa-Crespo et al, 2013). C'est pourquoi Guedin (2017) soutient la nécessité de développer chez l'enfant son habileté à subitizer via l'usage de « cartons-flash ou cartons-éclair », et de l'importance de présenter, dès la maternelle, la numérosité 6 sous la forme de 5+1, présentation qui apportera des bénéfices lors de l'apprentissage du calcul réfléchi (Guedin, 2017).

Selon Carey et son modèle du bootstrapping (2004), le SNP a un rôle majeur dans le développement du concept du nombre car l'apprentissage des mots-nombres permettrait le développement des concepts numériques en les mettant en relation avec les petites numérosités subitizées. Or, chez certains enfants dyscalculiques, ce mécanisme serait altéré (Lafay & al., 2016 ; Schleifer & Landorf, 2011). Il n'existe pas aujourd'hui pour les orthophonistes ou les enseignants d'épreuves chronométrées étalonnées permettant de tester le subitizing chez les enfants. Par contre, les auteurs du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al, 2001) ont choisi de considérer l'épreuve de six comparaisons de patterns de points dispersés, surtout les deux premiers, comme évaluant le subitizing, bien qu'il s'agisse d'une épreuve de comparaisons. Lors de cette épreuve, faire une erreur ou plus place l'enfant directement dans la zone de fragilité mathématique, ce qui vient corroborer pour ces auteurs le fait que cette compétence pourrait être altérée. Desoete et Grégoire (2006) ont également fait le choix d'évaluer le subitizing chez les enfants de 5-6 ans via ce sub-test du Tedi-Math et montrent que le subitizing via cette épreuve est corrélé aux habiletés arithmétiques à 6-7ans et est impacté chez 33% des enfants dyscalculiques (Desoete & Grégoire). Enfin, une étude longitudinale de 159 enfants, réalisée sur l'étude des temps de réaction à l'évaluation de points et de comparaison de nombres, montre que ces enfants sont plus lents ; les 18% d'enfants les plus lents à ces deux épreuves étant ceux qui ont les résultats en calcul les plus faibles à 6, 9,5 et 10 ans (Reeve & al., 2012).

En conclusion, les données basées sur le Tedi-Math ou les études y ayant eu recours ne sont pas retenues car elles n'évaluent pas directement le subitizing. En revanche, en se basant

sur les données de Starkey et Cooper (1995) et les âges indicatifs d'acquisition en annexe 2 (Clements & al., 2004) des compétences numérotées de 1 à 6 dans le domaine du nombre, il ressort qu'il faut être vigilant aux enfants qui ne perçoivent pas les très petites quantités (1, 2 ou 3) perçues en un temps bref (<200ms), qui semblent les compter systématiquement à 4 ans et plus (ou qui sont anormalement plus long que leurs homologues à les quantifier) ou encore qui ne mémorisent pas les configurations canoniques.

### **Le système numérique approximatif et son système de quantification : l'estimation**

Le SNA traite les grandes numérosités rapidement et intuitivement mais au détriment de la précision. Ce processus d'estimation précoce permet aux enfants de se représenter la magnitude d'une collection, c'est-à-dire d'avoir l'intuition des grandeurs (Brannon, 2006). Ce mécanisme leur permet, par exemple, d'employer des termes comme « il y en a beaucoup, pas beaucoup, ... » pour estimer une grande collection (Mazeau & Pouhet, 2014).

La majorité des chercheurs s'accordent à dire que la représentation analogique théorique prend la forme d'une ligne virtuelle horizontale, continue et orientée spatialement de la gauche vers la droite (Dehaene, 2007) sur laquelle les numérosités, rangées en fonction de leurs magnitudes, sont précises en début de ligne et de plus en plus compressées lorsqu'elles augmentent. La dimension spatiale de la ligne numérique mentale (LNM) est démontrée lors de l'étude de patients présentant une hémisplégnie spatiale, car cette dernière se répercute également sur la LNM (Zorzi, Priftis, & Umiltà, 2002). Pour modéliser cette représentation interne de la quantité, une épreuve de placement de numérosités (nuage de points ou nombres) sur une ligne non graduée dont les extrémités sont bornées est utilisée. Les placements de collections de points évaluent directement la représentation de la numérosité dans le SNA, alors que ceux de nombres (oral ou arabe) évaluent la représentation de la numérosité et l'accès au SNA via les codes symboliques. Ainsi, Siegler et Opfer (2003) ont procédé à un placement de nombres arabes sur une ligne numérique bornée (0-100 ou 0-1000). A 8 ans, les représentations suivent une fonction linéaire de 0 à 100 et logarithmique<sup>5</sup> au-delà ; à 10 ans la représentation linéaire et la logarithmique co-existent (moitié/moitié) ; et à 12 ans et chez les adultes, les représentations numériques sont linéaires (Siegler et Opfer, 2003). Ce même phénomène est retrouvé de la GSM au CE1 entre 0 et 100 (Siegler & Booth, 2004). Bertelli, Lucangeli, Piazza, Dehaene et Zorzi, (2010) évaluent entre 5 et 7 ans l'âge

---

<sup>5</sup> Courbe logarithmique : l'estimation de la magnitude (en ordonnée) est d'autant plus sous-estimée que la magnitude réelle (en abscisse) est grande.

« charnière » du début du changement de profil logarithmique vers un profil linéaire de la LNM (placement de nombres arabes sur des lignes numériques bornées 0-100, 1-10 et 1-20). L'apport d'une représentation linéaire se manifeste par une plus grande précision au niveau de l'acuité numérique. De même, l'étude longitudinale de Praet et Desoete (2014) compare les représentations numériques selon les trois codes sur une ligne numérique de 0 à 100 en maternelle, premier et deuxième grades de 132 enfants. L'évolution des représentations est présentée figure 2. Cette évolution est liée aux apprentissages symboliques (Praet & Desoete, 2014), car les représentations numériques des adultes de tribus amazoniennes non soumis aux apprentissages formels numériques sont logarithmiques quelles que soient les numérosités (Dehaene, 2007 ; Dehaene, Izard, Spelke, & Pica, 2008). De plus, cette ligne numérique

semble être prédictrice des apprentissages futurs en mathématiques : estimer correctement la position de 0 à 10 avant l'entrée au cours préparatoire (CP) est corrélé avec les habiletés de comptage, de reconnaissance des chiffres et de comparaison de magnitudes (Ramani & Siegler, 2008). En outre, les enfants dont les représentations sont de type linéaire sont performants en arithmétique (Booth et Siegler, 2008) alors que ceux en difficulté d'apprentissage

	Lin representation (%)	Log representation (%)	No representation (%)
<i>Kindergarten</i>			
Arabic	6.8	49.2	42.4
Number words	11.4	45.5	41.7
Dots	9.8	50	38.6
<i>Start of grade 1</i>			
Arabic	20.2	74.4	5.4
Number words	29	65	6
Dots	27.9	44.2	27.9
<i>End of grade 1</i>			
Arabic	32.2	63.8	3.9
Number words	32.3	61.4	6.3
Dots	35.4	55.2	9.4
<i>Start of grade 2</i>			
Arabic	55.9	42.4	1.7
Number words	37.3	61	1.7
Dots	39	54.2	6.8
<i>Middle grade 2</i>			
Arabic	62.3	32.8	5
Number words	60.7	36.0	3.3
Dots	59.0	32.8	8.2

**Figure 2: Pourcentage of children having a linear and logarithmic representation. (Praet & Desoete, 2014, p.24)**

mathématique sont moins précis que leurs homologues tout-venant à l'épreuve de la représentation de la LNM (Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2008). Cette épreuve semble également distinguer les enfants ayant une dyscalculie de leurs homologues tout-venant. En effet, les enfants dyscalculiques de 8-9 ans ont des représentations linéaires comme l'enfant tout-venant en modalité analogique (suggérant l'intégrité du SNA) alors que leurs modalités orales et arabes sont significativement moins linéaires, c'est-à-dire que l'accès au code analogique via les codes symboliques est déficitaire (Lafay & al., 2016). Cette auteur a également proposé une autre évaluation du SNA, l'épreuve de production analogique<sup>6</sup> : les

<sup>6</sup> Sur une feuille avec 100 points l'enfant doit entourer rapidement le nombre de points qu'il juge équivalent à une collection de points présentée sur un écran (entre 0 et 100), sans recours au dénombrement (Lafay, 2016)

productions des enfants dyscalculiques sont inférieures à celles des enfants tout-venant sur les petites et moyennes numérosités (1-4 et 5-9) alors qu'elles sont équivalentes pour les grandes numérosités (10-99) (Lafay & al.). Mais lors de la réalisation de cette épreuve à partir d'un nombre symbolique arabe ou oral, les productions des enfants dyscalculiques sont déficitaires pour toutes les grandeurs (Lafay & al.).

La représentation analogique approximative et son accès via les codes symboliques sont donc essentiels pour acquérir le concept du nombre. Il est possible d'intervenir sur ces représentations de la quantité par les jeux de plateaux linéaires qui augmentent fortement les représentations numériques de l'enfant de maternelle (Ramani & Siegler, 2008 ; Siegler & Ramani, 2008). Ce que rejoint une autre étude confirmant l'efficacité des jeux de plateaux ou ceux manipulant de l'argent (factice) pour les enfants de 6 ans de faible niveau socio-culturel (Griffin, Case, & Siegler, 2004, cités par Thévenot & Masson, 2013). Il est également plus profitable pour des enfants de sept ans d'être guidé par un logiciel pour la position de nombre sur une ligne numérique que de les laisser le faire eux-mêmes (Booth & Siegler, 2008). Les études montrent également leurs avantages chez l'enfant dyscalculique ou en difficulté dans ses apprentissages. Par exemple, Kucian et ses collaborateurs (2011) montrent l'efficacité d'un protocole d'entraînement<sup>7</sup> au positionnement de nombres, de résultats d'opérations ou de collections de points sur une ligne de 0 à 100 chez des enfants de 8 à 10 ans présentant une dyscalculie développementale. Les bénéfices de cet entraînement ont porté sur cette activité et sur la résolution de problèmes arithmétiques. De même l'outil l' « Estimateur » (Villette, Mawart, & Rusinek, 2010), testé auprès d'enfants de CM2, montre une amélioration du calcul exact et approximatif, des additions et soustractions et en résolution de problèmes. Un troisième protocole d'entraînement de comparaisons « la course aux nombres »<sup>8</sup> (Wilson & Dehaene, 2004) a associé les représentations du nombre (chiffres arabes, énoncés oralement, écrits en lettres ou sous forme de points) : les enfants de 7 à 9 ans présentant un trouble d'apprentissage en mathématiques ont amélioré leurs compétences dans les tâches de perception, de comparaison de petits nombres et en arithmétique simple. Cette expérience, reproduite avec des enfants plus jeunes, a confirmé ces résultats (Wilson, Dehaene, Dubois, & Fayol, 2009). En fait, toutes ces activités en mettant en lien les différentes représentations permettent en définitive d'y donner du sens.

---

<sup>7</sup> 5 minutes par jour, 5 jours par semaine, pendant 5 semaines

<sup>8</sup> L'enfant devait choisir le plus grand des nombres affichés puis s'il donnait le bon, avancer d'un nombre de case équivalent sur un plateau type jeu de l'oie.

A l'heure actuelle, aucun bilan étalonné ne permet de tester directement l'estimation et la représentation de la LNM. En revanche, les épreuves de comparaisons de numérosités, qui découlent de cette capacité d'estimation et donc impliquent la LNM, sont plus faciles à mettre en œuvre et permettent un regard sur le système analogique.

La LNM se caractérise par différents effets lors de la comparaison de deux quantités. Ils découlent du principe que la discrimination de deux quantités dépend du ratio entre elles et non de la différence absolue<sup>9</sup> : les petits nombres (2/4) se différencient plus facilement que les grands (62/64) pour un même différentiel (i.e. effet de taille), deux nombres éloignés (2/9) sont plus faciles à identifier que deux nombres proches (2/4) (i.e. effet de distance) et la comparaison est plus facile quand le petit nombre est à gauche (e.g. 2/4 est plus facile à comparer que 4/2) (i.e. effet SNARC<sup>10</sup>) (Dehaene, 1992). Le ratio entre les deux quantités perçues augmente (tend à se rapprocher de 1) avec l'âge et le développement de l'enfant, manifestant une amélioration de la précision. Ainsi, Xu et Spelke (2000) montrent que les bébés de 6 mois discriminent 8 vs. 16 éléments mais pas 8 vs. 12, donc le rapport moyen perçu est de 1:2 (0,5). Il est de 2:3 à 9 mois (0,66 env.), de 3:4 (0,75) à l'âge de 3 - 4 ans, de 4:5 (0,80) à 4 - 5 ans et chez les adultes il est d'environ 10:11 (0,91 env.) (Halberda & Feigenson, 2008 ; Mazeau & Pouhet, 2014, p.354). Il s'améliore jusqu'à 30 ans environ mais avec de grandes disparités individuelles (Halberda, Wilmer, Naïman, & Germine, 2012).

Premièrement, pour évaluer le sens du nombre, une épreuve qui peut être faite est la comparaison des quantités analogiques (Lafay & al., 2016) qui serait impactée lors d'un développement numérique déviant. D'une part, les enfants dyscalculiques sont aussi rapides que les enfants tout-venant pour comparer deux collections de points mais le ratio des enfants dyscalculiques de 8 ans correspond à celui d'enfants de 5 ans au développement typique (Piazza & al., 2010). D'autre part, le degré de l'atteinte de l'acuité numérique prédit les échecs aux tâches de comparaison des nombres symboliques, mais ne prédit pas les performances en calcul (Piazza & al.). Cependant, Lafay et ses collaborateurs (2016) démontrent que cette tâche de comparaison analogique est réussie de manière identique chez les enfants tout-venant et les enfants dyscalculiques. L'intégrité du SNA ne serait donc pas en cause. Mais lorsque les codes symboliques sont inclus dans l'expérience<sup>11</sup>, les scores sont alors déficitaires pour les enfants dyscalculiques (Lafay & al., 2016). Pour autant, l'épreuve

---

<sup>9</sup> Selon la loi de Weber-Fechner.

<sup>10</sup> SNARC signifie Association Spacio Numérique des codes de réponses

<sup>11</sup> Comparaison de deux nombres symboliques ou comparaison d'un nombre symbolique et d'une collection de points.

de magnitude en utilisant une tâche de comparaison de quantités est l'épreuve qui permet la plus grande sensibilité pour 464 enfants belges suivis entre la GSM et le CE1 : c'est-à-dire qu'elle permet la plus grande détection de vrais positifs et le moins de faux négatifs (sujets positifs n'ayant pas de troubles) (Stock & al., 2010).

Deuxièmement, la comparaison de quantités analogiques consiste pour l'enfant à montrer laquelle de deux collections de points est la plus grande. L'enfant est en mesure de le faire dès 3 ans : entre 3 et 5 ans 81% réussissent les comparaisons de ratio 1:2 et 52% celles de ratio 2:3 sur des collections jusqu'à 15 points maximum (Huntley-Fenner & Cannon, 2000). Le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al, 2001) va également dans ce sens. En effet, à l'épreuve de comparaisons de patterns de points dispersés, les six items présentent un ratio maximal de 2:3. Les résultats montrent que 79% des enfants de MSM, 80% de GSM (période 1) et 89% de GSM (période 2) réussissent tous les items, une seule erreur positionnant l'enfant dans une zone de fragilité, deux erreurs dans la zone pathologique. Mais le Tedi-Math propose également une épreuve de quatre comparaisons de nombres arabes (inférieurs à 10) en GSM, durant la période 2 : seulement 73% réussissent les quatre items ce qui suggère que le lien code arabe-code analogique n'est pas encore aussi efficient que précédemment en fin de GSM. Néanmoins, Reeve et ses collaborateurs (2012) considèrent que même si la comparaison de nombres symboliques pour les enfants de 5,5 ans à 6,5 ans peut refléter des difficultés d'accès au code analogique, les enfants sont suffisamment familiarisés avec les nombres arabes à un seul chiffre pour minimiser cet effet.

Troisièmement, plusieurs études s'accordent sur des liens de corrélation entre l'épreuve de comparaison de magnitudes et la réussite mathématique au même âge (Libertus, Feigenson, & Halberda, 2011) et plus tard (Mazzocco, Feigenson, & Halberda 2011). Mais les chercheurs voulant mettre en évidence un lien de causalité entre S.N.A et représentations symboliques n'ont pas réussi à le mettre clairement en évidence. Certains auteurs font ainsi l'hypothèse que le S.N.A. vient influencer sur les apprentissages des mathématiques symboliques. Par exemple, Park et Brannon (2013) postulent que le SNA et les performances mathématiques entretiennent un lien de causalité chez les adultes et que des interventions ciblant le SNA peuvent bénéficier positivement à des enfants ou adultes en difficulté avec les mathématiques. D'autres en revanche postulent que l'apprentissage des nombres symboliques vient affiner les représentations du SNA. D'une part, le déficit premier de la dyscalculie développementale se situerait au niveau de la construction numérique exacte (i.e. apprentissages des codes symboliques) et que l'acuité réduite du SNA apparaîtrait alors secondairement selon Noël et Rousselle (2011). Ce qui rejoint le point de vue de Piazza, Pica,

Izard, Spelke et Dehaene (2013) qui ont démontré que l'apprentissage de la numératie joue un rôle important dans l'affinement du SNA. D'autre part, chez les enfants de 3 et 4 ans, la compréhension des nombres symboliques (mots-nombres et chiffres arabes) et de la cardinalité à cet âge-là prédit significativement la précision dans la comparaison des numérosités ultérieurement, c'est-à-dire l'acuité du SNA, alors que l'inverse n'a pas pu être démontré (Mussolin, Nys, Content, & Leyaert, 2014). En conclusion, dans le premier point de vue, le SNA impacterait les apprentissages symboliques, ce qui impliquerait que les épreuves soient chutées en comparaisons analogiques et symboliques. Alors que dans le second point de vue, qui semble être celui privilégié aujourd'hui (Leibovich & Ansari, 2016, cités par Guedin 2017), le SNA serait efficient, mais serait impacté par un système symbolique ou un accès au système analogique via les codes symboliques, ce qui se manifesterait alors par un retard dans le développement du SNA comme l'ont montré Piazza et al.(2010). Dans ce cas-là, les deux épreuves de comparaisons symboliques et non symboliques seraient impactées également. Il en ressort donc que les accès symboliques - non symboliques sont tout aussi importants à travailler que les représentations en elles-mêmes (Mazeau 2017, citée par Guedin, 2017).

En se basant sur l'étude de Huntley-Fenner et Cannon (2000), les âges indicatifs de Clements et collaborateurs (2004) en annexe 2 (compétences 33 à 35) et les analyses du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al., 2001), les comparaisons de quantités analogiques de l'enfant de 4 ans et plus devraient majoritairement être réussies pour des collections inférieures à 12 points dans un ratio 1:2. Concernant l'accès au SNA via le code symbolique arabe, les enfants devraient majoritairement réussir à comparer des nombres arabes à un chiffre en fin de GSM. De plus, il existe un test étalonné sur Internet permettant de juger les capacités de comparaisons de deux collections analogiques et comparaisons de deux nombres arabes à un chiffre pour enfants de 5 à 9 ans : Numeracy Screener (Northworthy & Ansari, 2013).

En définitive, le système analogique permet de se représenter les numérosités de manière non symbolique, soit en quantifiant exactement et immédiatement de très petites quantités via le subitizing, soit en estimant et en comparant de grandes collections. Le SNA est symbolisé par une ligne numérique mentale théorique dont la représentation suit une fonction logarithmique qui se linéarise progressivement au niveau des petits nombres sous l'effet des apprentissages numériques formels des codes symboliques et des expériences de l'enfant. Cette construction relève de l'école maternelle (Deshaies, Miron, & Masson, 2015).

## **Premiers savoirs : Apprendre et comprendre les codes symboliques français**

Notre numération, construite sur un système décimal, repose sur des symboles arbitraires adoptés par notre culture. L'enfant doit les découvrir, les apprendre, retenir leur ordre sériel et leur quantité analogique correspondante, ce qui sollicite fortement ses fonctions mnésiques. La conscience phonologique y joue aussi un rôle car elle prédit les performances en comptage verbal, en subitizing et en dénombrement à 56 mois (4 ans 8 mois) ; mais n'a plus d'effet 14 mois plus tard (à 5 ans 10 mois) où le dénombrement est alors prédit par le subitizing, les comparaisons non symboliques et la mémoire visuo-spatiale tandis que la progression en calcul est prédite par le subitizing (Soto-Calvo, Simmons, Willis, & Adams, 2015, cités par Fayol, 2017).

Le système symbolique auditivo-verbal, dont dépend la représentation symbolique verbale, versant linguistique du nombre, prend sa source dans les aires du langage (i.e. gyrus angulaire) (Molko, Wilson, & Dehaene, 2005). Le nombre s'y présente sous une forme phonologique ou graphémique. Les enfants, dès deux ans, distinguent ce vocabulaire particulier (i.e. mots-nombres) du reste du vocabulaire (Fuson 1988, citée par Guedin, 2017). Ils comprennent que chaque terme renvoie à une quantité différente (Sarnecka & Gelman, 2004) et qu'inversement, une même collection ne peut correspondre à deux mots-nombres différents (Wynn 1992). L'épreuve de 12 décisions numériques orales du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al., 2001) montre que les enfants n'étant pas dans la zone de fragilité réussissent plus de 75% des items en MSM (période 2), plus de 83% des items en GSM (période 1) et de 91% à 100% des items en GSM (période 2). Cela suggère que la décision numérique orale s'améliore durant les années de maternelle. Une vigilance est donc nécessaire si les mots-nombres ne sont pas très majoritairement distingués des autres mots en GSM.

L'acquisition de la comptine numérique consiste en une énumération de la suite orale des mots-nombres selon leur ordre sériel croissant. Commencée vers 2 ans, elle se poursuit jusqu'au CP pour sa maîtrise (6-7 ans) puis l'enfant gagne en rapidité et en flexibilité (jusqu'à ses 9 ans). Elle « doit être travaillée pour elle-même et constituer un réservoir de mots ordonnés » car elle « ne constitue pas l'apprentissage du nombre mais y contribue » fortement (MEN, 2015, p.17). Ces mots-nombres sont mis ensuite en relation avec leur quantité exacte : c'est un apprentissage lent, saccadé, avec de grandes différences interindividuelles (Fuson, Richard, & Briard, 1982) qui font que les âges ne sont qu'indicatifs. Les comptines numériques proposées par les enseignants favorisent « la mémorisation de la suite numérique et sa segmentation [...] en unités linguistiques » (MEN, 2015, p.17). Cela permet de « repérer

les nombres qui sont avant et après, le suivant et le précédent d'un nombre, de prendre conscience du lien entre l'augmentation ou la diminution d'un élément d'une collection. » (MEN, 2015, p.17). La comptine numérique permet donc l'apprentissage de savoir-faire arithmétiques tels que le comptage, le dénombrement, etc. Le niveau d'efficacité de sa numération orale prédit le nombre de problèmes résolus lors d'épreuves de résolution de problèmes ainsi que la stratégie utilisée (qui dépend du niveau de compétence de l'enfant) chez 126 enfants entre 4 et 8 ans (Johansson, 2005).

Selon l'âge moyen d'acquisition des compétences de Clements et collaborateurs (2004), l'enfant de 2-2,5 ans utilise d'abord une séquence non conventionnelle telle que « deuxcinq » ou démarre la séquence à un comme « un deux » et entre deux et quatre ans saura réciter la séquence jusqu'à dix (Compétences 7, 8, 9 de l'annexe 2). Entre 2 et 4 ans, « les premiers éléments de la suite numérique peuvent être mis en place jusqu'à *cinq* ou *six* » (MEN, 2015, p.17). Globalement, le mot *deux* est connu et compris vers 2 ans en lien avec les paires d'objets du quotidien de l'enfant, alors que *trois* ne le sera que vers 3 ans, compris comme « plus que deux » (Mazeau et Pouhet, 2014). Entre 4 et 6 ans, l'apprentissage de l'énumération sera progressivement étendu, se faisant généralement par paliers, notamment à *quatre*, *sept*, *dix*, etc (Mazeau & Pouhet). Jusqu'à *seize* l'enfant apprend les mots-nombres par cœur, au-delà, il les combine selon des règles syntaxiques implicites lorsque cela est nécessaire. A la fin de la maternelle, l'enfant devra être capable de : « dire la suite des nombres jusqu'à trente » (MEN, p.17).

L'apprentissage de la comptine suit invariablement un même enchaînement de trois sections différentes sur un axe longitudinal : une partie stable conventionnelle, une partie stable non conventionnelle et une partie ni stable ni conventionnelle (Fuson, Richards, & Briars, 1982). La partie stable conventionnelle, après une mise en place assez lente des premiers termes, augmente en deux étapes : allongement puis consolidation. Cette augmentation apparaît autour de 4,5 ans avec de fortes disparités (Fayol, 1990) : les enfants de 4 ans, de milieux défavorisés, connaissent la suite numérique jusqu'à 15.52 quand ceux des classes moyennes vont jusqu'à 19.89. Néanmoins, une année de scolarisation tend à lisser cette différence : 36.03 contre 37.86 à cinq ans (Fayol, 1990 qui cite Ginsburg et Russel 1981). En dehors de l'influence de l'environnement, la longueur de la comptine reste soumise à une très grande différence interindividuelle : de 4 ans 6 mois à 4 ans 11 mois, les enfants comptent en moyenne jusqu'à 28.58 (écart-type *E.T* 28.19), entre 5 ans et 5 ans 5 mois, ils comptent jusqu'à 40.19 (*E.T* 25,76) et entre 5 ans 6 mois et 5 ans 11 mois, ils comptent

jusqu'à 38.17 (*E.T.* 22.44) (Fuson & al., 1982). La partie stable non conventionnelle est stable à 80% du fait de l'omission d'un terme ou d'un ordre erroné. Ce phénomène est courant et normal lors de l'acquisition des mots-nombres inférieurs à « trente », principalement « quinze », « seize » ou « dix-sept » dans 88% des séquences (Fayol, 1990).

Concomitamment, la comptine numérique évolue également à des niveaux d'acquisition différents, dans un ordre immuable. Fuson et son équipe ont étudié l'évolution de la connaissance de la chaîne verbale (1982). Ils distinguent le chapelet (3ans) où les mots-nombres débutent à « un » et sont juxtaposés en un seul bloc dénué de sens numérique (Wynn 1990). La correspondance terme à terme est impossible à ce niveau. Puis la chaîne insécable (4-5 ans) où les termes s'individualisent, mais la chaîne ne peut être scindée. L'enfant démarre toujours à « un » sauf si une amorce lui est proposée. Une amorce de trois nombres permet à 48% des enfants de 3 ans et à 82% des enfants de 4 ans de continuer la chaîne verbale ; une amorce de deux nombres permet de poursuivre chez 55% des enfants de 3 ans et 82% de ceux de 4 ans ; et l'amorce d'un nombre permet de poursuivre pour 27% des enfants de 3 ans et 68% des enfants de 4 ans (Fayol, 1990). De plus, l'enfant peut compter jusqu'à une borne supérieure en mettant en place une stratégie de contrôle de son comptage (Van Nieuwenhoven & al., 2001). Au niveau du dénombrement, l'enfant commence à comprendre leur utilisation lors du comptage. Le « principe cardinal » (Gelman & Gallistel, 1978) émerge : l'enfant comprend que le dernier terme énoncé répond à « il y en a combien ? ». Les petits problèmes additifs voire soustractifs deviennent accessibles via la procédure Count-All (Fayol, 1990). La chaîne sécable permet de choisir arbitrairement le début et la fin de la comptine, de compter entre deux bornes et à rebours. Ce niveau de chaîne efficace vers 6 ans peut apparaître plus tôt pour les petites quantités. Ainsi, « cette habileté à *compter de X à Y* en dessous de 10 semble être acquise entre 3,5 ans et 5 ans » (Van Nieuwenhoven, & al., 2001). La chaîne dénombrable permet de compter  $n$  éléments à partir de  $x$  ou de trouver le nombre d'éléments  $n$  qui sépare  $x$  de  $y$  (Van Nieuwenhoven, & al.). Le principe de cardinalité est compris. La séquence numérique peut être traitée dans les deux directions et le terme précédant un autre peut être nommé. Enfin la chaîne terminale, bidirectionnelle, acquise plus tard (vers 9 ans) est le niveau de maîtrise et de flexibilité le plus élevé (Van Nieuwenhoven, & al.).

Ainsi pour que la suite orale des mots-nombres soit efficace, elle doit être stable, ordonnée, segmentée et suffisamment longue (MEN, 2015, p.17). Une maîtrise fragile pouvant former une « cascade » de difficultés : une « moindre consolidation des liens entre

nombres et numéraux verbaux ; un ralentissement de l'acquisition du calcul, des erreurs dans le comptage et le calcul par incrémentation » induisant « des erreurs d'associations » lors de la mise en MLT des faits arithmétiques (Content, 2017, p.135). L'énumération est testée via le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven, & al., 2001) par une épreuve de comptage. Les résultats n'y sont pas détaillés, mais des déductions sont possibles étant donné l'ordre immuable des étapes de son acquisition. Ainsi, si l'épreuve *compter avec une borne supérieure* est possible dès la chaîne insécable, les épreuves *compter avec une borne inférieure* et *compter entre deux bornes* ne sont possibles qu'au stade de la chaîne sécable. Donc l'enfant qui obtient au moins deux points sur les huit, peut réciter la suite numérique jusqu'à 31 ou compter au moins jusqu'à six, ce qui représente 82% des enfants de MSM (période 2). A partir de trois points (61% des enfants de MSM période 2), l'enfant est au minimum en chaîne insécable et à partir de cinq points (74% des enfants de GSM période 1, 100% des enfants de GSM période 2), au minimum au niveau chaîne sécable. En définitive, comme l'énonce Landais (2016), le critère d'attention pour les enfants de MSM (et au-delà) qui ne connaissent pas le début de la comptine numérique est retenu. De même, une vigilance doit être portée aux enfants de GSM qui n'ont pas atteint le stade de la chaîne sécable pour les nombres inférieurs à dix.

Les représentations symboliques arabes, quant à elles, se composent de dix symboles (i.e. les chiffres) qui permettent d'écrire tous les nombres. Ce système symbolique visuel-arabe (indo-arabe) se localise au niveau des voies visuelles ventrales bilatérales (Habib, 2011). Les chiffres se combinent selon une notation positionnelle, qui sera abordée au CP (MEN, 2015). En maternelle, les enfants découvrent cette notation écrite lors d'évènements dans la classe, au travers des jeux, du calendrier, et « à partir des besoins de communication dans la résolution de situations concrètes » (MEN, p.17). C'est pourquoi, l'enfant commencera à en aborder la lecture et l'écriture principalement à partir de 4 ans. L'apprentissage du tracé nécessitera un apprentissage tout aussi rigoureux que celui des lettres (MEN, 2015). L'enfant passera d'abord par une phase d'écriture en miroir comme pour les lettres (Fisher, 2011).

L'épreuve relevant uniquement de ce code en maternelle est la décision numérique écrite. Autrement dit, les enfants savent-ils reconnaître les symboles spécifiques au code arabe ? Le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al., 2001) en comporte une (huit items présentant des chiffres, des lettres et des symboles autres) : 85% des enfants de MSM (période 2) et 82% des enfants de GSM (période 1) réussissent sept ou huit items. Donc, malgré un apprentissage récent de ce code, une grande majorité des enfants réussissent bien cette épreuve. En GSM (période 2) 84% réussissent les huit items, les 16% restant ont fait une ou

deux erreurs. Par conséquent, les enfants de fin de MSM devraient majoritairement discriminer les nombres des autres symboles (lettres ou autres...) et en fin de GSM, l'enfant avec un développement numérique sain ne devrait théoriquement plus faire d'erreur. Lors de l'épreuve de reconnaissance de nombres arabes (i.e. lire à haute voix ou pointer un nombre dit oralement), le code arabe et le transcodage oral-arabe sont évalués. L'objectif en fin de maternelle est de lire les nombres écrits jusqu'à dix (MEN., 2015), compétence qui s'acquiert selon Clements et collaborateurs (2004) en moyenne entre 4 et 5 ans. En revanche, l'action d'associer un nombre arabe à une quantité correspondante est une tâche nécessitant le transcodage arabe-analogique, ce que Clements et collaborateurs (2004) positionnent vers quatre ans et demi à cinq ans et demi. Enfin, la comparaison de nombres écrits, qui nécessite de comparer les deux nombres arabes grâce à ses représentations mentales (i.e. LNM) pour décider lequel de deux nombres est le plus grand a déjà été détaillée au chapitre du SNA. De la même manière, le lecteur est renvoyé à la partie sur la ligne numérique mentale en ce qui concerne le positionnement de nombres arabes sur une ligne numérique non graduée, épreuve prédictive de réussite scolaire en mathématiques (Lyons & Beilock, 2011).

Il est possible d'améliorer les relations entre la LNM et les représentations symboliques car des entraînements de placements sur une ligne numérique d'une quantité analogique influencent positivement les apprentissages (Vilette et al., 2010). Mais un entraînement spécifique sensori-moteur où l'enfant se déplace lui-même sur une ligne au sol jusqu'à une position définie par un nombre arabe (15-20 min, 3 fois par semaine) améliore davantage ses capacités d'estimation qu'un groupe entraîné par un logiciel de positionnement de nombres arabes chez des enfants de 7 ans (Link, Moeller, Huber, Fisher, & Nuerk, 2013). Ces entraînements améliorent les représentations mentales, la résolution de problèmes arithmétiques chez l'enfant tout-venant comme celui présentant une dyscalculie (Vilette 2016, cité par Guedin, 2017), et augmentent l'activité cérébrale de l'enfant dyscalculique (Kucian & al., 2011). Des études suggèrent que cette compétence serait le chaînon entre système analogique et compétences arithmétiques (Lyons & Beilock, 2011).

L'enfant apprend par un apprentissage spécifique les codes symboliques de notre culture et les met en relation avec les numérosités correspondantes. Cette construction est longue mais essentielle car elle est la fondation de tous les enseignements mathématiques formels. A la fin de l'école maternelle, « il doit être capable d'apprendre l'écriture des quantités dans les deux codes mais être également capable de passer d'un code à l'autre » (MEN, 2015, p.17), ce que l'on nomme transcodage. En parallèle, l'élève de maternelle va découvrir les utilisations du nombre : le comptage et le dénombrement.

## Premiers savoir-faire : le comptage et le dénombrement exact

A l'étape précédente, l'enfant découvrait le système symbolique oral de la comptine numérique. Quand sa chaîne numérique passe au niveau insécable, l'enfant commence à faire correspondre, à l'énumération de chaque mot-nombre de la comptine, un élément de la collection par pointage (digital ou visuel) : l'enfant compte les éléments de la collection. Ceci nécessite une coordination oro-manuelle (i.e. coordination comptine-pointage), ce qu'il est en mesure de faire vers 4 ans pour les grandes collections (Guedin & al., 2017, sous-presse). Cela nécessite également l'organisation du comptage (e.g. quels éléments sont déjà comptés) quelle que soit la nature ou la disposition spatiale des collections (MEN, 2015). A ce niveau-ci l'enfant, qui vient de compter *un deux trois quatre*, recommence *un deux trois quatre* en réponse à la question *combien il y en a ?*. Ce comptage-numérotage (Brissiaud, 2012, cité par Legeay & Morel, 2016, p.159) relève de quatre des cinq principes énoncés par Gelman et Gallistel (1978) : le principe d'ordre stable de la comptine numérique, celui de stricte correspondance terme à terme, celui de non pertinence de l'ordre et le principe d'abstraction. Le cinquième principe est celui de la cardinalité (Gelman & Gallistel, 1978). Il signifie que le dernier mot-nombre énoncé correspond au cardinal de la collection et répond à la question *Combien il y a de... ?*. On ne parle plus de comptage mais de dénombrement, ce que Brissiaud nomme « comptage-dénombrement » (2012, cité par Legeay & Morel, 2016, p.159) : il souligne l'importance de l'apprentissage de celui-ci à la place du comptage-numérotage pour bien mettre en évidence que chaque mot-nombre désigne la quantité qui vient d'être formée (MEN, 2015). Pourtant, même si l'enfant comprend rapidement que ce dernier mot-nombre répond à la question *Combien ?*, ce n'est pas pour autant qu'il acquiert la compréhension du concept de la cardinalité, qui pour ce faire, nécessite une pédagogie adaptée en lien avec une utilisation écologique du nombre (Guedin, 2017). Il importe donc que l'enfant comprenne la valeur fonctionnelle du dénombrement qui n'est saisi que par 40% des enfants de début de GSM (Van Nieuwenhoven & al., 2001). L'enfant doit également comprendre le lien entre quantité et nombre symbolique, c'est-à-dire que « toute quantité s'obtient en ajoutant un à la quantité précédente [...] et que sa dénomination s'obtient en avançant de un dans la suite des noms de nombres ou de leur écriture avec des chiffres » (MEN, 2015). Enfin, le dénombrement s'évalue par deux tâches différentes : *donne-moi ...* ou *il y en a combien ?*, qui ne sont pas nécessairement réussies simultanément (Sarnecka & Carey 2008). Ces cinq principes ne sont pas encore entièrement maîtrisés en fin de maternelle (Grégoire et Van Nieuwenhoven 1995), l'ordre stable étant acquis par exemple plus rapidement que celui de la

non-pertinence de l'ordre (Guedin, 2017), d'autant plus si l'enfant est en difficulté d'apprentissage mathématique, car il en a une compréhension fragile (Gelman et Gallistel 1978). Les enfants présentant une dyscalculie développementale ont des difficultés dans le dénombrement (Landerl & al., 2004) et les enfants fragiles ou pathologiques au niveau de leurs performances en arithmétique détectent moins bien les dénombrements erronés (omission de pointage, mots-nombres erronés) que l'enfant tout-venant (Murphy, Mazzocco, Hanich, & Early, 2007, cité par Fayol, 2017). Ces auteurs ont démontré également que la trajectoire des enfants fragiles (scores inférieurs au percentile 25) et les enfants pathologiques (scores inférieurs au percentile 10) ne commence à différer qu'à partir du CE2 (2007, cité par Fayol, 2017).

Le sub-test « dénombrement » du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al., 2001) comprend 13 items, qui vérifient la récitation d'une séquence verbale numérique coordonnée avec un pointage adéquat des éléments lors du dénombrement, l'acquisition des différents principes et l'utilisation fonctionnelle du dénombrement. En MSM, tous les enfants obtiennent au minimum deux points. Il faut donc être vigilant aux enfants de la seconde moitié de la MSM n'étant pas en mesure de compter des petites collections (<10) en coordonnant comptine numérique et pointage. De plus, en GSM, au moins 80% des enfants réussissent 9 ou 10 items. Or il y a au minimum 6 items sur les 13 qui dépendent du principe de la cardinalité. Donc 80% des enfants ont réussi au moins quelques items de ce principe. Ainsi, une attention doit être portée aux enfants de GSM qui, lors du dénombrement, n'ont pas commencé à comprendre le principe de cardinalité tel que le dernier mot-nombre répond à *combien y-a-t-il de ... en tout ?* et qui recomptent systématiquement lors de cette question (comptage-numérotage). En revanche, seuls 16% des enfants de fin de GSM réussissent tous les items, montrant que cette compétence continue à se développer ultérieurement.

Cette partie a mis en évidence les manifestations précoces affectant le concept du nombre lors d'un développement numérique troublé. Pour le système analogique, le subitizing, la reconnaissance de patterns canoniques et la comparaison de quantités analogiques sont affectés. En parallèle, l'enfant n'utilisant pas ses doigts comme outils présymboliques se prive d'une aide à la compréhension du nombre. Au niveau symbolique, les mots-nombres et les chiffres arabes sont mal discriminés du reste du vocabulaire et des autres symboles, la chaîne numérique tarde à s'installer ainsi que le niveau de chaîne sécable. Les comparaisons à un chiffre arabe sont difficiles. Enfin, au niveau savoir-faire, des difficultés se manifestent dans le comptage coordonnant comptine-pointage et dans la compréhension du principe de cardinalité.

## II. Analyse des documents

### Sélection des critères pour l'analyse des documents

Afin de pouvoir analyser les documents, il importe de sélectionner des critères pertinents. Dans cette optique, sept des onze critères de la « grille d'analyse des documents existants », de la partie « Qualité du contenu du document », du guide méthodologique de la HAS (2008) sont choisis. Le critère « présentation objective de l'information » est analysé indirectement à l'intérieur de chacun des points. Parmi les critères écartés, deux ne sont pas pertinents pour ce sujet (« description des bénéfices/risques et des conséquences des traitements et des soins sur la vie quotidienne » et « proposition d'une liste de questions que l'utilisateur peut poser au professionnel de santé »). Le critère « applications des conseils de rédaction et de présentation des documents écrits », quant à lui, mériterait une étude bien plus approfondie et dépasserait le cadre de ce mémoire. En revanche, l'« implication d'experts de différentes disciplines » en tant que critère d'évaluation de la rigueur de l'élaboration du document écrit d'information (HAS, 2008, p.37) est retenu pour sa pertinence. Les critères retenus inspirés de la H.A.S. sont donc les suivants :

- prise en compte des attentes et des questions posées par les usagers ,
- citation des sources des données validées sur lesquelles se fondent les informations,
- présentation des informations quantitatives sur la fréquence de la maladie,
- description précise et concrète d'une conduite à tenir,
- intégration d'une rubrique de sources d'informations complémentaires,
- mention claire des rédacteurs du document,
- mention de la date d'élaboration du document,
- réalisation en équipe pluridisciplinaire.

Pour approfondir le critère « Prise en compte des attentes et des questions posées par les usagers » les réponses du mémoire Landais (2016) sont de nouveau exploitées. L'analyse porte sur deux groupes : enseignants exerçant en maternelle l'année du questionnaire et celui exerçant en élémentaire. Pour une meilleure analyse, sept réponses sont écartées (un enseignant de collège et six enseignants spécialisés), et sept autres enseignants exerçant sur plusieurs niveaux (principalement GS/CP) sont dupliqués puis insérés dans les deux groupes, donnant à nouveau 69 réponses. L'analyse porte sur les réponses des questions : ont-ils déjà suspecté ce trouble chez leurs élèves (TR\_SUSP), le diagnostic a-t-il été posé chez un/des élève(s) de leur classe (DIAG), ont-ils proposé des aménagements (AM\_PROP), souhaitent-ils des informations sur ce trouble (INFOS) et notamment sur la définition des troubles

(DEF\_TR), les signes d'alerte (SIGN\_ALERT), les aménagements possibles (AMENAG) et les troubles associés (TR\_ASSO). Les résultats à ces questions sont-ils significativement différents entre les deux groupes, ou dit autrement, la distribution des résultats de chaque question pour les enseignants en élémentaire diffère-t-elle de la distribution des résultats à la même question pour les enseignants en maternelle ? Pour y répondre, deux variables, définies sur des populations différentes (maternelle/élémentaire) pour chacune des questions, sont analysées. Ces deux variables prennent un nombre fini de modalités (0 pour les réponses non et 1 pour les réponses oui) et ne suivent donc pas une loi normale. Le test statistique de Mann-Whitney compare les distributions (i.e. fréquences d'apparition) de 0 et de 1 dans les échantillons non appariés ne suivant pas une loi gaussienne afin de tester l'hypothèse  $H_0$  « les deux variables X et Y suivent la même loi ». Le test statistique de Mann-Whitney appliqué grâce au logiciel de statistique JASP (JASP Team, 2018) renvoie pour chaque item (*p-value*) : TR\_SUSP ( $p=0.321$ ), DIAG ( $p=0.645$ ), AM\_PROP ( $p=0.853$ ), INFOS ( $p=0.379$ ), DEF\_TR ( $p=0.776$ ), SIGN\_ALERT ( $p=0.110$ ), AMENAG ( $p=0.109$ ) et TR\_ASSO ( $p=0.253$ ). La *p-value* du test de Mann et Whitney permet de conclure que la distribution des réponses ne semble pas différer significativement au risque alpha de 5% entre les deux groupes.

Comme il s'agit d'une comparaison de proportion, les données sont également analysées sous un autre angle. Ne considérant maintenant qu'une seule population (enseignants), deux variables sont définies pour chaque item : le niveau (maternelle / élémentaire) d'une part, et chacune des réponses aux questions d'autre part, définies sur chaque individu. Les tableaux de contingence renvoyés par JASP (disponibles en annexe 3) sont analysés par le test du Khi-deux. L'hypothèse nulle  $H_0$  est ici « les deux variables étudiées sont indépendantes ». Le test du Khi-deux à un degré de liberté donne à chaque item (*p-value*) : TR\_SUSP ( $p=0.313$ ), DIAG ( $p=0.636$ ), AM\_PROP ( $p=0.845$ ), INFOS ( $p=0.362$ ), DEF\_TR ( $p=0.768$ ), SIGN\_ALERT ( $p=0.105$ ), AMENAG ( $p=0.103$ ) et TR\_ASSO ( $p=0.246$ ). Néanmoins, compte tenu des faibles effectifs dans les tableaux de contingence des questions INFOS, AMENAG et SIGN\_ALERT, un test exact de Fisher est appliqué afin de confirmer le résultat. Le site <https://marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests/fisher> permet ce calcul du test exact de Fisher. Il renvoie en *p-value* pour INFOS  $p=0.413$ , AMENAG  $p=0.132$ , SIGN\_ALERT  $p=0.193$ . L'hypothèse nulle  $H_0$  n'est rejetée pour aucune des huit questions ; c'est-à-dire qu'au risque alpha 5%, les réponses aux différentes questions ne semblent pas dépendre de l'appartenance maternelle ou élémentaire. Ces analyses confirment que les résultats du questionnaire peuvent être réutilisés pour déterminer les critères des enseignants.

Ainsi, le premier questionnaire du mémoire Landais (Ibid.) indique que les enseignants (l'enseignant du collège exclu) sont demandeurs d'informations au sujet de la dyscalculie (95,59%), notamment la définition du trouble (54,41%), les signes d'alerte (83,82%), les troubles associés (61,76%) et les aménagements à mettre en place en classe (92,65%). De plus, l'analyse qualitative du second questionnaire (Landais, Ibid.), faisant suite à la présentation de la maquette de la plaquette, apporte des précisions supplémentaires. Les enseignants (47,82%) expriment qu'ils ignoraient la différence entre dyscalculie et trouble du raisonnement. Ils évoquent la nécessité d'expliquer les termes techniques par un vocabulaire simple et concis tout comme la nécessité d'un vocabulaire commun concernant ce trouble, que ce soit entre enseignants, avec leurs collègues spécialisés ou avec les orthophonistes. En outre, 39,1% des enseignants souhaitent des informations complémentaires sur des éléments théoriques plus poussés et les notions à construire chez l'enfant.

*In fine*, pour l'analyse des documents, des critères sont retenus concernant la conception du document en lui-même. Il s'agit des critères concernant la date d'élaboration, la réalisation par une équipe pluridisciplinaire, la mention des rédacteurs, la présence d'informations complémentaires et la citation des sources. Ensuite, les critères spécifiques à la dyscalculie sont sélectionnés : définition, prévalence, distinction entre dyscalculie et trouble du raisonnement, signes à observer/signes d'alerte et si certains sont précisés pour la maternelle, mention des troubles associés et conduite à tenir pour l'enseignant. Enfin, des critères spécifiques aux enseignants sont choisis comme l'explication des termes scientifiques (un lexique), les notions à construire sur le développement numérique, la présence de modèle théorique et les aménagements ou propositions d'activités de remédiation.

### **Recensement des documents**

La recherche par mots-clés sur Internet permet d'extraire 19 supports écrits d'informations différents (car certains se retrouvent sur plusieurs sites). Ils sont nommés ci-dessous, en précisant entre parenthèses l'abréviation utilisée dans ce mémoire pour y faire référence.

1. « Les troubles dys Parents et professionnel : Guide pour connaître, comprendre, être accompagné et accompagner les DYS » (Fédération des Associations Pour Adultes et Jeunes Handicapés, 2016). Il a pour objectif de renseigner sur les difficultés d'apprentissage et indiquer les voies de prises en charge (**Apajh**),
2. « La dyscalculie » (Gay, s.d.). Ce document provient du centre référent de Tarbes (**Gay**),
3. « La dyscalculie » (Etablissement Public Social et Médico Social Jacques Cartier, 2011) (**JCartier**),

4. « Dyscalculie » (Groupe ressource du Var pour les Troubles Spécifiques des Apprentissages, 2007). Il est disponible sur le ASH 62 (**IAVar**),
5. « Dyscalculie – Ressources – Dys et mathématiques » (Mission Mathématiques 76, 2012). Ce collectif de l'académie de Rouen est composé de formateurs du 1er degré, conseillers pédagogiques, professeurs des écoles maîtres formateurs, sous la conduite d'un inspecteur de l'Education Nationale (**MissMaths**),
6. « Troubles logico-mathématiques et dyscalculies – ressources locales et pistes d'intervention » (Direction des services départementaux de l'Education Nationale de l'Aube, 2012). Ce groupe de réflexion sur la dyscalculie élabore des ressources en ligne pour les enseignants du premier degré (**ENaube**),
7. « La dyscalculie ou les troubles logico-mathématiques : guidespratiquesAVS » (Becker, Bru, Come, & Sablier, s.d.). Créé dans le cadre de mémoires d'orthophonie, pour mettre à disposition des assistants de vie scolaire des guides pratiques portant sur des pathologies rencontrées en orthophonie (**AVS**),
8. « La dyscalculie » (Direction de l'Enseignement de Nouvelle Calédonie, s.d.) (**NCaléd**),
9. « Pédagogie et neuropsychologie Quelles stratégies pour les enseignants ? » (Association Française de Parents d'Enfants et d'Adultes en Difficulté d'Apprentissage du langage écrit et oral, 2016). Il présente les connaissances actuelles en neuropsychologie et sciences cognitives dans un but d'une utilisation pédagogique quotidienne (**Péd&Neuro**),
10. « Dispositif TSA : Dyscalculie ». (Dispositif TSA, s.d.) (**DispTSA**),
11. « Guide des ressources sur la dyscalculie » (Wilson, 2005). Bien que le titre soit « guide... » il s'agit d'un article scientifique d'un chercheur pour le Cognitive Neuroimaging Laboratory dirigé par Dehaene. Wilson (2005) souhaite expliquer la dyscalculie à l'aide des connaissances actuelles en neurosciences cognitives (**Wilson**),
12. « Guide des aménagements pour élèves DYS Primaire et secondaire », (Apedys 78, 2012). Apedys est une association à but non lucratif de parents d'enfants dyslexiques (**Apedys**),
13. « Les troubles des apprentissages : La dyscalculie » (Coridys, s.d.). Cette association a pour acronyme : coordination des intervenants auprès des personnes souffrant de dysfonctionnements neuropsychologiques (**Coridys**),
14. « Calcul & dyscalculies » (Ollagnon, s.d.). Ce document a été créé par une orthophoniste, formatrice au Groupe d'Étude sur la Psychologie des Activités Logico-Mathématiques (GEPALM), pour l'association Les dysponibles (groupe de formateurs « dys » de l'Académie de Nice pour le secondaire) (**Ollagnon**),

15. « Troubles DYS : Guide d'appui pour l'élaboration de réponses aux besoins des personnes présentant des troubles spécifiques du langage, des praxies, de l'attention et des apprentissages » (Caisse Nationale de Solidarité pour l'Autonomie, 2014) (**Cnsa**),
16. « Difficultés et troubles des apprentissages chez l'enfant à partir de 5 ans : guide pratique » (Société Française de Pédiatrie, 2009) (**SFPédiatrie**),
17. « Les fondements de la numératie : une trousse de données probantes destinée aux intervenantes en apprentissages des jeunes enfants » (Réseau canadien de recherche sur le langage et l'alphabétisation, 2010). Ce réseau se préoccupe de l'enseignement aux élèves réfugiés en situation de grand retard scolaire. Il a pour but de permettre aux pédagogues de soutenir le développement de la numératie (**Numératie**),
18. « Troubles « dys » de l'enfant : Guide ressources pour les parents » (Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé, 2009). Ce guide propose des points de repères pour l'accompagnement et la scolarisation d'un enfant porteur de « dys » (**Inpes**),
19. « Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? » (HAS, 2017). Ce document est à destination des professionnels de santé et des psychologues (**SantéHas**).

## **Analyses de leur contenu**

Avant d'aborder qualitativement chacun des critères retenus pour l'analyse des documents, une vue d'ensemble des documents est proposée dans le tableau 1, page suivante.

### **Analyse qualitative des critères spécifiques aux documents**

Tout d'abord, il est important d'observer les informations sur le document lui-même telles que sa date, ses participants, ses sources et s'il dispose d'une rubrique permettant au lecteur d'approfondir ses recherches. Ces premiers critères sont indiqués dans le tableau 1 (p.34). De plus, la crédibilité de l'information ne peut être assurée que par la connaissance des membres ayant participé à l'élaboration du document ainsi que les références scientifiques des informations. Le nombre et le statut des différents membres ayant participé à l'élaboration du document sont précisés dans le tableau 2 (p.35). Concernant les références, la moitié des documents citent leurs sources, mais celles-ci varient considérablement entre les documents. Ainsi, SantéHas, Wilson et Numératie remontent à la source primaire des informations grâce à l'étude des articles scientifiques anglais.

**Tableau 1. Vue d'ensemble des critères d'analyse des 19 documents**

	APAJH	GAY	JCartier	IAR	MissMaths	ENArube	AVS	NCAféd	Péd&Neuro	DispTSA	Wilson	APEDYS	CORIDYS	Ollagnon	CNSA	SFPédiatrie	Numératie	INPES	SantéHAS	
<b>document</b>	<b>Date</b>	2016	-	2011	2007	2012	2012	-	-	2016	-	2005	2012	-	-	2014	2009	2010	2009	2017
	<b>Mention rédacteur(s)</b>	?	oui	-	-	-	oui	-	-	oui	-	oui	?	-	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	<b>Equipe pluridisciplinaire</b>	-	-	-	-	-	oui	-	-	oui	-	-	-	-	-	oui	oui	oui	oui	oui
	<b>Citation des sources</b>	oui	-	oui	-	-	?	oui	oui	oui	-	oui	-	-	-	?	oui	oui	-	oui
	<b>Informations complémentaires</b>	-	-	-	-	oui	?	-	oui	oui	-	oui	oui	-	-	?	oui	oui	oui	oui
<b>dyscalculie</b>	<b>Définition dyscalculie</b>	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	-	-	oui
	<b>Prévalence (%)</b>	-	-	-	oui	-	-	-	-	oui	-	oui	-	-	-	-	oui	-	-	oui
	<b>Troubles associés</b>	-	-	-	oui	oui	-	oui	oui	oui	-	oui	oui	-	-	oui	oui	-	-	oui
	<b>Signes d'alerte<sup>12</sup></b>	mat	prim	mat	mat	prim	prim	prim	prim	prim	prim	prim	prim	prim	mat	prim	mat	-	-	mat
	<b>Conduite à tenir</b>	oui	-	oui	-	-	oui	-	oui	oui	-	oui	oui	-	-	oui	oui	-	oui	oui
<b>enseignants</b>	<b>Absence d'ambiguïté entre DC et tr du raisonnement</b>	oui	-	oui	oui	oui	oui	oui	-	oui	-	oui	-	-	-	oui	-	oui	oui	oui
	<b>Modèle théorique</b>	-	-	-	oui	-	-	-	-	oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	oui
	<b>Notions à construire</b>	oui	-	oui	oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	oui	-	oui	oui	-	-
	<b>Aménagements, propositions d'activités</b>	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	-	-	oui	-	-
	<b>Lexique</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	oui	-	-	-	-	-	-	oui	oui	-	-

Documents grisés documents ayant été recensés sur des sites de l'Education Nationale ou en lien avec les enseignants (comme des sites ressources par exemple)

<sup>12</sup> mat : présence de signes d'alerte spécifique à la maternelle ; prim : présence de signes d'alerte pour l'école primaire (maternelle et élémentaire)

**Tableau 2. Statuts des membres/rédacteurs ayant participé à l'élaboration des documents pour les 10 documents les mentionnant.**

<b>Nombre de membres mentionnés/ Statuts des membres</b>	
<b>Apajh</b>	Seuls noms mentionnés :le directeur des Apajh et les deux rédacteurs de la préface : Gombert, professeur émérite en psychologie cognitive et Barthez neuropédiatre au centre référent des apprentissage de Tours.
<b>ENaube</b>	19 personnes / membres du RASED, un enseignant référent, un psychologue scolaire et mentionne la contribution d'un orthophoniste.
<b>Péd&amp;Neuro</b>	16 personnes plus des enseignants en neuropsychologie / Elaboration par deux orthophonistes Samier et Jacques et participation entre-autres de 12 experts dont Habib, Crunelle, Dehaene, Houdé, Mazeau, Pouhet.
<b>Wilson</b>	1 personne / chercheuse à l'INSERM sous la direction de Dehaene.
<b>Cnsa</b>	33 personnes / Membres de la MDPH, d'associations ou institutions et du comité scientifique de la Fédération Française des Dys (FFDys).
<b>Gay/Ollagnon</b>	orthophoniste
<b>SFPédiatrie</b>	16 personnes / médecins, (neuro)pédiatres, un pédopsychiatre, deux orthophonistes, des membres de la Direction Générale de la Santé et de l'Enseignement Scolaire.
<b>Numératie</b>	37 personnes / collaboration de membres des universités, chercheurs canadiens experts en numératie dont Ansari du Laboratoire de Cognition Numérique.
<b>Inpes</b>	8 personnes / Relecture par des membres de la FFDys et de l'association nationale des adultes et parents d'enfants Dys.
<b>SantéHas</b>	117 personnes et 31 parties-prenantes / Nombreux professionnels médicaux et paramédicaux, participations d'experts reconnus, d'associations, de fédérations, de membres du service public et de la HAS.

Mais si Wilson et Numératie citent explicitement les références des articles anglais, SantéHas mentionnent des références en français mais donne la démarche des recherches documentaires effectuées en anglais dans les bases de données bibliographiques, renvoyant vers 1654 références (non citées). Toutefois, deux documents ne distinguent pas sources bibliographiques et informations complémentaires : ENaube mentionne 67 références de livres fournies par le Centre Départemental de Documentation Pédagogique et SFPédiatrie précise « quelques références bibliographiques » (p.25) et en cite 12 en français. Les autres documents citent également des sources secondaires comme Apajh (une dizaine de références dont la moitié renvoient vers des guides dont Cnsa, Inpes et SFPédiatrie), Péd&Neuro (six références de livres en français), JCartier (10 références dont l'article de Wilson de 2005), AVS (12 références) et NCaléd (4 références). Enfin, la rubrique d'informations complémentaires permet une ouverture sur la connaissance. Sept documents en possèdent une bien renseignée : Péd&Neuro (livres, revues et sites Internet), Wilson (articles scientifiques et

sites Internet en français et en anglais), Apedys (textes officiels, livres et documents divers, sites Internet), Cnsa (sites Internet et textes règlementaires), ENAube (livres), Inpes (sites Internet, textes de loi et associations) et Numératie (articles, sites d'Internet proposant des activités, documents imprimés et livres pour enfants). Les liens hypertextes de SantéHas renvoient vers des documents officiels (par exemple vers des dossiers d'expertise, des groupes de travail ou autres) et des sites officiels d'institutions. A l'inverse, MissMaths renvoie vers Wikipédia et un autre lien qui n'existe plus et NCaléd indique trois liens qui ne fonctionnent pas non plus.

### **Analyse qualitative des critères concernant la dyscalculie**

Les définitions de la dyscalculie mentionnent d'abord des aspects relatifs aux « dys » en général. Elles signalent le trouble neurodéveloppemental (Apajh, JCartier, Péd&Neuro, Wilson, SFPédiatrie, SantéHas) et le possible dysfonctionnement cérébral (Apajh, JCartier, Péd&Neuro, NCaléd, Coridys, Wilson, Cnsa, SantéHas). SFPédiatrie parle de trouble isolé et structurel ; JCartier et Apedys mentionnent des facteurs génétiques, environnementaux ou héréditaires. Sont abordés également la spécificité (Apajh, ENAube, Péd&Neuro, Coridys, Wilson, Cnsa, Inpes, SantéHas), la durabilité (Péd&Neuro, SantéHas) et la sévérité à travers un écart significatif à la norme ou d'un retard d'au moins deux ans (Apajh, IAVar, ENAube, Péd&Neuro, NCaléd, Inpes, SantéHas). Des critères d'exclusion (ni déficit sensoriel, ni troubles intellectuels, etc) sont cités dans Apajh, JCartier, IAVar, MissMaths, Péd&Neuro, NCaléd, Apedys, Coridys, Wilson, Cnsa, Inpes et SantéHas. ENAube ne parle que d'intelligence normale. Les critères diagnostiques proviennent du DSM-IV (JCartier, IAVar, Ollagnon), du DSM-5 (SantéHas) ou de la classification internationale des maladies, 10<sup>e</sup> révision (CIM-10) (JCartier, SFPédiatrie et SantéHas qui précise la parution de la CIM-11 courant 2018 dont le contenu se rapprochera du DSM-5 (p.6)). Les définitions abordent également des notions plus spécifiques aux mathématiques. Cnsa est le seul à décrire la dyscalculie comme une altération de la cognition mathématique (comprendre et utiliser le nombre). La majorité utilise les termes de troubles des compétences numériques et des habiletés arithmétiques tels que numération, opérations arithmétiques, résolution de problèmes (JCartier, IAVar, AVS, Péd&Neuro, NCaléd, Coridys, SFPédiatrie). Pour Apajh et Apedys, il s'agit d'un trouble de l'apprentissage du calcul. Pour JCartier, la désorganisation des neurones de la région pariétale entraîne un trouble primaire de la perception des nombres et Wilson parle des aires cérébrales particulières impliquées dans le traitement du calcul. Ensuite, divers éléments sont retrouvés : difficulté dans la perception du nombre (Apedys)

et/ou de la construction des nombres et/ou des opérations sur ces nombres (Gay, Coridys), des difficultés à calculer, à se représenter une quantité exprimée en valeur numérique ou à comparer 2 nombres (DispTsa), difficulté à automatiser une procédure (Apajh) ou dysfonctionnement du domaine spatial (Gay). On trouve aussi des difficultés dans la logique, la logique mathématique ou l'acquisition des structures logiques (Gay, MissMaths, Apedys, Coridys), voire des difficultés de structuration du raisonnement (Gay, Coridys). Enfin, sont également cités, la lenteur et la fatigabilité (Apajh), le retentissement sur l'insertion scolaire, sociale et professionnelle, sur les apprentissages (Cnsa) ou la manifestation d'une anxiété ou l'apparition d'une faible estime de soi (Wilson, SantéHas). Les définitions de plusieurs documents citent différentes dyscalculies (DC). Gay détaille le trouble du traitement numérique par trouble du langage oral, le trouble opératoire et procédural, le trouble des faits numériques, le trouble lié à un trouble dyspraxique et le trouble lié à un déficit attentionnel. Sont encore mentionnées la DC linguistique, spatiale et attentionnelle-séquentielle (JCartier) ; la DC verbale, visuelle, analogique (DispTsa) ; la DC des faits arithmétiques, numérale, procédurale, spatiale (MissMaths). En se basant sur plusieurs auteurs, Ollagnon liste les DC verbale, lexicale, graphique, practognosique, idéognosique, opérationnelle, du traitement numérique, des faits arithmétiques, procédurale, spatiale, attentionnelle. Alors qu'ENAUbe, Péd&Neuro, SFPédiatrie précisent que la dyscalculie peut être secondaire ou en lien avec un trouble du langage, visuo-practo-spatial, mnésique ou et dysexécutif.

Quatre documents mentionnent la prévalence de la dyscalculie. Celle-ci est comprise entre 2-3% à 5-6% dans ces quatre documents qui sont : SFPédiatrie (2 à 6 %), Wilson (3 à 6%), Péd&Neuro (3 à 5% et précise 30% de dyscalculie associée à une dyslexie, et 25% de dyscalculie associée à un trouble attentionnel) et enfin IAVar (5 à 6 %, ce document détaille qu'il y a 2% de dyscalculie en trouble isolé, que chez les enfants ayant des difficultés d'apprentissage en mathématiques, 60 % ont également des troubles de la lecture et en dernier qu'il y a 10% d'antécédents familiaux). SantéHas ne précise que la prévalence d'environ 8% des troubles spécifiques des apprentissages.

Pour les troubles associés, Apedys reste vague en précisant que les troubles spécifiques des apprentissages peuvent s'associer chez une même personne. Les troubles associés relevés dans les documents sont le retard de parole ou de langage important ou le trouble du langage (NCaléd, Cnsa), les troubles du langage oral et écrit (SantéHas), la dyslexie (MissMaths, NCaléd, Péd&Neuro, AVS, SFPédiatrie, Wilson), la dysorthographe (AVS), la dysphasie (MissMaths, AVS), la dyspraxie (NCaléd, AVS, IAVar, SFPédiatrie,

SantéHas), le syndrome de Gerstman (NCaléd), les troubles visuo-spatiaux (Cnsa), le trouble attentionnel (Péd&Neuro, AVS, IAVar, Cnsa, Wilson), le trouble de la mémoire (IAVar), le trouble exécutif (Cnsa), les troubles génétiques et fœtaux (Wilson, JCartier), les antécédents familiaux/personnels (SantéHas) et l'anxiété mathématique (Wilson). Quand plusieurs troubles dys s'associent, Péd&Neuro utilise le terme multidys- ou constellation des dys.

Concernant les signes d'alerte ou à repérer, deux documents n'en possèdent pas (INES, Numératie). Sur les documents présentant une telle rubrique, six documents spécifient des signes d'alerte pour la maternelle : Apajh, JCartier, IAVar, Ollagnon, SFPédiatrie et SantéHas. Les onze autres ont des signes d'alerte pour l'école primaire sans précision de niveau. Seuls les critères en référence aux apprentissages de maternelle sont conservés :

- Echec lors des activités pré-mathématiques des données (ENAUbe)
- Difficulté dans la construction du nombre (Péd&Neuro, DispTsa) ou semble ne pas avoir le « sens du nombre » (Wilson), difficulté pour coder une quantité (Gay), mauvaise perception des nombres et des quantités (Apajh)
- Difficulté ou absence d'acquisition de la chaîne numérique orale / comptine numérique (Apajh, SFPédiatrie, IAVar, Ollagnon, Coridys, Cnsa, SantéHas, Gay), avec une difficulté à mémoriser les nombres particuliers (11, 12, 13,...) (Gay)
- Difficulté dans l'évaluation des quantités (peu, beaucoup...) (MissMaths), difficulté dans la comparaison de plusieurs quantités (MissMaths)
- Difficulté dans le comptage de petites quantités sans matériel (MissMaths)
- Difficulté de subitizing (Cnsa)
- Difficulté (ou incapacité) à compter spontanément sur ses doigts (AVS, NCaléd)
- Erreurs dans son comptage (Apajh, SFPédiatrie, SantéHas), difficulté à apprendre à compter (Wilson), ne compte pas jusqu'à 10 en grande section (JCartier)
- Absence de jeux de dénombrement (Ollagnon), difficultés ou erreurs de dénombrement (Péd&Neuro, DispTsa, Cnsa, Gay)
- Difficultés à dénombrer une collection d'objets en pointant du doigt un ensemble d'éléments (Apajh, SFPédiatrie, Gay, SantéHas) ou difficulté dans la maîtrise de la chaîne numérique, le pointage terme à terme, et/ou la coordination de ces deux activités (IAVar).
- Difficulté de compréhension du principe cardinal (Coridys, Gay)
- Difficulté dans la connaissance des systèmes numériques oral et/ou écrit (Cnsa)
- Difficulté dans le transcodage : passage d'un code numérique à un autre (Cnsa)

- Problème d'accès au vocabulaire spécifique (Gay), à l'oral l'enfant n'a pas conscience de l'existence d'un langage mathématique, il ne différencie pas les mots des nombres du reste du vocabulaire (IAVar) et à l'écrit, ne différencie pas les chiffres arabes des autres signes (IAVar), difficulté à passer du langage mathématique au français et inversement (Coridys)
- Confusions entre les chiffres et les quantités (MissMaths)
- Lenteur : peut faire les tâches (compter, etc) mais lentement (Wilson)
- Mauvaise organisation spatio-temporelle gênant la mise en place de la numération, des opérations mathématiques (AVS, NCaléd, Coridys), maladresse graphique et retard dans la structuration spatiale (Ollagnon)
- Difficulté à mémoriser et traiter des informations (Coridys), difficulté dans la planification, la mise en œuvre et le contrôle (AVS, NCaléd, Coridys)
- Difficultés d'accès au symbole, l'enfant n'a pas ou peu de jeux d'imitation. Son dessin n'accède pas au niveau représentatif (Apajh, SFPédiatrie)
- Retard dans l'acquisition des opérations mentales telles que décrites par Piaget (AVS, NCaléd), difficultés dans la structuration du raisonnement (DispTsa), difficultés dans l'utilisation des outils logiques et mathématiques (DispTsa)
- Important problème de compréhension des consignes, même lues à l'orale (Apedys)

La conduite à tenir est mentionnée dans onze documents. Premièrement, elle aborde la différence entre repérage, dépistage et diagnostic (Cnsa, Apajh, Inpes) ; entre repérage et diagnostic (Péd&Neuro). Deuxièmement, elle précise l'orientation vers des professionnels (médecin scolaire, psychologue, orthophoniste par exemple) : NCaléd, Wilson, Cnsa, Apajh, Inpes, Péd&Neuro, JCartier. Pour ENAube, le diagnostic relève du psychologue. Pour SFPédiatrie, la démarche concerne celle du médecin, mais décrit les différents professionnels vers qui orienter. SantéHas décrit toutes les étapes depuis le repérage des difficultés de l'enfant jusqu'aux interventions médicales et paramédicales de niveau 1 et 2 et le rôle de chaque intervenant. Certains documents mentionnent l'orthophonie. Pour NCaléd, il faut rechercher un professionnel formé au diagnostic et aux rééducations des troubles logico-mathématiques. De même, Apajh cite l'orthophonie pour le dépistage, le bilan pour un profil de la cognition mathématique, le diagnostic et la rééducation. Il ajoute que « certains orthophonistes ont suivi une formation complémentaire, leur permettant de proposer une rééducation aux enfants dyscalculiques. ENAube précise que cette formation complémentaire est de quatre ans en plus de la formation initiale, et joint les coordonnées de cinq

orthophonistes l'ayant faite. MissMaths, Wilson, Apedys, eux, orientent directement vers les orthophonistes du GEPALM. Dans Inpes, on apprend que l'orthophoniste est un professionnel des troubles de la communication liés à la voix, à la parole et au langage oral et écrit et que ses compétences peuvent également être sollicitées en matière de motricité bucco-faciale mais que certains orthophonistes possèdent une formation complémentaire sur les troubles des fonctions logicomathématiques. JCartier mentionne de faire un bilan orthophonique lors de difficultés langagières. Le document Cnsa détaille le bilan orthophonique et la liste des bilans. Péd&Neuro mentionne uniquement « diagnostic par les professionnels » et « aides rééducatives » en cas de diagnostic dys (p. 58). SFPédiatrie mentionne la rééducation orthophonique tout comme SantéHas qui indique l'orthophonie pour la prise en charge des troubles de la cognition mathématique et en détaille l'examen. Troisièmement, la conduite à tenir concerne certaines aides ou ressources possibles<sup>13</sup> : Apajh, Cnsa, Inpes, APedys, SantéHas.

#### **Analyse qualitative des critères plus spécifiques aux demandes des enseignants.**

La distinction entre dyscalculie et trouble du raisonnement est clairement notifiée pour cinq documents, soit explicitement comme AVS et ENAube qui définissent la dyscalculie et les troubles logicomathématiques ; soit indirectement. Par exemple, IAVar précise que les mécanismes d'acquisition du calcul chez l'enfant sont étroitement liés, entre autres, au raisonnement. Dans ce document, les épreuves piagétienne sont citées en tant que précurseurs fondamentaux du développement des habiletés arithmétiques. Apajh, lui, distingue les troubles « dys » du trouble des fonctions cognitives global (déficience intellectuelle). Enfin, pour Péd&Neuro, la dyscalculie est bien définie comme un trouble de l'acquisition des habiletés arithmétiques et des compétences numériques. Le document explique que la notion de nombre est en lien avec de nombreuses capacités dont la logique et que le traitement numérique et logique est en interaction avec le raisonnement. La distinction entre dyscalculie et trouble du raisonnement n'est pas mentionnée dans quatre documents mais ils abordent néanmoins la dyscalculie sans ambiguïté : SantéHas, JCartier, Wilson, Cnsa et MissMaths (qui précise que le trouble en mathématique peut affecter l'acquisition des structures logiques). Un cinquième, SFPédiatrie, ne mentionne aucunement la logique dans sa définition de la dyscalculie mais titre « acquisition des compétences logicomathématiques » dans les étapes normales, ce qui peut prêter à confusion. A l'inverse, six documents sont ambigus. D'une part, trois définissent bien la dyscalculie en tant que telle mais font référence

---

<sup>13</sup> PPS, PAP PAI, CLIS, rôle de la MDPH, les compensations, etc...

au raisonnement ou à la logique dans les signes d'alerte, par exemple : « retard dans l'acquisition des opérations mentales telles que décrites par Piaget » (NCaléd), difficultés dans la structuration du raisonnement avec comme piste d'action « aider à la compréhension de la numération » (classification, sériation, conservation, équivalence) » (DispTsa) ; et pour le document Ollagnon, la mise en page de la partie « compétences requises » n'étant pas claire : à la lecture du document les stades piagétiens semblent relever des « compétences nécessaires » alors que l'acquisition et la manipulation des nombres semblent être des « compétences recommandées ». D'autre part, trois documents mentionnent le raisonnement ou la logique dans leur définition de la dyscalculie : Gay, Apedys et Coridys. Enfin, deux documents ne parlent pas spécifiquement de la dyscalculie donc pas non plus de cette distinction : Inpes et Numératie.

L'explication des termes scientifiques apparaît dans trois documents : Péd&Neuropsych (lexique p.4), SFPédiatrie (lexique p.24) et Numératie (lexique chapitre 8, p.52-54). La plaquette Coridys a employé intentionnellement des termes simples.

Deux documents présentent un modèle théorique : le triple code de Dehaene. IAVar l'a placé dans la partie « Précurseurs fondamentaux du développement des habiletés arithmétiques en élémentaire » et Péd&Neuro l'a représenté en lien avec les autres fonctions cérébrales (voir annexe 4). SantéHas cite le triple code comme référence pour les professionnels (p.37).

Seuls, six documents abordent des notions à construire ou des repères du développement normal, dont une partie concerne l'enfant de maternelle :

- Ollagnon : détaille les compétences requises nécessaires, incontournables et recommandées en référence aux stades piagétiens. Le document est paginé de telle sorte que la partie « acquisition et manipulation des noms de nombres » semble appartenir aux compétences recommandées.
- Apajh : l'acquisition de l'arithmétique repose sur l'acquisition de la comptine numérique, le dénombrement, la reconnaissance immédiate de petites quantités (subitizing) et la connaissance des systèmes numériques oral et écrit, le passage de l'un à l'autre.
- JCartier : une partie du document concerne le développement normal du nombre. Elle aborde et développe la quantification (approximation, comparaison, dénombrement, principes de Gelman et cardinalité), la numération et les transcodages.
- IAVar : sous forme de tableau, le document met en relation les précurseurs fondamentaux pour le développement des habiletés arithmétiques avec les difficultés possibles et les

aides proposées. La partie spécifique maternelle détaille la structuration de l'espace et du temps, le langage mathématique, le comptage, le dénombrement et la logique.

- SFPédiatrie : seulement deux critères pour la grande section maternelle dans « acquisition des compétences logicomathématiques » : comparaison spontanée de 2 collections différentes de même objets ( $n < 10$ ), et calcul basé sur la comptine.
- Numératie : présente la numération de façon très détaillée. Trois parties du document concernent le développement normal et les stades du développement de la numératie. « Le développement des concepts mathématiques » (p.13-22), « les stades du développement de la numératie » (p. 29-30) et une feuille ressource sur le développement de la numératie de 4 mois à 6 ans (p.49-50)

Les aménagements ou propositions d'activités sont présents dans quinze documents, qui peuvent être divisés en deux groupes. Le premier groupe donne des conseils généraux pour les mathématiques ou applicables aux « dys » en général : ENAube, DispTsa, Coridys, Wilson, MissMaths, Apedys, Péd&Neuro, NCaléd. Le second propose des activités ou des aménagements plus ou moins détaillés au regard des difficultés présentées par l'enfant, selon le type de dyscalculie, ou selon le concept à travailler : Apajh, Gay, JCartier, IAVar, AVS, Numératie. Le document Ollagnon liste juste des mots-clés dans sa partie rééducation. Quant au document SantéHas, il présente un chapitre « Mise en place d'une pédagogie différenciée auprès des élèves en difficulté d'apprentissage » (p.15), en cas de « difficultés dans la construction du nombre et le calcul en grande section de maternelle et en CP justifiant un entraînement sur leurs différents aspects » (p.15). Il cite ainsi les « activités de dénombrement, jeux de plateaux, manipulations et expériences concrètes mettant en lien une quantité [...] et une collection » (p.16) en renvoyant vers la conférence de consensus sur les nombres et opérations : premiers apprentissages à l'école primaire » du Conseil National d'Evaluation du Système Scolaire (CNESCO, 2015) qui donnent des recommandations relatives à l'école maternelle (p.12-13).

## Discussion

L'objectif de ce mémoire était de montrer comment l'analyse de résultats scientifiques et l'étude de documents existants sur la dyscalculie permettraient d'envisager les éléments d'un document pour la pratique enseignante dans le cadre de la prévention de la dyscalculie en maternelle. Une partie analysait la littérature scientifique pour en déduire, si possible, des signes précurseurs d'un développement troublé du nombre repérables en maternelle. Une

seconde partie analysait les documents d'internet suite à la sélection de critères d'analyse selon la HAS et selon les demandes d'enseignants issus des données de Landais (2016). Ce mémoire a permis de sélectionner des éléments à prendre en compte.

**La première série d'éléments concerne le document lui-même.** Etant destiné à être lu, le lecteur doit y trouver les informations essentielles permettant de juger de sa pertinence :

– La récence du document est attestée par la mention de la date, le dernier ici étant SantéHas élaboré en décembre 2017 et paru en janvier 2018. La parution du DSM-5 en 2013 (APA) a modifié sensiblement les critères diagnostiques de la dyscalculie et sa dénomination. La dyscalculie, la dyslexie, la dysgraphie y étaient avant des entités distinctes. Ces pathologies sont maintenant regroupées sous l'appellation de « troubles spécifiques des apprentissages », la dyscalculie étant le versant avec « déficit en calcul » (APA, 2016). De plus, le critère de manifestation de la plainte lorsque les demandes excèdent les capacités du sujet, a été ajouté. Trois autres documents sont postérieurs à la parution du DSM-5 : Apajh, Péd&Neuro et Cnsa. Pour les documents antérieurs à 2013, les critères diagnostiques du DSM-IV et la dénomination de cette pathologie sont maintenant obsolètes. De plus, ils ne mentionnent pas le caractère spécifique de cette pathologie. En revanche, deux documents ne sont pas soumis à l'obsolescence du DSM-IV : Numératie et Inpes, car ils n'abordent pas la dyscalculie en tant que telle.

– Le travail en équipe pluridisciplinaire, la participation d'experts reconnus dans leur discipline et la citation de sources primaires permettent au lecteur de vérifier la crédibilité de l'information scientifique du document : deux documents uniquement manifestent ces trois qualités, SantéHas et Numératie. Trois autres méritent d'être mentionnés. La collaboration de douze experts pour Péd&Neuro laisse supposer que l'information scientifique contenue dans le document soit fiable bien qu'il ne cite que six références. De même, Cnsa mentionne la participation du Comité Scientifique de la Fédération Française des Dys (FFDys). Après une recherche sur leur site web, ce comité présente des experts reconnus parmi leurs membres, mais rien ne certifie leur participation au document. ENAube, élaboré par plusieurs membres du réseaux d'aides spécialisées aux élèves en difficulté (RASED), un enseignant référent et un psychologue scolaire, apporte des éléments intéressants concernant la pratique enseignante.

– Pour leurs informations complémentaires (rubriques ou liens hypertextes), Péd&Neuro, Wilson, Apedys, Cnsa, Inpes, Numératie et SantéHas sont retenus. Ils orientent le lecteur vers des livres, revues, articles, textes officiels, sites Internet et associations.

## **La deuxième série d'éléments aborde la pathologie concernée par la prévention.**

– La définition de la dyscalculie. Il s'agit d'un trouble spécifique des apprentissages, neurodéveloppemental, qui aurait pour origine un dysfonctionnement cognitif (APA, 2016, p.32-35). Les documents JCartier et Wilson mentionnent l'implication notamment des aires pariétales dans la dyscalculie, ce que rejoignent les études de Dehaene et collaborateurs (2003), de Kaufmann et collaborateurs (2011), de Molko et collaborateurs (2005) et de Rotzer et collaborateurs (2008). La mention de trouble spécifique des apprentissages avec déficit en calcul (APA, 2016, p.32-35) est reprise par SantéHas et Apajh. Les critères diagnostiques reposent sur la spécificité, la durabilité, la sévérité, la manifestation lorsque les demandes excèdent les capacités du sujet et des critères n'expliquant pas mieux les difficultés (APA, 2016). Parmi tous les documents, seul SantéHas présente ces éléments. Pour deux autres documents (Apajh et Péd&Neuro), tout est précisé sauf la manifestation tardive selon les capacités du sujet. Sans surprise, ces trois documents sont également les plus récents. En revanche, SFPédiatrie parle d'un trouble isolé à l'opposé de Mazeau et Pouhet pour qui « spécifique ne veut pas dire isolé » (2014). Selon l'approche neuropsychologique et dans la lignée du DSM-5, la dyscalculie primaire est un déficit du sens du nombre, au sens d'une atteinte de la magnitude (Butterworth, 2005). Pour Lafay, le déficit se situe au niveau du SNP (Lafay & al., 2016). Le sens du nombre en tant que compétences précoces dans le traitement analogique des quantités non symboliques ne s'est pas correctement mis en place (Molko & al. 2005), ou encore l'accès aux sens du nombre via les systèmes symboliques s'y est mal réalisé (Lafay & al., 2016 ; Noël & Rousselle, 2011). Les manifestations de la dyscalculie allant dans le sens de ces auteurs sont citées dans JCartier, DispTsa IAVar, AVS, Péd&Neuro, NCaléd, Coridys, Apedys, SFPédiatrie et SantéHas. La dyscalculie est définie comme une altération de la cognition mathématique par Cnsa. Or, la cognition mathématique implique « toutes les fonctions cognitives qui participent à la construction de l'ensemble des notions mathématiques » (Ménissier, 2017), c'est-à-dire qu'elle regroupe le raisonnement, le sens du nombre et les fonctions cognitives associées. La dyscalculie est donc une partie seulement d'une altération de la cognition mathématique. La dyscalculie secondaire, quant à elle, se manifeste suite à un autre trouble cognitif primaire : déficit des fonctions langagières (Content, 2017 ; Mazeau, 2017), des fonctions visuo-spatiales (Mazeau & Pouhet, 2014), des fonctions exécutives (Wilson & Dehaene, 2007) ou des fonctions mnésiques au niveau de la mémoire de travail (Fayol, 2017 ; Fuchs et al., cité par Fayol, 2017, p.17) ou de la mémoire à long terme (Mazeau & Pouhet, 2014). Comme les auteurs cités précédemment, ENAube, Péd&Neuro, SFPédiatrie précisent explicitement cette distinction primaire/secondaire. Les

documents Gay, JCartier, DispTSA, MissMaths et Ollagnon s'écartent de l'approche neuropsychologique de la dyscalculie en ne parlant ni de dyscalculie primaire ni de dyscalculie secondaire mais nommant la dyscalculie selon la fonction (ex : la dyscalculie procédurale) ou l'habileté arithmétique (ex : la dyscalculie des faits arithmétiques) atteinte. A long terme, la dyscalculie engendre également des effets négatifs au niveau psychoaffectif, relationnel, familial et professionnel (Guilloux, 2009 ; INSERM, 2007 ; Thibaut, 2017), au niveau de l'estime de soi (Kervarrec, 2017) et entraîne une anxiété mathématique (Van Nieuwenhoven & De Vriendt 2010 ; Vilette & al., 2017). Présenter ces impacts, comme Cnsa, Wilson et SantéHas, montre la nécessité d'une prise en charge précoce et une préoccupation du bien-être psychologique de l'enfant dyscalculique. Enfin, les documents Gay, MissMaths, Apedys, Coridys qui présentent des difficultés dans la logique, la logique mathématique ou l'acquisition des structures logiques, voire des difficultés de structuration du raisonnement, manifestent la confusion citée par Mazeau & Pouhet (2014) et Ménissier, (2017).

– La prévalence est mentionnée par SFPédiatrie, Wilson, Péd&Neuro, IAVar et par SantéHas qui précise uniquement la prévalence des troubles des apprentissages. Leurs résultats sont cohérents avec les études de la prévalence faites par l'INSERM (2007).

– Les troubles associés appelés comorbidités ne doivent pas être confondus avec un trouble primaire d'une fonction cognitive engendrant une dyscalculie secondaire. La comorbidité se rencontre entre la dyscalculie et les autres troubles spécifiques des apprentissages, et principalement avec la dyslexie (Gross-Tsur & al., 1996 ; Lewis & al., 1994), comme le mentionnent les documents NCaléd, MissMaths, Péd&Neuro, SFPédiatrie, Wilson, MissMaths, AVS, et SantéHas. La comorbidité est aussi présente avec les atteintes chromosomales et syndromes neurologiques (INSERM, 2007 ; Lacert & Gérard, 2001 ; Schulz, 2016). Ce point est retrouvé dans Wilson, Apedys et JCartier. En revanche, les documents arguant de l'association de la dyscalculie avec le trouble visuo-spatial (Cnsa), le trouble des fonctions langagières (NCaléd, Cnsa), le trouble de la mémoire (IAVar) ou le trouble exécutif (Cnsa) confondent avec la dyscalculie secondaire.

– Les signes précurseurs. Ce mémoire a mis en évidence les signes précurseurs d'un développement troublé se manifestant précocement en maternelle et impactant le concept du nombre. Au niveau du système analogique, des difficultés ou une lenteur concernent le subitizing ou la reconnaissance de patterns canoniques, démontrées par Lafay et collaborateurs (2016), Reigosa-Crespo et collaborateurs (2013), Landerl et collaborateurs (2004), Schleiffer & Landerl (2011) et comme mentionnées dans CNSA. La lenteur est aussi mentionnée dans Wilson. La comparaison de quantités analogiques est également affectée

donc, par définition, l'estimation également, ce qui rejoint Stock et collaborateurs (2010) et l'atteinte de la magnitude de Butterworth (2005), mais qui s'oppose aux résultats de Lafay (Lafay & al., 2016). Ces difficultés concernant le sens du nombre sont mentionnées dans Péd&Neuro, DispTsa, Gay, Apajh, MissMaths et Wilson. En parallèle, l'enfant n'utilisant pas ses doigts comme représentations présymboliques se prive d'un outil aidant à la compréhension du nombre (Guedin & al., 2017, sous presse) comme cité dans AVS et NCaléd. Au niveau des représentations symboliques, les mots-nombres et les chiffres arabes sont mal discriminés du reste du vocabulaire ou des autres symboles : aucune étude des apports théoriques de ce mémoire ne confirme ce résultat extrait du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven & al., 2001), la plus proche étant le déficit de reconnaissance des nombres symboliques mis en avant par Lafay (2016). Ces difficultés dans la connaissance des codes symboliques sont précisées dans Cnsa, Gay, IAVar et Coridys. La chaîne numérique tarde également à s'installer de même que son niveau de chaîne sécable (Fuson, 1988, citée par Guedin, 2017 ; Fuson & al., 1982). Ce signe est présent dans les documents Apajh, SFPédiatrie, IAVar, Ollagnon, Coridys, Cnsa, Gay et SantéHas. Les comparaisons de nombres à un chiffre arabe sont altérées : ce résultat est dans la lignée de ceux de Noël et Rousselle (2011) ou de Lafay (2016) et rejoint la lenteur à cette épreuve montrée par Reeve et collaborateurs (2012). Au niveau des savoir-faire, des difficultés se manifestent dans le comptage coordonnant comptine-pointage, confirmées par l'étude de Stock et son équipe (2010) et citées par les documents Apajh, SFPédiatrie, SantéHas, Wilson, JCartier et MissMaths. Enfin, des difficultés apparaissent dans le dénombrement (Landerl & al. (2004) ; Murphy, Mazzocco, Hanich et Early, 2007, cité par Fayol, 2017). Ces difficultés de dénombrement se retrouvent mentionnées dans Ollagnon, Péd&Neuro, DispTsa, Cnsa, IAVar, Gay, Apajh, SFPédiatrie, Gay et SantéHas. Le principe de cardinalité (Gelman et Gallistel, 1978) n'est pas compris ce que mentionnent Coridys et Gay. Lorsque plusieurs de ces compétences numériques précoces ou habiletés arithmétiques sont altérées, les apprentissages mathématiques sont perturbés, c'est la dyscalculie. Les autres signes précurseurs mentionnés dans les documents ne concernent pas la dyscalculie mais manifestent un autre trouble primaire comme des difficultés dans les fonctions exécutives, le raisonnement ou l'acquisition des structures piagétienne, des difficultés spatio-temporelles ou praxiques mentionnés dans AVS, NCaléd, Coridys, DispTsa, Apedys. Des difficultés d'accès au symbole et une absence de jeux d'imitation sont citées par Apajh et SFPédiatrie.

– La conduite à tenir. Suite au repérage par l'enseignant de signes précurseurs, la première réponse doit être pédagogique avec la mise en place d'activités de remédiation

ciblées sur les difficultés de l'enfant (Dowker & Sigley, 2010 ; Mazzocco & Räsänen, 2013). Le repérage de l'enseignant est différent d'un diagnostic. Cette distinction est précisée dans Cnsa, Apajh, Inpes et Péd&Neuro. La famille est informée des difficultés de l'enfant. En cas de résistance à l'intervention (Mazzocco & Räsänen) et lors de difficultés sévères et durables (APA, 2016, p.32-35), l'orientation de l'enfant vers un médecin est nécessaire pour la prescription d'un bilan orthophonique avec rééducation si nécessaire de la cognition mathématique (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2013). Ce bilan aboutit à un diagnostic ou à des investigations supplémentaires (neuropsychologie, psychomotricité par exemple). Si cette orientation vers des professionnels se retrouve dans neuf documents (SFPédiatrie, NCaléd, Wilson, Cnsa, Apajh, Inpes, Péd&Neuro, JCartier, SantéHas), seuls Péd&Neuro, SFPédiatrie, Cnsa et SantéHas présentent l'information concernant l'orthophonie de manière objective, les deux derniers précisant en détail l'examen orthophonique. En revanche les documents NCaléd, Apajh, ENAube, MissMaths, Wilson, Apedys, Inpes sous-tendent que le diagnostic et la prise en charge de la dyscalculie demandent une formation complémentaire, généralement celle du Gepalm. De plus pour JCartier, l'orthophonie ne concerne que les difficultés langagières et le diagnostic relève du psychologue pour ENAube, ce qui est inexact. Dans ce mémoire, la partie *conduite à tenir* lorsque le diagnostic est posé n'a pas été analysée, elle est néanmoins développée dans Apajh, Cnsa, Inpes, Apedys, SantéHas qui mentionnent les aides, ressources et compensations lorsque le diagnostic est posé.

### **Les derniers éléments sont spécifiques aux besoins des enseignants.**

– La présence d'un lexique permet au lecteur d'y trouver une explication des termes scientifiques et démontre une volonté de faciliter la compréhension à un plus large public. Un lexique est proposé dans Péd&Neuro, SFPédiatrie et Numératie.

– La distinction entre dyscalculie et « trouble du raisonnement » (APA., 2016, p.32-35) a été utile aux enseignants (Landais, 2016). Les documents AVS, ENAube, Apajh, Péd&Neuro, JCartier, Wilson, Cnsa, MissMaths et SantéHas s'inscrivent dans cette distinction soit en n'abordant ni la logique ni le raisonnement, soit en citant leur relation dans le thème plus large de la cognition mathématique, soit en définissant clairement ces deux notions. En revanche, six documents présentent des ambiguïtés, Mazeau & Pouhet (2014) parlent de source de confusion entre ces notions chez les orthophonistes, en mentionnant la logique ou le raisonnement dans leur définition de la dyscalculie ou dans les signes précurseurs associés : NCaléd, DispTsa, Ollagnon, Gay, Apedys et Coridys. De même

SFPédiatrie titre « acquisition des compétences logicomathématiques » dans les étapes normales, confirmant l'opinion de Ménissier qui affirme que l'appellation logico-math est encore trop fréquemment usitée (2017).

– Trois documents présentent ou citent le triple code (Dehaene, 1992) comme modèle théorique de référence, rejoignant l'opinion de Guedin (2017, p.258) qui le considère comme modèle de référence pour les enseignants du primaire. Péd&Neuro a présenté le triple code en lien avec les fonctions cognitives. Il est intéressant par la vue d'ensemble qu'il propose. Mais le placement du code arabe près des fonctions langagières et du code verbal près des fonctions visuo-spatiales peut induire le lecteur en erreur (voir annexe 4).

– Le développement numérique de l'enfant était analysé dans la première partie lors de la mise en évidence des signes précurseurs. Tout d'abord, l'enfant est compétent à subitiser des petites numérosités (Mandler et Shebo, 1982 ; Starkey & Cooper, 1995), à estimer (Brannon, 2006) et comparer des grandes numérosités (Halberda & Feigenson, 2008 ; Huntley-Fenner & Cannon, 2000 ; Mazeau & Pouhet, 2014, p.354 ; Xu et Spelke, 2000). Il doit ensuite acquérir le code symbolique oral (Fuson, 1988, citée par Guedin, 2017 ; Fuson & al., 1982) et le mettre en lien avec sa quantité correspondante (Samecka & Gelman, 2004 ; Wynn 1992). Il apprend également le code symbolique arabe (Fisher, 2011 ; M.E.N, 2015) et sa quantité analogique correspondante (Clements, & al., 2004 ; Lyons & Beilock, 2011). Enfin, il découvre les premiers savoir-faire que sont le comptage (Guedin & al., 2017, sous-presse) et le dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978 ; Van Nieuwenhoven, & al., 2001). Sur les six documents abordant les notions à construire ou les repères d'un développement normal, seuls trois s'inscrivent dans le cadre théorique décrit ci-dessus. Le plus abouti est le document Numératie. Il explique de façon détaillée le « développement normal des concepts mathématiques » (p.13-22), illustre en prenant l'exemple de Sara, les « stades du développement de la numératie » (p. 29-30) et propose une feuille ressource détaillée sur le développement de la numératie de 4 mois à 6 ans (p.49-50). Le deuxième, JCartier, présente de façon succincte le développement normal du nombre en abordant quantification, numération et transcodages. Et Apajh ne cite que les étapes de l'acquisition de l'arithmétique.

– Les activités de remédiations : comme l'ont montré Dowker et Sigley (2010) ainsi que Mazzocco et Räsänen (2013), les interventions ciblées précisément sur la ou les difficulté(s) de l'enfant dans sa maîtrise du concept du nombre sont les plus efficaces. Les activités peuvent prendre, entre autres, la forme de jeux de plateaux (Griffin, Case, & Siegler, 2004, cités par Thévenot & Masson, 2013 ; Ramani & Siegler, 2008 ; Siegler & Ramani, 2008), de logiciels (Kucian & coll, 2011 ; Villette & al., 2010 ; Wilson & Dehaene, 2004 ; Wilson & al.,

2009) ou d'entraînements sensori-moteurs spécifiques (Link & al., 2013). Le document SantéHas en renvoyant vers la conférence de consensus du CNESEO (2015) s'inscrit exactement dans cette lignée théorique. Parmi les documents présentant des activités correspondant à ces critères, deux sont particulièrement bien détaillés : AVS qui propose des activités pour chaque habileté arithmétique et logique à travailler et Numératie qui présente des activités permettant de travailler un objectif précis sous-tendu par un concept mathématique avec le matériel nécessaire et la présentation de la méthode. Quatre autres documents proposent des aménagements ou des pistes d'activités dans le domaine du nombre : Apajh (dans le domaine du nombre touché par la dyscalculie et pour chaque domaine du nombre impacté par un autre trouble primaire), Gay (pour des difficultés mathématiques suite à un trouble des faits numériques, un trouble langagier, procédural, dyspraxique ou attentionnel), JCartier (selon une dyscalculie linguistique, spatiale ou attentionnelle-séquentielle) et IAVar (selon les précurseurs fondamentaux au développement des habiletés arithmétiques).

**En conclusion**, ce mémoire a montré la pertinence des quinze éléments développés ci-dessus pour un document pour la pratique enseignante concernant l'enfant à risque de dyscalculie en maternelle. Au regard des éléments scientifiques, des critères de la HAS et en tenant compte des besoins et des demandes des enseignants extraits du mémoire de Landais (2016), un document se distingue tout particulièrement en réunissant douze des critères. Il s'agit du document « Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? » (HAS, 2017) appelé SantéHas dans ce mémoire. Concernant les apports théoriques sur la dyscalculie, il est le document présentant les données scientifiques les plus récentes et validées. Ce document est destiné aux professionnels de santé et aux psychologues, mais parmi toutes les informations présentes certaines s'adressent aux enseignants. L'utilisation de ce document pour le public enseignant peut donc être questionnée. Les enseignants étaient demandeurs d'informations sur les notions à construire, la présentation d'un modèle théorique et la présence d'un lexique. Le document de la HAS cite le modèle du triple code comme référence pour les professionnels sans explication, il ne présente pas de lexique expliquant les termes techniques et n'aborde ni le développement numérique de l'enfant ni les notions à construire. Néanmoins, sur ce dernier point, un document se distingue également. Il s'agit des « fondements de la numératie : une trousse de données probantes destinée aux intervenantes en apprentissages des jeunes enfants » du Réseau canadien de recherche sur le langage et l'alphabétisation (2010). Très bien renseigné sur ce développement numérique et les notions à construire, il constitue la

partie manquante du document de la HAS.

Les limites de ce mémoire concernent les critères « activités de remédiations », « la conduite à tenir lorsque le diagnostic est posé » et « propositions d'aménagements » qui ont peu été développés d'un point de vue théorique. De plus la recherche Internet des documents existants est difficilement reproductible exactement car le moteur de recherche Mozilla tient compte des recherches précédemment effectuées. De même, la sélection des documents proposés par Internet suite à la combinaisons des différents mots-clés n'a pas été sans poser de difficultés. Le document Numératie, renvoyé par « trouble + apprentissage + numératie » a posé un dilemme. Il concerne le développement de la numératie sans aborder la dyscalculie. J'ai choisi de l'inclure dans mon étude de documents car, d'une part, il fait partie des documents que pourrait trouver un enseignant se renseignant sur la dyscalculie et, d'autre part, sa partie développement numérique de l'enfant de 4 mois à 6 ans correspond à la période étudiée dans l'analyse de la littérature scientifique. Enfin plusieurs documents traitaient du thème plus large des troubles des apprentissages au sein desquels se manifeste la dyscalculie, les pages concernant les autres troubles des apprentissages ont été exclues de l'analyse mais les éléments en rapport avec la définition des troubles des apprentissages ont été conservés.

En revanche, la force de ce mémoire est que l'étude des éléments d'un document à destination des enseignants a permis de démontrer en parallèle l'importance de l'implication des enseignants de l'enfant de maternelle dans la prévention de la dyscalculie par un repérage précoce puis la mise en place d'activités de remédiation ciblées. Alors seulement, si l'enfant présente des résistances, l'orientation vers un médecin s'impose, médecin qui pourra alors prescrire un bilan et une prise en charge orthophonique. Seulement, les enseignants semblent aujourd'hui être les moins formés et informés des éléments à repérer et des actions à mettre en place en retour et rares sont les documents ne recelant pas un manque d'objectivité, des informations obsolètes, ambiguës ou erronées. Ce mémoire voulait recenser les points nécessaires à considérer pour un document de prévention pour la pratique des enseignants concernant l'enfant de maternelle. Il semble être parvenu à démontrer que la synthèse de deux documents « Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? » (HAS, 2017) et « fondements de la numératie : une trousse de données probantes destinée aux intervenantes en apprentissages des jeunes enfants » (Réseau canadien de recherche sur le langage et l'alphabétisation, 2010), à laquelle une explication du triple code serait ajoutée, réunirait tous les éléments. Mais cette synthèse, pour être pertinente, demanderait une analyse du lexique en collaboration avec le monde enseignant. Cela pourrait constituer une suite à ce mémoire...

## Bibliographie

- Almaric, M., & Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(18), 4909-4917. doi : 10.1073/pnas.1603205113
- American Psychiatric Association. (2016). *Mini DSM-5® : Critères diagnostiques* (5e éd., p. 32-35). Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.
- Apedys. (2012). *Guide des aménagements pour élèves DYS Primaire et secondaire*. Repéré à <http://Apedys78.meabilis.fr/mbFiles/documents/guide-des-amenagements-pour-eleves-dys.pdf>
- Association Française de Parents d'Enfants et d'Adultes en Difficulté d'Apprentissage du langage écrit et oral. (2016). *Pédagogie et neuropsychologie Quelles stratégies pour les enseignants ?*. Repéré à <http://www.apeda-france.com/spip.php?article120>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2006). *La cognition mathématique chez l'enfant*. Solal.
- Becker, E., Bru, O., Come, M., & Sablier, C. (s.d.). *La dyscalculie ou les troubles logico-mathématiques*. Repéré à <http://guidespratiquesavs.fr/images/public/guidedyscalculie.pdf>
- Berteletti, I., Lucangeli, D., Piazza, M., Dehaene, S., & Zorzi, M. (2010). Numerical estimation in preschoolers. *Developmental psychology*, 46(2), 545. doi : 10.1037/a0017887
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child development*, 79(4), 1016-1031.
- Brannon, E. (2006). The representation of numerical magnitude. *Current opinion in Neurobiology*, 16(2), 222-229.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18. doi : 10.1111/j.1469-7610.2005.00374.x
- Caisse Nationale de Solidarité pour l'Autonomie. (2014). *Troubles Dys : Guide d'appui pour l'élaboration de réponses aux besoins des personnes présentant des troubles spécifiques du langage, des praxies, de l'attention et des apprentissages*. Repéré à [http://www.cnsa.fr/documentation/cnsa-dt-dys-web-corrige-mai\\_2015.pdf](http://www.cnsa.fr/documentation/cnsa-dt-dys-web-corrige-mai_2015.pdf)
- Camos, V. (2011). La cognition numérique chez l'animal et le bébé. *Calcul et dyscalculies :*

*Des modèles à la rééducation.* Paris : Elsevier Masson.

Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus*, 133(1), 59-68. doi : 10.1162/001152604772746701

Clements, D. H. (1984). Training effects on the development and generalization of Piagetian logical operations and knowledge of number. *Journal of educational psychology*, 76(5), 766.

Clements, D. H. (1999). Subitizing : What is it ? Why teach it ? *Teaching children mathematics*, 5(7), 400

Clements, D. H., Sarama, J., & DiBiase, A. M. (2004). *Engaging young children in mathematics : Standards for early childhood mathematics education.* Routledge.

Content, A. (2017). L'acquisition du nombre - perspectives actuelles. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°269 p 125-144).* Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.

Coridys. (s.d.). *Les troubles des apprentissages : La dyscalculie.* Repéré à <http://www.Coridys.fr/wp-content/uploads/2017/07/Plaque-dyscalculie-Coridys.pdf>

Crunelle, D. (2008). Les dys... Dyslexies et autres troubles. *Recherches : Troubles du langage et apprentissages*, 49, 49-58.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1), 1-42.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 487-506.

Dehaene, S. (2007). Symbols and quantities in parietal cortex : Elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. *Attention & performance XXII. Sensori-motor foundations of higher cognition*, ed. P. Haggard & Y. Rossetti, 52774.

Dehaene, S., Izard, V., Spelke, E., & Pica, P. (2008). Log or linear ? Distinct intuitions of the number scale in Western and Amazonian indigene cultures. *Science*, 320(5880), 1217-1220. doi : 10.1126/science.1156540

Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths : Quinze ans après.* Paris : Odile Jacob.

Dehaene, S. (2011). *The number sense : How the mind creates mathematics.* OUP USA.

Deshais, I., Miron, J., & Masson, S. (2015). Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 134, 39-45.

- Desoete, A., & Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and individual differences*, 16(4), 351-367. doi : 10.1016/j.lindif.2006.12.006
- Dias, T., & Deruaz, M. (2012). Dyscalculie : et si les enseignants reprenaient la main ?. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, (120-21), 529-534.
- Direction de l'Enseignement de Nouvelle Calédonie. (s.d.). *La dyscalculie*. Repéré à [https://denc.gouv.nc/sites/default/files/atoms/files/la\\_dyscalculie\\_version\\_word.pdf](https://denc.gouv.nc/sites/default/files/atoms/files/la_dyscalculie_version_word.pdf)
- Direction des Services Départementaux de l'Education Nationale de l'Aube. (2012). *Troubles logico-mathématiques et dyscalculies – ressources locales et pistes d'intervention*. Repéré à <https://ash62.etab.ac-lille.fr/fichiers/pedagogie/troubles/guidedyscalculies.pdf>
- Dispositif TSA. (s.d.). *Dyscalculie*. Repéré à [http://pedagogie.ac-toulouse.fr/lotec/EspaceGourdon/SPIP/IMG/pdf/PLAQUETTE\\_DYSCALCULIE.pdf](http://pedagogie.ac-toulouse.fr/lotec/EspaceGourdon/SPIP/IMG/pdf/PLAQUETTE_DYSCALCULIE.pdf)
- Dowker, A., & Sigley, G. (2010). Targeted interventions for children with arithmetical difficulties. *BJEP Monograph Series II, Number 7-Understanding number development and difficulties* (Vol. 65, No. 81, pp. 65-81). British Psychological Society.
- Etablissement Public Social et Médico Social Jacques-Cartier. (2011). *La dyscalculie*. Repéré à <http://www.jacquescartier22.com/images/pdf/pdf-dyscalculie.pdf>
- Fayol, M. (1990). *L'enfant et le nombre : du comptage à la résolution de problèmes*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Fayol, M. (2017). L'apport des recherches longitudinales à la cognition arithmétique. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°269 p 13-38)*. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- Fayol, M., Catier, M.A., & Bouvier, F. (2017). Une approche longitudinale des tout-débuts de l'arithmétique. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°270 p 37-50)*. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- Fédération des Associations Pour Adultes et Jeunes Handicapés. (2016). *Les troubles dys Parents et professionnel : Guide pour connaître, comprendre, être accompagné et accompagner les DYS*. Repéré à <http://Apajh.org/index.php/actualite-Apajh/1575-troubles-dys-lApajh-propose-des-cles-pour-un-meilleur-accompagnement>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314. doi : 10.1016/j.tics.2004.05.002

- First M. B., Crocq M. A., & Moraru R. M.. (2016). *DSM-5® : Diagnostics différentiels* (p. 171-172). Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.
- Fischer, J. P. (2011). Nouveaux éclairages sur l'écriture en miroir des enfants de l'école maternelle. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (175), 99-112. doi : 10.4000/rfp.3106
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. *Children's logical and mathematical cognition*, 1, 33-43.
- Gay, C. (s.d.). *La dyscalculie*. Repéré à [http://www.circ-ienash67.ac-strasbourg.fr/wp-content/uploads/2014/12/amenagements\\_dyscalculie.pdf](http://www.circ-ienash67.ac-strasbourg.fr/wp-content/uploads/2014/12/amenagements_dyscalculie.pdf)
- 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. doi : 10.1080/87565640801982361
- Geary, D. C., Bailey, D. H., & Hoard, M. K. (2009). Predicting mathematical achievement and mathematical learning disability with a simple screening tool : The number sets test. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 265-279. doi : 10.1177/0734282908330592.
- Gelman, R., & Gallistel, C. (1978). Young children's understanding of numbers. *Cambridge, MA*.
- Grégoire, J., & Van Nieuwenhoven, C. (1995). Counting at nursery school and at primary school : Toward an instrument for diagnostic assessment. *European journal of psychology of education*, 10(1), 61-75.
- Grisard, S. (2012). *Etat des lieux des aménagements pédagogiques et d'examens pour les jeunes dyscalculiques* (Mémoire d'orthophonie). Université de Lille.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia : Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 38(1), 25-33.
- Groupe ressource du Var pour les troubles spécifiques des apprentissages. (2007). *Dyscalculie*. Repéré à <https://ash62.etab.ac-lille.fr/fichiers/pedagogie/troubles/dyscalculies-ia-var.pdf>
- Guedin, N. (2017). Au regard des dernières données de la cognition numérique, quelles remédiations proposer pour des progrès sur les bancs de l'école ?. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°270 p 255-292)*. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.

- Guedin, N., Thevenot, C., & Fayol, M. (2017). Des doigts et des nombres. *Psychologie Française*. Sous presse. doi : 10.1016/j.psfr.2017.07.001
- Guilloux, R. (2009). *L'effet domino "Dys"*. Montréal : Chenelière Education.
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental psychology*, 44(5), 1457. doi : 10.1037/a0012682
- Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11116-11120. doi : 10.1073/pnas.1200196109
- Haute Autorité de Santé. (2008). *Élaboration d'un document écrit d'information à l'intention des patients et des usagers du système de santé : guide méthodologique*. Saint-Denis : H.A.S. Récupéré à : [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/elaboration\\_doc\\_info\\_patients\\_rap.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/elaboration_doc_info_patients_rap.pdf)
- Haute Autorité de Santé. (2017). *Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ?*. Repéré à [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2018-01/guide\\_tsla\\_vf.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2018-01/guide_tsla_vf.pdf)
- Habib, M. (2011). Neurologie des activités numériques et du calcul : un survol historique et anatomique. *Calcul et dyscalculies : Des modèles à la rééducation*. Paris : Elsevier Masson.
- Huntley-Fenner, G., & Cannon, E. (2000). Preschoolers magnitude comparisons are mediated by a preverbal analog mechanism. *Psychological Science*, 11(2), 147-152. doi :10.1111/1467-9280.00230
- INSERM. (2007). *Expertise collective : Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie*. Éditions de l'INSERM, Paris.
- Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé. (2009). *Troubles « dys » de l'enfant : Guide ressources pour les parents*. Repéré à <http://inpes.santepubliquefrance.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1276.pdf>
- Izard, V., Dehaene-Lambertz, G., & Dehaene, S. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. *PLoS biology*, 6(2), e11. doi : 10.1016/j.cognition.2007.06.004
- JASP Team. (2018). JASP (Version 0.8.5)[Computer software].
- Johansson, B. S. (2005). Number-word sequence skill and arithmetic performance.

*Scandinavian Journal of Psychology*, 46(2), 157-167.

- Kaufmann, L., Wood, G., Rubinsten, O., & Henik, A. (2011). Meta-analyses of developmental fMRI studies investigating typical and atypical trajectories of number processing and calculation. *Developmental neuropsychology*, 36(6), 763-787.
- Kervarrec, A. (2017). Appropriations mathématiques - Appropriation de soi. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°269 p 219-229)*. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- 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.
- 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. doi : 10.1016/j.neuroimage.2011.01.070
- Lacert P., Gérard C. L. (2001), Les troubles du calcul chez l'IMC. *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris, Masson, 1re éd., p. 213-223.
- Lafay, A., St-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2016). *Déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale* (Thèse de doctorat en médecine expérimentale, Université de Laval, Québec). Récupéré de Université de Laval : <http://www.theses.ulaval.ca/2016/32392/32392.pdf>
- Lafay, A., & Cattini, J. (2017). *Poster, Psychometric Analysis of Mathematic Assessment Tools Used with French-speaker Children*. Regina : Canadian Society for Brain, Behavior, and Cognitive Science. Récupéré de : [http://docs.wixstatic.com/ugd/a3414d\\_aa414648814847fa82dd0b4c4ba41662.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/a3414d_aa414648814847fa82dd0b4c4ba41662.pdf)
- Landais, C. (2016). *Elaboration d'une brochure d'information et de prévention concernant le trouble spécifique des apprentissages en mathématiques à destination des professeurs des écoles* (Mémoire d'orthophonie). Université de Bordeaux.
- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities : A study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93(2), 99-125.
- Legeay, M.-P., Morel, L. (2016). Les troubles du calcul et du raisonnement logicomathématique. *Intervention dans les troubles du langage écrit et raisonnement : les « dys » et autres*. Paris : Lavoisier.

- Lesecq, L. (2014). De l'intérêt du bilan psychométrique pour le diagnostic orthophonique. *Les entretiens de Bichat*.
- Levine, S. C., Suriyakham, L. W., Rowe, M. L., Huttenlocher, J., & Gunderson, E. A. (2010). What counts in the development of young children's number knowledge ?. *Developmental psychology*, *46*(5), 1309. doi : 10.1037/a0019671
- Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *35*(2), 283-292. doi : 10.1111/j.1469-7610.1994.tb01162.x
- 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. doi :10.1111/j.1467-7687.2011.01080.x.
- Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., & Nuerk, H. C. (2013). Walk the number line—An embodied training of numerical concepts. *Trends in Neuroscience and Education*, *2*(2), 74-84. doi :10.1016/j.tine.2013.06.005
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2011). Numerical ordering ability mediates the relation between number-sense and arithmetic competence. *Cognition*, *121*(2), 256-261. doi : 10.1016/j.cognition.2011.07.009
- Magnin, L., Poncet, S. (2012) : *Evolution des champs de compétences en orthophonie : Analyse historique à travers la presse spécialisée* (Mémoire d'orthophonie). Université de Lyon.
- Maloney, E. A., Risko, E. F., Ansari, D., & Fugelsang, J. (2010). Mathematics anxiety affects counting but not subitizing during visual enumeration. *Cognition*, *114*(2), 293-297. doi :10.1016/j.cognition.2009.09.013
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing : An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology : General*, *111*(1), 1.
- Mazeau, M., Pouhet, A. (2014). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant : Du développement typique aux "dys-"* (2e édition). Paris : Elsevier Masson
- Mazeau, M. (2017). Du logico-mathématique aux dyscalculies : quelles implications pratiques ?. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique* (n°270 p 13-36). Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child*

- development*, 82(4), 1224-1237. doi :10.1371/journal.pone.0023749
- Mazzocco, M. M., Murphy, M. M., Brown, E. C., Rinne, L., & Herold, K. H. (2013). Persistent consequences of atypical early number concepts. *Frontiers in psychology*, 4. doi : 10.3389/fpsyg.2013.00486
- Mazzocco, M. M., & Räsänen, P. (2013). Contributions of longitudinal studies to evolving definitions and knowledge of developmental dyscalculia. *Trends in neuroscience and education*, 2(2), 65-73. doi :10.1016/j.tine.2013.05.001
- Ménissier, A. (2017). Le rôle des contenus et des connaissances familiales dans la compréhension des difficultés en cognition mathématique. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°269 p 177-196)*. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (2013). Certificat de capacité d'orthophoniste - Annexe 2 Référentiel de compétences. Décret n° 2013-798. *Bulletin officiel de l'enseignement supérieur et de la recherche*. Récupéré du site de la Fédération Nationale des Orthophonistes : [http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/32/38/7/referentiel-competences-orthophoniste\\_267387.pdf](http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/32/38/7/referentiel-competences-orthophoniste_267387.pdf)
- Ministère de l'Education Nationale (2015). *Programme d'enseignement de l'école maternelle*. (Publication n° MENE1504759A). Récupéré du Ministère de l'Education Nationale : [http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin\\_officiel.html?cid\\_bo=86940#ecole](http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=86940#ecole)
- Ministère de l'Education Nationale (2017). *Eduscol : Programmes, ressources et évaluation pour le cycle 1*. Récupéré du site du Ministère de l'Education Nationale : <http://eduscol.education.fr/pid33040/programme-ressources-et-evaluation.html>
- Mission Mathématiques 76 (2012). *Dyscalculie : Ressources – Dys et mathématiques*. Repéré à [http://missionmaths76.spip.ac-rouen.fr/IMG/article\\_PDF/Dyscalculie\\_a46.pdf](http://missionmaths76.spip.ac-rouen.fr/IMG/article_PDF/Dyscalculie_a46.pdf)
- Molko, N., Wilson, A., & Dehaene, S. (2005). La dyscalculie développementale, un trouble primaire de la perception des nombres. *Revue française de pédagogie*, 41-47. doi :10.3406/rfp.2005.3362
- Mozilla Foundation. (2002). Firefox (Version 58.0) [Search Engine].
- Mussolin, C., Nys, J., & Leybaert, J. (2014). Symbolic number abilities predict later approximate number system acuity in preschool children. *PloS one*, 9(3), e91839. doi : 10.1371/journal.pone.0091839
- 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. doi : 10.3389/fnhum.2011.00165
- Northworthy, N., & Ansari, D. (2013). *Numeracy Screener*. Numerical Cognition Laboratory : University of Western Ontario. Repéré à l'url : <http://www.numeracyscreener.org/home.html>
- Ollagnon, P. (s.d.). *Calcul & dyscalculies*. Repéré à [http://lesdysponibles.weebly.com/uploads/1/1/5/3/11536339/calcul\\_\\_dyscalculies\\_.pdf](http://lesdysponibles.weebly.com/uploads/1/1/5/3/11536339/calcul__dyscalculies_.pdf)
- Park, J., & Brannon, E. M. (2013). Training the approximate number system improves math proficiency. *Psychological science*, 24(10), 2013-2019. doi :10.1177/0956797613482944
- Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, 44(3), 547-555.
- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2006). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron*, 53, 293-305. doi : 10.1016/j.neuron.2006.11.022
- Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., Dehaene, S., & Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33-41. doi :10.1016/j.cognition.2010.03.012
- Piazza, M., Pica, P., Izard, V., Spelke, E. S., & Dehaene, S. (2013). Education enhances the acuity of the nonverbal approximate number system. *Psychological science*, 24(6), 1037-1043. doi :10.1177/0956797612464057.
- Praet, M., & Desoete, A. (2014). Number line estimation from kindergarten to grade 2 : A longitudinal study. *Learning and Instruction*, 33, 19-28. doi :10.1016/j.learninstruc.2014.02.003
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child development*, 79(2), 375-394.
- Reeve, R., Reynolds, F., Humberstone, J., & Butterworth, B. (2012). Stability and change in markers of core numerical competencies. *Journal of Experimental Psychology : General*, 141(4), 649. doi : 10.1037/a0027520
- Reigosa-Crespo, V., González-Alemañy, E., León, T., Torres, R., Mosquera, R., & Valdés-

- Sosa, M. (2013). Numerical capacities as domain-specific predictors beyond early mathematics learning : A longitudinal study. *PLOS one*, 8(11), e79711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079711>
- Réseau canadien de recherche sur le langage et l'alphabetisation. (2010). *Les fondements de la numération : une trousse de données probantes destinée aux intervenantes en apprentissages des jeunes enfants*. Repéré à [http://www.enseignerauxrefugies.ca/multisites/ER/fichiers/Documents/Eleve/EY\\_NumeracyKit09\\_FRE.pdf](http://www.enseignerauxrefugies.ca/multisites/ER/fichiers/Documents/Eleve/EY_NumeracyKit09_FRE.pdf)
- Rotzer, S., Kucian, K., Martin, E., von Aster, M., Klaver, P., & Loenneker, T. (2008). Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 39(1), 417-422. doi :10.1016/j.neuroimage.2007.08.045
- Sarnecka, B. W., & Gelman, S. A. (2004). Six does not just mean a lot : Preschoolers see number words as specific. *Cognition*, 92(3), 329-352. doi :10.1016/j.cognition.2003.10.001
- Sarnecka, B. W., & Carey, S. (2008). How counting represents number : What children must learn and when they learn it. *Cognition*, 108(3), 662-674.
- Schleifer, P., & Landerl, K. (2011). Subitizing and counting in typical and atypical development. *Developmental science*, 14(2), 280-291. doi : 10.1111/j.1467-7687.2010.00976.x
- Schulz, P. (2016). Traitements des troubles psychiatriques selon le DSM-5 et la CIM-10 (Vol-3) (p 149-152). Bruxelles :De Boeck Supérieur.
- Shalev, R. S., Manor, O., & Gross-Tsur, V. (2005). Developmental dyscalculia : a prospective six-year follow-up. *Developmental medicine and child neurology*, 47(2), 121-125.
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation : Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological science*, 14(3), 237-250.
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child development*, 75(2), 428-444.
- Siegler, R. S., & Ramani, G. B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low-income children's numerical development. *Developmental science*, 11(5), 655-661. doi : 10.1037/a0014239
- Société française de pédiatrie. (2009). *Difficultés et troubles des apprentissages chez l'enfant à partir de 5 ans : guide pratique*. repéré à <http://solidarites->

sante.gouv.fr/IMG/pdf/Difficultes\_et\_troubles\_des\_apprentissages\_chez\_l\_enfant\_a\_partir\_de\_5\_ans.pdf

- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1995). The development of subitizing in young children. *British Journal of Developmental Psychology*, 13(4), 399-420.
- Stock, P., Desoete, A., & Roeyers, H. (2010). Detecting children with arithmetic disabilities from kindergarten : Evidence from a 3-year longitudinal study on the role of preparatory arithmetic abilities. *Journal of Learning Disabilities*, 43(3), 250-268. doi : 10.1177/0022219409345011
- Thevenot, C., & Masson, S. (2013). Améliorer les compétences numériques. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 123, 182-188.
- Thibaut, J. (2017). La qualité de vie des adultes dyscalculiques. *Rééducation Orthophonique*, 270, 197-229.
- Van Nieuwenhoven, C., Noël, M.-P., & Grégoire, J. (2001). *Tedi-math : Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques Manuel*. Paris : Editions du centre de psychologie appliquée ECPA.
- Van Nieuwenhoven, C., & De Vriendt, S. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : Pistes de diagnostic et supports d'intervention*. Marseille : SOLAL éditeur.
- Vilette, B., Mawart, C., & Rusinek, S. (2010). L'outil «Estimateur», la ligne numérique mentale et les habiletés arithmétiques. *Pratiques psychologiques*, 16(2), 203-214. doi :10.1016/j.prps.2009.10.002
- Vilette, B., Danet, M., & Dione, A. (2017). L'anxiété mathématique à l'école primaire et sa relation avec les performances scolaires. *Rééducation orthophonique : la cognition mathématique (n°269 p 197-218)*. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- Von Aster, M.G., & Shalev, R.S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49, 868-873.
- Wilson, A., & Dehaene, S. (2004). *Logiciel : La Course aux Nombres*. Repéré à : <http://www.lacourseauxnombres.com/nr/home.php>
- Wilson, A. (2005). *Guide des ressources sur la dyscalculie*. Repéré à <http://www.unicog.org/docs/DyscalculieGuidedeRessources.pdf>
- Wilson, A., & Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. *Human behavior, learning, and the developing brain : Atypical development*, 2, 212-237.

- Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O., & Fayol, M. (2009). Effects of an adaptive game intervention on accessing number sense in low-socioeconomic-status kindergarten children. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 224-234.
- Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive psychology*, 24(2), 220-251.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.
- Zorzi, M., Priftis, K., & Umiltà, C. (2002). Brain damage : neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417(6885), 138-139.

## ANNEXE 1

**Tableau 3. Evolution de la terminologie relative à la prise en charge des troubles de la cognition mathématique**

		N.G.A.P. concernant les actes d'orthophonie Titre IV (Actes portant sur le cou) , Chapitre 2 (Larynx) , Article 2 (Rééducation des tr. de la voix, de la parole, de la communication et du langage)
1963	Utilisation de la terminologie " <b>difficultés mathématiques</b> " dans les revues spécialisées telle que "Glossa" et "Rééducation Orthophonique" <b>Le terme "dyscalculie"</b> n'apparaîtra que vers 1970 (Magnin & Poncet, 2012)	
1972		Bilan d'aptitude à l'acquisition du langage oral ou écrit Rééducation de la pathologie du langage écrit, de la lecture, du <b>calcul</b> ou de l'écriture (JO du 31/03/1972, page 03297)
1983	...rééducation du langage écrit : dyslexie, dysorthographe, <b>dyscalculie</b> , dysgraphie (Décret n°83-766 du 24 août 1983, Art. 1er)	
2002	... rééducation des troubles du langage écrit (dyslexie, dysorthographe, dysgraphie) et des <b>dyscalculies</b> (Décret de compétences n°2002/721 du 2 Mai 2002 , Art. 3)	Bilan de la dyscalculie et des troubles du raisonnement logico-mathématique Rééducation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique
2013	Définition de l'orthophonie : Elle consiste à prévenir, à évaluer et à traiter les difficultés ou troubles. ... liées ... à la <b>cognition mathématique</b> . L'orthophonie s'attache aux dimensions plurielles du concept de langage.....dans toutes ses dimensions, notamment ... dimensions cognitives dépendantes des fonctions mnésiques, des fonctions exécutives, du <b>raisonnement</b> , des ressources attentionnelles et des cognitions sociales... (BO n°32 du 5 sept 2013)	Intitulé inchangé à celui ci-dessus
2018		Bilan de la dyscalculie et trouble de la cognition mathématique Rééducation des troubles du calcul et de la cognition mathématique (en négociation)

## ANNEXE 2

**Tableau 4. Extrait du livre « Engaging young children in mathematics : Standards for early Childhood education (Clements, Sarama, & Dibiase, 2004, p.178-183)**

Remarque : Les (●) indiquent l'âge moyen où les enfants apprennent une compétence.

Les (x) indiquent la tranche d'âge où les enfants apprennent normalement cette compétence.

		Ages approximatifs											
Sample of possible early childhood number and operations goals		2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*
	Represent and number small collections of one to four items without counting.												
1	Nonverbally subitize one or, perhaps, two items	x	●	x									
2	Verbally subitize and reliably and discriminately recognize (e.g., point to) collections of "one" and "two" or label such collections with the number word "one" or "two."	x	●	x									
3	Verbally subitize and reliably and discriminately recognize collections up to "four" or label such collections with a number word.		x	●	x								
	Represent and create small collections of one to four items without counting.												
4	Nonverbally produce one or, perhaps, two items.	x	●	x									
5	Quasi-verbal production of one or two items (e.g., responds to a verbal request for two items by subitizing and offering two items or by holding up two fingers).	x	●	x									
6	Nonverbal or quasi-verbal production of up to four items (e.g., responds to a verbal request for four items by subitizing and offering four items or by holding up four fingers).		x	●	x								
	String number words together to create the counting (by ones) sequence.												
7	Use a nonstandard sequence, such as "two five" or "twothreeeten"		●	x									
8	Start sequence with one, e.g., "one two."		●	x									
9	Cite numbers in the correct sequence to "ten."	x	x	●	x	x							
10	Use teen pattern to cite correct sequence to "nineteen."			x	x	●	x	x					
11	Use repeating patterns to cite correct sequence to "twenty-nine."				x	x	●	x	x				







## ANNEXE 3 Détails des résultats statistiques

### Independent Samples T-Test

	W	p
TR_SUSP	481.5	0.321
DIAG	451.5	0.645
AM_PROP	434.0	0.853
INFOS	442.5	0.379
DEF_TR	441.5	0.776
SIGN_ALERT	490.0	0.110
AMENAG	479.5	0.109
TR_ASSO	492.0	0.253

*Note.* Mann-Whitney U Test.

### Contingency Tables

NIVEAU	TR_SUSP		Total
	0	1	
elem	16	37	53
mat	7	9	16
Total	23	46	69

### Chi-Squared Tests

	Value	d f	p
X <sup>2</sup>	1.017	1	0.313
N	69		

### Contingency Tables

NIVEAU	DIAG		Total
	0	1	
elem	33	20	53
mat	11	5	16
Total	44	25	69

### Chi-Squared Tests

	Value	d f	p
X <sup>2</sup>	0.224	1	0.636
N	69		

Contingency Tables

NIVEAU	AM_PROP		Total
	0	1	
elem	12	41	53
mat	4	12	16
Total	16	53	69

Chi-Squared Tests

	Value	df	p
X <sup>2</sup>	0.038	1	0.845
N	69		

Contingency Tables

NIVEAU	INFOS		Total
	0	1	
elem	1	52	53
mat	1	15	16
Total	2	67	69

Chi-Squared Tests

	Value	df	p
X <sup>2</sup>	0.831	1	0.362
N	69		

Contingency Tables

NIVEAU	DEF_TR		Total
	0	1	
elem	21	32	53
mat	7	9	16
Total	28	41	69

Chi-Squared Tests

	Value	df	p
X <sup>2</sup>	0.087	1	0.768
N	69		

Contingency Tables

NIVEAU	SIGN_ALERT		Total
	0	1	
elem	5	48	53
mat	4	12	16
Total	9	60	69

### Chi-Squared Tests

---

	Value	df	p
X <sup>2</sup>	2.625	1	0.105
N	69		

---

### Contingency Tables

---

NIVEAU	AMENAG		Total
	0	1	
elem	3	50	53
mat	3	13	16
Total	6	63	69

---

### Chi-Squared Tests

---

	Value	df	p
X <sup>2</sup>	2.652	1	0.103
N	69		

---

### Contingency Tables

---

NIVEAU	TR_ASSO		Total
	0	1	
elem	18	35	53
mat	8	8	16
Total	26	43	69

---

### Chi-Squared Tests

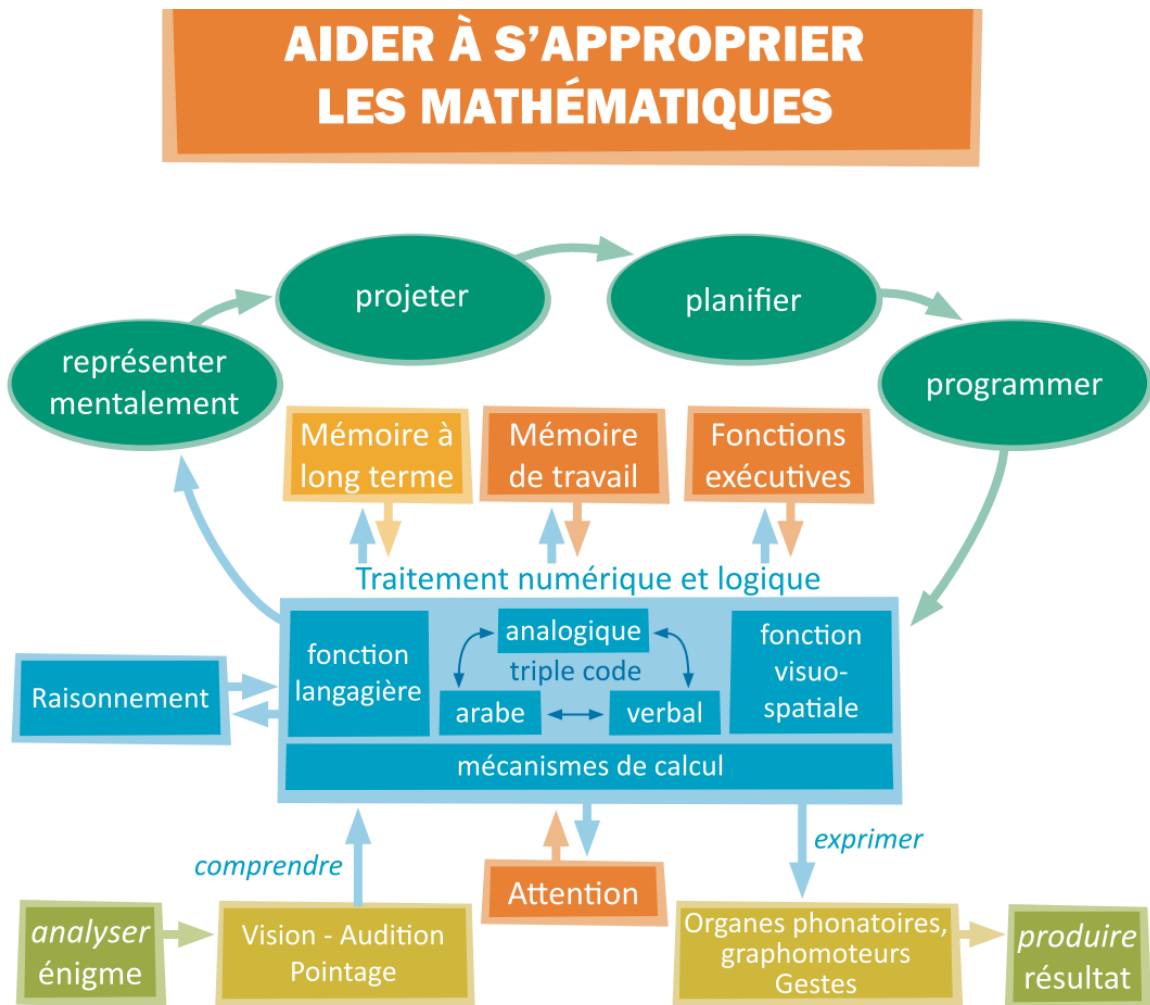
---

	Value	df	p
X <sup>2</sup>	1.346	1	0.246
N	69		

---

## ANNEXE 4

Extrait du livret « Pédagogie et neuropsychologie : Quelles stratégies pour les enseignants ? »  
(Samier & Jacques, 2016, p.52)



## **Titre du Mémoire :**

L'enfant de l'école maternelle à risque de dyscalculie : Eléments d'un document de prévention pour la pratique enseignante

---

### **RESUME**

La dyscalculie est un trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul dont l'origine serait cérébrale. Elle se diagnostique au stade formel des apprentissages mathématiques, mais des manifestations peuvent apparaître précocement à l'école maternelle. Les repérer et y remédier participe à la prévention. En effet, des études montrent que les compétences arithmétiques précoces en maternelle influencent les apprentissages ultérieurs et qu'il est possible de mettre en place des activités ciblées qui soient pertinentes et potentiellement efficaces. L'objectif de ce mémoire est de montrer s'il est possible de sélectionner, concernant l'enfant de maternelle à risque de dyscalculie, les éléments d'un document qui participeraient à la pratique enseignante. La méthodologie utilisée est l'étude de la littérature scientifique du développement numérique normal et pathologique et l'analyse de 19 documents existants dans le champ de la dyscalculie selon des critères issus de la Haute Autorité de Santé et des critères répondant aux besoins des enseignants. Les résultats montrent que des éléments concernant le document et sa réalisation, des éléments concernant la dyscalculie et des éléments plus spécifiques aux enseignants sont nécessaires. Une synthèse de deux documents « Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? » (HAS, 2017) et « Fondements de la numératie : une trousse de données probantes destinée aux intervenantes en apprentissages des jeunes enfants » (Réseau canadien de recherche sur le langage et l'alphabétisation, 2010) auxquels le modèle du triple code serait ajouté présenteraient tous ces éléments nécessaires aux enseignants.

---

### **MOTS-CLES**

apprentissages - cognition mathématique - enfants - enseignants - maternelle - nombre - prévention

---

### **ABSTRACT**

Dyscalculia is a specific learning disorder with impairment in mathematics whose origin would be cerebral. It is diagnosed at the stage of academic mathematical learning, but signs can appear early in kindergarten. Identifying them and remedying them contributes to prevention. Indeed, studies show that early arithmetic skills in kindergarten influence subsequent learning. The purpose of this thesis is to show if it is possible to select, for the kindergarten child at risk of dyscalculia, the elements of a document that would participate in the teaching practice. The methodology used is the study of the scientific literature of normal and pathological digital development and the analysis of 19 existing documents in the field of dyscalculia according to criteria from the High Authority of Health and criteria meeting the needs of teachers. The results show that elements concerning the document and its realization, elements concerning dyscalculia and elements more specific to teachers are necessary. A synthesis of two documents " Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? (HAS, 2017) and " Fondements de la numératie : une trousse de données probantes destinée aux intervenantes en apprentissages des jeunes enfants " (Canadian Language and Literacy Research Network, 2010) to which the triple code model would be added present all these necessary elements to the teachers.

---

### **KEY WORDS**

learning - numerical cognition - dyscalculia - children - teacher - kindergarten - number - prevention