

L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : inventaire critique des outils disponibles

Anne Lafay*, Marie-Catherine Saint-Pierre**, Joël Macoir**

* orthophoniste, candidate au doctorat Médecine Expérimentale

** orthophonistes, PhD

Université Laval, Faculté de médecine, Département de réadaptation, Québec, Canada
Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec, Canada

Auteur de correspondance :
anne.lafay.1@ulaval.ca

Résumé :

L'évaluation d'un enfant en difficulté mathématique comporte plusieurs étapes tout aussi importantes les unes que les autres : l'entretien d'anamnèse pour identifier les besoins de l'enfant et de sa famille ; l'évaluation des capacités mathématiques générales à l'aide d'outils standardisés pour objectiver les difficultés scolaires mathématiques ; et l'évaluation des habiletés numériques de base (c.-à-d. le traitement des quantités présentées dans les codes numériques analogique, arabe et oral) indispensable pour identifier la présence d'un trouble cognitif numérique et envisager le diagnostic de dyscalculie. Cette démarche évaluative permet de faciliter le diagnostic différentiel entre un enfant dyscalculique et un enfant en retard scolaire mathématique. Le présent article est une revue critique des outils francophones que les professionnels ont à leur disposition pour l'évaluation des capacités mathématiques générales ainsi que les outils pour l'évaluation cognitive des habiletés numériques de base.

Mots clés : cognition mathématique, évaluation, tests, diagnostic, dyscalculie.

The evaluation of the mathematical skills of the child: review and criticizes of available tools**Summary:**

The evaluation of a child with mathematical difficulties comprises several important steps: the history interview to identify the child and family complaint, the evaluation of general mathematical abilities with standardized tests to identify mathematic learning difficulties; and the evaluation of basic numerical skills (i.e. processing of quantities presented in the analog, Arabic and oral codes), which is essential to objectify the presence of a numerical cognitive disorder and to diagnose dyscalculia. This evaluation process facilitates the differentiation between children with delay in mathematical development and children with dyscalculia. This article is a critical review of French clinical tools for the assessment of general and basic numerical abilities.

Key words: mathematical cognition, assessment, tests, diagnosis, dyscalculia.

----- INTRODUCTION -----

D'après la définition du Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-V, American Psychiatric Association, 2013), la dyscalculie est définie comme un trouble du développement mathématique qui interfère fortement avec les activités de la scolarité et de la vie quotidienne impliquant des compétences numériques. Selon ce manuel, le niveau de l'enfant, évalué par des tests standardisés de calcul et de raisonnement, est significativement inférieur au niveau attendu pour son âge. La prévalence de la dyscalculie varie entre 1 à 10 % des enfants d'âge scolaire, selon les études (Dirks et al., 2008 ; Share et al., 1988 ; Badian, 1999 ; Barbaresi et al., 2005 ; Gross-Tsur et al., 1996 ; Lewis et al., 1994 ; Devine et al., 2013). Ces variations de prévalence peuvent être expliquées par plusieurs facteurs : l'âge des enfants, la langue et la culture de la population testée, les critères diagnostiques et le choix des tests d'évaluation. Les troubles dyscalculiques, qui interfèrent avec les apprentissages scolaires de façon durable (Gross-Tsur et al., 1996 ; Shalev et al., 1998 ; Shalev et al., 2005), pourraient alors persister jusqu'à l'âge adulte, conduire à la marginalisation et la stigmatisation des enfants et conditionner même l'insertion sociale et professionnelle future (INSERM, 2007).

L'évaluation d'un enfant en difficulté mathématique comporte plusieurs étapes tout aussi importantes les unes que les autres. D'abord, l'entretien d'anamnèse, conduit en début d'évaluation, permet au professionnel d'identifier les besoins de l'enfant et de sa famille, de même que les répercussions scolaires et quotidiennes des difficultés mathématiques. Il lui permet aussi d'orienter l'évaluation quantitative des capacités mathématiques. Parce que la dyscalculie est d'abord décrite comme un trouble du développement mathématique (DSM-V, 2013), l'évaluation des capacités mathématiques générales permet ensuite d'objectiver les difficultés scolaires rencontrées à l'aide d'outils standardisés. Enfin, l'évaluation des habiletés numériques de base, et plus particulièrement le traitement des quantités exprimées par les codes numériques analogique, arabe, et oral et de leurs liens avec les représentations numériques mentales, permet, par sa précision, d'identifier la présence d'un déficit cognitif numérique chez l'enfant évalué. La dyscalculie primaire est principalement expliquée par un déficit cognitif numérique du *sens du nombre* et/ou de l'accès au *sens du nombre* via les codes symboliques numériques (cf. Lafay et al. (2014) pour une revue sur les déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale) et cette évaluation est donc indispensable pour identifier la présence d'un trouble cognitif numérique et poser le diagnostic de dyscalculie. Elle permet ainsi de faire le diagnostic différentiel entre un enfant dyscalculique et un enfant en retard scolaire mathématique et, dans un but ultime, d'adapter au mieux la rééducation des enfants dyscalculiques.

L'évaluation mathématique requiert ainsi d'utiliser des outils standardisés et normalisés. Toutefois, les tests sont très souvent méconnus des cliniciens. De plus, ces outils n'évaluent pas tous les mêmes habiletés mathématiques et de la même façon. Certains évaluent les mêmes compétences alors que d'autres, au contraire, sont complémentaires. Il requiert donc de les connaître précisément afin de pouvoir planifier, pour chaque enfant de tout âge, une évaluation complète et choisir ainsi les outils adéquats à ce que l'on souhaite évaluer.

Dans cet article, nous présentons une revue critique des outils en langue française disponibles pour l'évaluation des capacités mathématiques générales et l'évaluation cognitive des habiletés numériques de base de l'enfant.

----- METHODE -----

La recherche documentaire a porté sur les outils d'évaluation des capacités mathématiques pour la population pédiatrique francophone. Ces outils ne sont pas référencés dans les bases de données scientifiques et la recherche a donc été effectuée en consultant les catalogues des grandes maisons d'édition de tests (ECPA, Pearson) et des maisons d'édition spécialisées dans le matériel orthophonique (Orthomotus, Orthopratic, Cogilud). Cette recherche a mené au repérage de vingt-cinq outils édités de 1990 jusqu'en juin 2014.

1. Outils pour l'évaluation des capacités mathématiques générales : objectiver les difficultés scolaires mathématiques

L'ensemble des outils pour l'évaluation des capacités mathématiques générales a été normé sur des populations d'enfants variant en taille d'échantillon (entre deux cents quatre-vingt quatorze et mille six cents enfants) et en âge (de trois à dix-huit ans). Le tableau 1 présente les outils d'évaluation mathématique, en particulier les échelles d'intelligence (comportant des épreuves mathématiques) et tests pédagogiques de rendement scolaire, en fonction de leur pays de création, du nombre d'enfants évalués pour établir les données de référence et de l'étendue d'âge de la normalisation.

Nom du test ou de la batterie	Normalisation		Age
	Pays / Langues	Échantillon de normalisation	
<i>Les échelles d'intelligence</i>			
Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant - deuxième édition (K-ABC) (Kaufman et Kaufman, 2008)	France	1200	3 à 12 ans 11 mois
Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC-IV) (Wechsler, 2005b)	Canada francophone	1103	6 à 16 ans 11 mois
Nouvelle échelle métrique de l'intelligence (NEMI-2) (Cognet, 2006)	France	837	4 ans 6 mois à 12 ans 6 mois
<i>Les tests pédagogiques de rendement scolaire</i>			
KeyMaths-3 (Connolly, 2008)	Canada francophone	1600	4 ans et demi à 18 ans
Kortrijkse Rekestest Revisie (KRT-R) (Baudonck et al., 2006)	Pays-Bas (Néerlandais mais traduit en français)	1000	6 à 11 ans et demi
Wechsler Individual Achievement Test, 2ème édition (WIAT-II) (Wechsler, 2005a)	Canada francophone (Québec)	294	6 à 17 ans
BATELEM (Savigny, 2001)	France	1200	5 à 8 ans
Tests pédagogiques de premier cycle primaire (Peda 1C) (Simonart, 1998b)	Belgique	364	6 à 8 ans
ÉCHelle des Apprentissages Scolaires (ECHAS) (Simonart, 1998a)	Belgique	1013	8 à 11 ans
Test d'Acquisitions Scolaires mathématiques (TAS) (Riquier, 1997)	France	1000	7 à 12 ans

Tableau 1. Echelles d'intelligence et tests pédagogiques mathématiques de rendement scolaire en langue française.

a. Les échelles d'intelligence

Les échelles d'intelligence comportent très souvent un subtest de mathématique qui permet d'attirer l'attention des psychologues ou neuropsychologues quant à d'éventuelles difficultés mathématiques. Parmi ces échelles, le **WISC-IV (Wechsler Intelligence Scale for Children ; Wechsler, 2005b)** fournit un indice du développement des capacités intellectuelles pour les enfants de 6 à 16 ans et 11 mois. Elle comprend le subtest " Arithmétique " qui évalue la représentation mentale de situations concrètes et des opérations qui en découlent. L'enfant doit ainsi résoudre mentalement, dans un temps limité, des problèmes arithmétiques tels que " tu as 15 sucres, tu en manges 3 ; combien t'en reste-t-il ? ". Le **KABC-II (Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant – 2^{ème} édition)** est également une batterie pour l'examen psychologique de l'enfant de 3 ans à 12 ans 11 mois (Kaufmann, Kaufmann, 2008) qui comporte un subtest " Arithmétique " destiné à évaluer la connaissance des chiffres et la capacité à compter et calculer. Enfin, la **NEMI-2, Nouvelle échelle métrique de l'intelligence** pour les enfants de 4 ans 6 mois à 12 ans 6 mois (Cognet, 2006) comporte une épreuve " Comptage de cubes " dans laquelle l'enfant doit identifier le nombre de cubes sur chacune des huit images comportant plusieurs cubes agencés et dessinés en perspective.

Les épreuves mathématiques des échelles d'intelligence permettent d'alerter le clinicien sur d'éventuelles difficultés mathématiques. Pour autant, notons que si aucune difficulté n'est remarquée lors de ces subtests, cela ne signifie pas que l'on puisse conclure à l'intégrité complète des habiletés mathématiques de l'enfant. Ces subtests ne fournissent aucune information précise sur l'intégrité ou l'atteinte des habiletés mathématiques.

b. Les tests pédagogiques de rendement scolaire

Il existe quelques batteries de tests pédagogiques qui permettent d'évaluer les compétences mathématiques d'un enfant en fonction de son niveau scolaire. Les contenus du **Test d'Acquisitions Scolaires mathématiques (TAS-R)** (Riquier, 1997) sont basés sur les programmes scolaires officiels de 1995 et 1997. Il permet d'évaluer les connaissances en mathématiques des enfants français des cycles élémentaires jusqu'au début du collège. Le **BATELEM** (Savigny, 2001) est une batterie de tests scolaires de langage, lecture et mathématiques et qui permet de situer l'enfant par rapport à une norme nationale. Il teste l'acquisition de la comptine numérique en maternelle et première année de primaire en demandant à l'enfant de dénombrer des collections de moins de dix éléments et de compter de 20 à 38. D'autres épreuves demandent d'égaliser et de comparer des collections. La batterie de **Tests pédagogiques de premier cycle primaire (Peda 1C)** (Simonart, 1998b) permet de situer la progression de l'élève belge francophone et son évolution pour tous les apprentissages fondamentaux à cette période clé du début de la scolarisation. Elle comporte une évaluation des mathématiques (calculs mentaux, avec ou sans utilisation de matériel et des doigts, de calculs lacunaires, de passage du matériel concret au codage écrit d'opérations, de mise en situation problèmes) pour les enfants de 1^{ère} et 2^{ème} année de primaire. L'**Échelle des Apprentissages Scolaires (ECHAS)** (Simonart, 1998a) est un outil d'évaluation des acquis pédagogiques des enfants belges de 8 à 11 ans. Administrée en groupe, cette échelle comporte une partie " mathématique " qui évalue les nombres et les opérations (calculs divers et conversions de mesures), les problèmes (trois problèmes à résoudre), la géométrie (portant sur la construction d'un triangle) et le calcul écrit (résolution écrite d'une opération pour chacune des quatre opérations). Le test **Kortrijkse Rekentest Revisie (KRT-R)** (Baudonck

et al., 2006) est un test néerlandais, traduit en français, pour les enfants de 6 à 11 ans et demi. Ce test, non étalonné, comporte une partie de calcul mental (différentes opérations, calculs lacunaires, etc.) et une partie de numération (écriture de nombres, suite des nombres, questions de vocabulaire, etc.). La **batterie KeyMath 3 – Edition canadienne** (Connolly, 2008) permet d'évaluer les compétences en mathématiques des enfants canadiens francophones de 4 ans et demi à 18 ans. Cette batterie est composée de treize subtests répartis en trois sections : les concepts de base (numération, algèbre, géométrie, mesures, analyses de données), les quatre opérations (calcul mental et estimation, addition et soustraction, multiplication et division) et la mise en application (résolution de problèmes). Il s'agit d'une batterie qui couvre l'ensemble des concepts et habiletés enseignés au programme régulier francophone du Canada. Enfin, le **Wechsler Individual Achievement Test, 2^{ème} édition (WIAT-II ; Wechsler, 2005a)** est un test de rendement scolaire pour les enfants québécois de 6 à 17 ans qui évalue les aptitudes de calcul et de raisonnement.

c. Critiques

En résumé, ces tests et batteries permettent d'évaluer les compétences d'un enfant en fonction des compétences attendues acquises à son niveau scolaire. Ils permettent donc de répondre au premier critère du DSM 5 (2013) : établir, par l'utilisation de tests standardisés, que l'enfant présente un niveau significativement inférieur au niveau attendu en fonction de son âge. Cependant, ces tests ne sont basés sur aucun modèle théorique et ne permettent ni de conclure à un diagnostic de dyscalculie, ni même de décrire les difficultés spécifiques de l'enfant. Ceci étant, l'étape suivante de l'évaluation est donc de caractériser, à l'aide de diverses tâches, le profil des difficultés mathématiques de l'enfant. La section suivante porte ainsi sur les outils à disposition des professionnels pour évaluer les différents domaines mathématiques.

2. Outils pour l'évaluation des capacités mathématiques générales : caractériser les difficultés scolaires mathématiques

L'ensemble des batteries d'évaluation disponibles a été normé sur des populations d'enfants variant en taille d'échantillons (entre 132 et 583 enfants) et en âge (de trois ans et demi à quinze ans). Notons toutefois que certaines batteries décrites ci-dessous ne sont ni standardisées, ni normées et que seule une analyse qualitative est donc possible. Le tableau 2 présente l'ensemble des outils d'évaluation mathématique qui seront décrits et analysés en fonction de leur pays de création, du nombre d'enfants évalués pour établir les données de référence et de l'étendue d'âge de la normalisation.

Nom du test ou de la batterie	Normalisation		Âge
	Pays / Langues	Échantillon de normalisation	
Exalang 8-11 (Thibault et al., 2012)	France	509	8 à 11 ans
Exalang 11-15 (Thibault et al., 2009)	France	370	11 à 15 ans
Epreuve de décision logique (Ménissier, 2011)		Sans étalonnage	
MathEval (Heremans, 2011)	Belgique francophone	<i>En cours</i>	5 à 8 ans
Batterie d'Exploration du Raisonnement et du Langage Associé (ERLA) (Legeay et al., 2009)		Sans étalonnage	
Bilan logico-mathématique, cycle 2 (B-LM) (Métral, 2008)	France	298	5 à 8 ans
Zareki-R (Dellatolas et Von Aster, 2006)	France	250	6 à 11 ans et demi
Exalang 3-6 (Thibault, Helloin, 2006)	France	500	3 à 6 ans
Protocole du calcul élémentaire (Ménissier, 2003)		Sans étalonnage	
Nouvelles Epreuves d'Examen du Langage (N-EEL) (Chevrie-Muller, Plaza, 2001)	France	541	3 ans 7 mois à 8 ans 7 mois
Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001)	France et Belgique francophone	583	5 à 8 ans
Numerical (Gaillard, 2000)	Suisse	293	7 à 10 ans
Utilisation du nombre, version 2 (UDN 2) (Meljac, Lemmel, 1999)	France	420	4 à 11 ans
Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation (Koppel, 1998)		Sans étalonnage	
Epreuves Conceptuelles de résolution des Problèmes Numériques (ECPN) (de Barbot et al., 1995)	France	132	5 à 8 ans

Tableau 2. Outils d'évaluation mathématique en langue française.

Le tableau 3 présente l'ensemble des outils d'évaluation mathématique en fonction des domaines mathématiques évalués.

Nom du Test ou de la batterie	Age	Domaines mathématiques						
		Comptine numérique et comptage	Dénombrement	Numération décimale	Transcodage	Calcul	Vocabulaire mathématique	Résolution de problèmes
Exalang 8-11	8 à 11						X	X
Exalang 11-15	11 à 15							X
Epreuve de décision logique	/						X	
MathEval	5 à 8	X	X		X	X		
ERLA	/	X	X		X			X
B-LM	5 à 8		X	X	X	X		X
Zareki-R	6 à 11 ½	X	X		X	X		X
Exalang 3-6	3 à 6		X				X	
Protocole du calcul élémentaire	/					X		
N-EEL	3 à 8						X	
Tedi-Math	5 à 8	X	X	X	X	X		
Numerical	7 à 10	X	X		X	X	X	
UDN 2	4 à 11	X			X	X	X	
Difficultés en mathématiques évaluation et rééducation	/			X	X	X	X	X
ECPN	5 à 8	X	X				X	

Tableau 3. Outils d'évaluation mathématique selon les domaines évalués.

a. Evaluation de la comptine numérique et du comptage

La comptine numérique est une des premières habiletés mathématiques que l'enfant développe. Elle consiste à énoncer oralement la suite ordonnée et croissante des nombres entiers positifs en commençant généralement à 1. Les batteries de tests comprennent fréquemment des épreuves évaluant la connaissance de la comptine et la capacité de comptage. La **batterie ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé ;** Legeay et al., 2009), non normée, comporte des épreuves de comptage par pas de deux et de trois, à rebours, d'un nombre à un autre, etc. Ces épreuves comprennent des niveaux d'arrêts selon les attentes à chaque niveau scolaire. Il s'agit cependant de repères et seule une analyse qualitative est possible puisqu'aucune normalisation n'est disponible pour cette batterie. Tout comme ERLA, l'**UDN 2 (Utilisation Du Nombre ;** Meljac, Lemmel, 1999) est une batterie de tests guidée par le modèle structuraliste de Piaget qui comporte une épreuve intitulée "Connaissances" qui consiste à demander à l'enfant jusqu'où il sait compter et de réciter la suite numérique. Les **Epreuves Conceptuelles de résolution des Problèmes Numériques (ECPN ;** de Barbot et al., 1995) comportent plusieurs épreuves dans lesquelles l'enfant doit comprendre des consignes et manipuler des objets. Elles permettent ainsi d'observer qualitativement la connaissance de la comptine numérique des enfants de 5 à 8 ans. La batterie informatisée **MathEval** (Heremans, 2011), qui s'appuie sur des recherches en psychologie cognitive et neuropsychologie, a pour objectif premier de repérer les enfants potentiellement dyscalculiques. Cette batterie, en cours de normalisation, s'adresse aux enfants de 4 à 8 ans et comporte plusieurs modules numériques et pré-numériques, dont des épreuves de comptage telles que compter le plus loin possible, compter par pas de deux, par pas de cinq, par pas de dix, à l'envers en partant de 9 et de 16. Le **Zareki-R** (Dellatolas, Von

Aster, 2006) est un outil de dépistage des troubles du calcul et du traitement des nombres destiné aux enfants du primaire âgés de 6 ans à 11 ans et 6 mois. Il comporte une épreuve de comptage à rebours en partant de 23, puis à rebours de 67 à 54. La normalisation de ce test a cependant été réalisée auprès de 250 enfants dont plus de la moitié provenait d'écoles en Zone d'Education Prioritaire (c'est-à-dire des zones dans lesquelles sont situés des établissements scolaires dotés de moyens supplémentaires pour faire face à des difficultés d'ordre scolaire et social dans le but de lutter contre l'échec scolaire) et dont presque un tiers était en situation de bilinguisme (i.e. communication à la maison dans une autre langue que le français). Il est donc possible que les normes présentées soient non représentatives de la population française globale et que les résultats au test puissent mener à des erreurs de diagnostic. **Numerical** (Gaillard, 2000) est une batterie d'évaluation du calcul et du traitement des nombres pour les enfants de 7-8 à 9-10 ans, basée sur le modèle neurocognitif de McCloskey et al. (1985). Elle comporte deux épreuves de comptine et de comptage. L'épreuve "Comptine" consiste à demander à l'enfant de compter de un en un jusqu'à 31, compter de trois en trois jusqu'à 21, compter les dizaines jusqu'à 100, compter à rebours depuis 22. L'épreuve "Suite digitale" exige de l'enfant d'écrire la suite numérique des nombres en code arabe de 137 à 148, de 362 à 373, à rebours de 362 à 351. Il s'agit d'une épreuve très originale, proposée dans nulle autre batterie. Enfin, le **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) est un outil diagnostique des troubles d'apprentissages en mathématiques qui permet, selon les auteurs, de détecter les difficultés qui surviennent au cours des premiers apprentissages du nombre et du calcul chez les enfants de 5 à 8 ans. Cette batterie intègre les acquis de la théorie piagétienne du nombre mais aussi des connaissances plus récentes en neuropsychologie et en psychologie cognitive. Cinq domaines de compétences numériques sont ainsi examinés, dont une épreuve de comptage : compter le plus loin possible à partir de 1, compter avec une borne supérieure (ex., compter jusqu'à 9), compter avec une borne inférieure (ex., compter à partir de 7), compter avec une borne inférieure et une borne supérieure (ex., compter de 5 à 9), compter à rebours (ex., compter à l'envers en commençant par 7) et compter par pas (ex., compter de 2 en 2).

De manière générale, l'ensemble des épreuves incluses dans ces tests et batteries permettent d'avoir un aperçu assez clair de la connaissance de la comptine numérique et des habiletés de comptage des enfants de 5 à 10 ans.

b. Evaluation du dénombrement

Le dénombrement est une habileté mathématique, différente de la comptine numérique et du comptage, qui consiste à "compter" (dénombrer) des objets pour identifier le nombre cardinal. Les batteries de tests mathématiques comportent très souvent des épreuves de dénombrement. La **batterie ERLA** (Legeay et al., 2009) comporte plusieurs épreuves d'évaluation du dénombrement à l'aide de collections mobiles (cubes) ou de collections fixes (images), disposées aléatoirement ou ordonnées, de plus ou moins grande taille. La dernière planche de l'épreuve permet l'évaluation de la compréhension du principe de non pertinence de l'ordre (i.e. principe de Gelman et Gallistel (1978) qui stipule que les unités peuvent être comptées dans n'importe quel ordre). L'enfant doit dénombrer un ensemble de jetons et il lui est demandé combien de jetons il y aurait si l'on commençait à compter de l'autre côté de la feuille (i.e., en commençant à pointer les objets par la droite au lieu de la gauche). Les **ECPN** (de Barbot et al., 1995) permettent également d'observer les habiletés de dénombrement des enfants. Par exemple, il est demandé à l'enfant d'observer les jetons que l'on a donnés à chaque animal de la situation ; c'est alors le moment d'observer si l'enfant utilise le nombre pour décrire la situation, s'il utilise le dénombrement pour identifier le nombre de jetons, s'il

connaît la comptine numérique, s'il pointe correctement chaque jeton, etc. Le dénombrement peut également être évalué par le **MathEval** (Heremans, 2011) à l'aide d'une tâche de production (l'enfant doit indiquer le nombre de points affichés à l'écran d'ordinateur pour deux items (9 et 19)) et d'une tâche de jugement (l'enfant doit juger si le résultat est le même si l'on compte les vingt points de gauche à droite ou de droite à gauche). La **batterie B-LM** (Métral, 2008) est basée sur le modèle structuraliste de Piaget et permet d'évaluer les structures logiques pour la construction du nombre, chez les enfants de 5 à 8 ans. Elle comprend quelques épreuves mathématiques dont une épreuve de dénombrement dans laquelle l'enfant doit indiquer combien il y a de points dessinés sur des planches (cinq, six, sept et huit points). Dans la batterie **Exalang 3-6** (Thibault, Helloin, 2006), l'enfant est amené à dénombrer des ensembles pour répondre à des questions telles que " Combien de lapins ? " ou " Montre-moi deux chats pareils ". Le test **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte une épreuve de dénombrement de points dessinés de manière canonique (comme sur un dé : 5, 6), aléatoire (5, 6, 11) ou linéaire (13) sur une planche. L'enfant est également invité à désigner chaque point et à dire à haute voix les nombres correspondants, permettant ainsi au professionnel d'observer la maîtrise du pointage, de la comptine numérique, de la coordination oro-manuelle et de l'organisation du comptage. Le **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte une épreuve visant à évaluer les habiletés de dénombrement. Par exemple, il est demandé à l'enfant de dénombrer des collections d'objets disposés aléatoirement ou de façon linéaire, de produire une collection de jetons à partir d'une collection modèle, etc. Enfin, dans le **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006), l'enfant est amené à : dénombrer librement trois collections (de treize, cinq et quinze points) et à donner sa réponse verbalement ; dénombrer trois collections (de dix, huit et dix-huit points) avec la contrainte de désigner chaque point et de dire les nombres à voix haute, et donner sa réponse finale en écrivant les nombres en code arabe.

Ainsi ces épreuves permettent d'avoir un aperçu assez clair des habiletés de dénombrement des enfants de 5 à 10 ans. Seules les batteries ERLA et MathEval proposent une épreuve de jugement de dénombrement, mais ne comportent toutefois qu'un item chacune. Ce type d'épreuves, comprenant davantage d'items, pourrait être tout à fait pertinent à développer et utile pour vérifier la compréhension des principes de dénombrement chez des enfants en déficit de production dû à des difficultés de comptine numérique, de pointage gestuel ou visuel, de coordination ou même d'organisation du comptage.

c. Evaluation de la numérotation décimale

Pour pouvoir manipuler les nombres dans toute la sphère des mathématiques (par exemple, réaliser des calculs, résoudre des problèmes, etc.), l'enfant doit comprendre le système de numération écrite basé sur une base dix et un système de position (chaque position d'un chiffre est reliée à la position voisine par un multiplicateur ; ex. le 6 dans 167 signifie $6 \times 10 = 60$). Dans la batterie de tests présentée dans l'ouvrage **Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation** (Koppel, 1998), la partie " Compréhension de la transcription du nombre au-delà de neuf - niveau supérieur à A " comporte deux questions portant sur la numération décimale (ex., quel chiffre représente les dizaines ? 7 représente quel nombre dans le nombre 3742 ?). La **batterie B-LM** (Métral, 2008) permet d'évaluer la numération à l'aide des tâches suivantes : l'enfant doit tout d'abord dénombrer une collection de jetons et écrire le nombre correspondant en code arabe ; il lui est ensuite demandé oralement ce qu'est une unité et ce qu'est une dizaine, de montrer dans le nombre le chiffre des unités et celui des dizaines ; enfin, il doit donner le nombre de jetons correspondant à n (le nombre des unités) et à m (le

nombre de dizaines). Enfin, le **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte deux subtests visant à évaluer la compréhension du système de numération. Dans le subtest “Reconnaissance des unités et des dizaines”, l’enfant est invité à entourer le chiffre des unités et à entourer le chiffre des dizaines dans cinq nombres de deux à trois chiffres. Dans le subtest “Système en base 10”, l’enfant doit, par manipulation ou non, identifier combien il y a de bâtonnets lorsqu’on lui présente un ensemble de paquets de dix bâtonnets et de bâtonnets seuls, ou combien on doit donner de pièces de dix euros et de un euro pour produire une certaine somme.

Ainsi ces épreuves permettent d’évaluer le vocabulaire et la compréhension du système de numération chez les enfants de 5 à 8 ans. Toutefois, elles comportent un nombre très restreint d’items et il n’existe aucune épreuve normée pour les enfants plus âgés que l’âge de 8 ans.

d. Evaluation des transcodages numériques

Des épreuves de lecture et de dictée de nombres sont fréquemment présentes dans les batteries de tests. Elles permettent d’évaluer le passage du code oral au code arabe des nombres (dictée) et inversement (lecture). D’autres transcodages existent, mais sont moins souvent évalués : le passage du code arabe au code alphabétique (transcodage arabe-alphabétique) et inversement (transcodage alphabétique-arabe), le passage du code oral au code alphabétique (transcodage oral-alphabétique) et inversement (transcodage alphabétique-oral). Dans la batterie **Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation** (Koppel, 1998), l’“épreuve de nombre” comporte une partie intitulée “Compréhension de la transcription du nombre au-delà de neuf - niveau supérieur à A” qui consiste en une dictée de quelques nombres de trois à cinq chiffres. De plus, le test a pour objectif d’évaluer la connaissance des nombres comportant des assonances (tels que 24, 80 et 42) ou les nombres avec des dizaines particulières (tels que 72, 93 et 82). Selon le manuel du test, il est attendu que les enfants de 8 ans réussissent cette épreuve, mais aucune normalisation n’est disponible et seule une analyse qualitative peut donc être effectuée. La batterie **ERLA** (Legeay et al., 2009) comporte également des épreuves de transcodage numérique qui comportent toutes quinze stimuli, de un à huit ou neuf chiffres selon la classe de l’enfant : dictée de nombres en code arabe ; lecture de nombres arabes ; transcodage du code alphabétique au code arabe ; transcodage du code arabe au code alphabétique. Le test **MathEval** (Heremans, 2011) comprend deux épreuves destinées à l’évaluation du transcodage : (a) tâche d’appariement entre un nombre entendu et un nombre arabe, impliquant donc la lecture de dix nombres arabes de un à six chiffres ; l’enfant entend alors un nombre oral et doit choisir, parmi plusieurs, le nombre arabe correspondant et (b) écriture sous dictée de vingt-deux nombres arabes de un à six chiffres (épreuve qui peut être administrée en groupe). L’**UDN 2** (Meljac, Lemmel, 1999) comporte une tâche de lecture de seize nombres et une dictée de dix-sept nombres de un à cinq chiffres. La batterie **B-LM** (Métral, 2008) comporte des épreuves de lecture et de dictée de dix-neuf nombres de un à quatre chiffres chacune, incluant des primitives lexicales (1 à 9), les multiples de dix, des nombres comprenant un zéro interne, des nombres répondant aux règles additives et/ou multiplicatives. Le **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte aussi des épreuves de lecture et de dictée de huit nombres de deux à quatre chiffres. Le subtest “transcodage” du **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) permet d’évaluer la lecture et l’écriture de quarante nombres de un à trois chiffres, incluant des primitives lexicales (par exemple, 4), des nombres comprenant un ou plusieurs zéros (par exemple, 700 et 102), des nombres comprenant des dizaines particulières (par exemple, 73 et 92). Le test **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte plusieurs subtests évaluant le transcodage : une dictée de dix

nombre de deux à six chiffres et une lecture de treize nombre de un à six chiffres ; un transcodage alphabétique-arabe de huit nombre de deux à quatre chiffres et un transcodage arabe-alphabétique de cinq nombre de deux à quatre chiffres) ; un transcodage oral-alphabétique de cinq nombre de trois et quatre chiffres et un transcodage alphabétique-oral de cinq nombre de deux à quatre chiffres. Pour chacun des tests, les auteurs ont pris soin d'intégrer des nombre comportant des zéros, des primitives lexicales, des nombre construits selon les règles additives et multiplicatives. Ce test comprend aussi l'épreuve originale " Bonne écriture " qui évalue la capacité à passer d'un code numérique à un autre sans requérir de production. Dans cette épreuve, cinq nombre de trois et quatre chiffres sont présentés oralement un à un à l'enfant qui doit sélectionner le nombre arabe correspondant parmi un choix de nombre.

Ainsi, l'ensemble de ces épreuves permet une évaluation précise des habiletés de transcodage de l'enfant jusqu'à 11 ans. On y retrouve des épreuves impliquant le transcodage des primitives lexicales, des nombre comprenant des zéros, des nombre avec des dizaines particulières, des nombre construits d'après les règles additives et/ou multiplicatives. Toutefois, notons que peu de tests évaluent la lecture et l'écriture des grands nombre, notamment chez les enfants plus âgés de fin de primaire et les adolescents d'enseignement secondaire.

e. Evaluation du calcul

Le calcul est une activité souvent jugée très difficile par les enfants en difficulté mathématique et son évaluation est donc primordiale. Il consiste à appliquer un ensemble de règles et procédures qui permettent de résoudre des problèmes arithmétiques et de trouver le résultat d'une opération. Plusieurs batteries de tests comprennent des épreuves pour l'évaluation du calcul simple ou complexe, mental ou écrit, etc. Dans la batterie **Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation** (Koppel, 1998), l'enfant est amené à résoudre par écrit des opérations " suivant son niveau scolaire ". Ainsi, deux additions, deux soustractions, une multiplication avec des opérands à deux chiffres sont proposées à titre d'exemples. Aucune donnée normative n'est disponible mais l'évaluateur est invité à observer les stratégies de résolution. Le test **MathEval** (Heremans, 2011) comprend un subtest de " calcul mental " comportant des additions et des soustractions avec des opérands de un à quatre chiffres. La taille des opérands et le nombre d'opérations dépend de l'âge de l'enfant et de la réussite aux opérations au fur et à mesure du test. L'opération est présentée sur l'écran d'un ordinateur et l'enfant doit donner la réponse oralement. Les stratégies et procédures adoptées par l'enfant (ex., utilisation des doigts pour dénombrer, surcomptage (ex. dire 5, 6, 7 pour résoudre l'opération $3 + 4$) ou décomptage, décomposition) peuvent être identifiées par l'évaluateur dans une liste préétablie. De plus, il est possible d'utiliser, via le site Internet de MathEval (<https://sites.google.com/site/testmatheval/>), le test de **Calcul Mental Collectif (CMC)** qui permet d'évaluer la fluence de l'accès aux faits arithmétiques et des capacités de calculs plus complexes pour les quatre opérations à l'aide d'une tâche dans laquelle l'enfant doit résoudre en une minute le plus d'opérations possibles. Le **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte une épreuve intitulée " Calcul mental oral " qui consiste à proposer oralement à l'enfant huit additions, huit soustractions et six multiplications pour lesquelles il doit répondre oralement. Les multiplications sollicitent la récupération en mémoire des faits arithmétiques (ex., 4×4), tandis que les additions et les soustractions ne peuvent être résolues par l'accès à ces faits arithmétiques et impliquent des traitements plus complexes (ex., $4 + 13$ et $24 - 17$). Les auteurs proposent que l'examineur note le temps de réponse pour chaque

opération mais aucune donnée normative n'est disponible quant aux temps de réponse moyen des enfants. Le **Protocole de Calcul Élémentaire** (Ménissier, 2003) est une épreuve de résolution de quinze additions et quinze soustractions en présentation orale ; certaines d'entre elles sollicitent la mémoire des faits arithmétiques alors que d'autres requièrent davantage le recours à des procédures de calcul mental. Cette épreuve permet donc au clinicien d'observer qualitativement le répertoire stratégique de l'enfant. Le **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte un module d'évaluation des opérations dont une épreuve intitulée "Opérations avec énoncé arithmétique" qui comprend onze additions dites "simples" qui relèvent davantage de procédures de calcul mental (ex., $32 + 14$) que du simple accès aux faits arithmétiques, ainsi que neuf soustractions simples (ex., $5 - 3$) à complexes (ex., $44 - 26$) en présentation écrite arabe et réponse verbale. La batterie de tests comporte également une épreuve dans laquelle l'enfant doit résoudre (réponse orale) trois calculs lacunaires d'additions (ex., $\dots + 5 = 8$) et de soustractions (ex., $7 - \dots = 3$) présentés en code arabe, ainsi qu'une épreuve de multiplication comprenant neuf calculs appartenant aux tables de multiplication de 1 à 10, en présentation et réponse orales. Enfin, l'épreuve "Connaissances conceptuelles" permet d'évaluer la connaissance des règles de calcul telles que la réversibilité (ex., Si tu sais que $72 - 25 = 47$, est-ce que cela t'aide pour faire $25 + 47$?). Le **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte les épreuves suivantes pour l'évaluation du calcul : l'épreuve "Calcul écrit conventionnel" consiste à résoudre six opérations écrites en code arabe (une addition en ligne, deux additions en colonne, une soustraction en ligne, une soustraction en colonne et une multiplication en colonne) ; l'épreuve "Calcul écrit arrondi" consiste à résoudre par estimation six opérations écrites en code arabe (quatre additions et quatre soustractions) ; l'épreuve "Calcul oral" consiste à résoudre oralement quatre additions et cinq soustractions simples, trois multiplications, sept opérations arrondies, deux divisions par deux et par trois, et trois fractions, tout cela étant présenté oralement. La particularité du Numerical est donc de proposer des épreuves de calcul écrit complexe, ainsi que des items sur les fractions. L'**UDN 2** (Meljac, Lemmel, 1999) comporte des épreuves de résolution libre d'opérations (deux additions, deux soustractions, une multiplication, une division) en présentation et réponse orales. De plus, contrairement aux autres tests, une épreuve de résolution d'opérations évalue le calcul en prenant en compte la compréhension des opérations : l'enfant doit mimer l'action exprimée par l'opération mathématique avec des buchettes (deux additions, deux soustractions, une multiplication, une division) et avec les doigts (deux additions, deux soustractions). Tout comme l'UDN 2, la **batterie B-LM** (Métral, 2008) évalue, par une épreuve intitulée "Opérations", la compréhension des opérations. Dans cette épreuve, l'enfant doit traduire en jetons les quatre opérations. Par exemple, lorsqu'il entend l'opération $6 - 2$, on attend de lui qu'il prenne six jetons et qu'il en enlève ensuite deux.

De manière générale, l'ensemble de ces épreuves permet une évaluation précise des habiletés de calcul de l'enfant jusqu'à 11 ans environ. On retrouve des épreuves permettant d'évaluer le calcul oral et écrit, la signification des opérations, la mémoire des faits arithmétiques et le répertoire stratégique. Toutefois, aucun test ou batterie ne couvre l'ensemble de ces aspects, et ce, pour les enfants jeunes et plus âgés.

f. Évaluation du vocabulaire mathématique

Quelques épreuves ont pour objectif d'évaluer le lexique mathématique spécifique tel que les expressions "plus que", "autant que", "fois moins", etc. Dans la batterie **Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation** (Koppel, 1998), l'évaluation mathématique comporte une "épreuve de langage" évaluant la compréhension des termes "une partie",

“ tous les ”, “ chaque ”, “ sauf ”, et “ quelques ”. Une “ épreuve de nombre ” permet aussi d’évaluer la compréhension des termes “ autant ”, “ plus ” et “ moins ”. De même, les **ECPN** (de Barbot et al., 1995) comportent plusieurs questions pour lesquelles l’enfant doit comprendre des consignes et manipuler des objets. En particulier, l’évaluation porte sur les termes “ le plus ”, “ plus que ”, “ plus ”, et “ n de plus ”. La batterie de **Nouvelles Epreuves d’Examen du Langage (N-EEL ; Chevrie-Muller, Plaza, 2001)** comporte des épreuves de compréhension du lexique mathématique. Par exemple, l’épreuve “ Arithmétique 2 ” consiste à évaluer la compréhension des termes “ le même nombre ”, “ beaucoup ”, “ le moins ”, “ le plus ”, etc. L’**UDN 2** (Meljac, Lemmel, 1999) comporte un subtest “ Connaissances – Vocabulaire numérique ” qui vise à évaluer la connaissance des expressions “ plus que ”, “ moins que ” et “ autant que ” et la reconnaissance des signes mathématiques d’opération. Le **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte les deux épreuves “ Proposition de calcul écrit ” et “ Proposition de calcul oral ” dans lesquelles l’enfant doit produire un grand nombre, une addition, une soustraction, une multiplication, permettant ainsi d’évaluer la connaissance de ce vocabulaire mathématique. L’**Epreuve de logique** (Ménissier, 2011) comporte une épreuve consistant à répondre “ vrai ” ou “ faux ” à des énoncés verbaux présentés sous forme écrite. Cette épreuve met en jeu la compréhension de certains termes mathématiques (ex. “ tous les ”, “ égal à ”, etc.). Dans la batterie informatisée **Exalang 3-6** (Thibault, Helloin, 2006), une épreuve intitulée “ quantificateurs et nombre ” permet d’évaluer le lexique mathématique en demandant à l’enfant de répondre à des questions telles que “ montre-moi où il y a le plus de ballons ” ou “ montre-moi la troisième souris ” par exemple. Enfin, la récente batterie informatisée **Exalang 8-11** (Thibault et al., 2012) comporte un subtest intitulé “ Lexique mathématique ” qui comprend seize consignes que l’enfant doit exécuter, sans production orale, en déplaçant des objets sur l’écran d’ordinateur à l’aide de la souris ou en montrant à l’examineur ce qu’il doit faire. Plusieurs termes sont ainsi évalués dans ce subtest : “ autant ”, “ plus de ”, “ la moitié ”, “ inférieur ”, “ 2 de plus que ”, “ 3 de moins que ”, “ 2 fois plus ”, “ le double ”, “ 2 fois moins ”, “ quantité égale ”, “ parmi ”, “ dont ”, “ augmenter ”, “ baisser ”, “ multiplier ” et “ diviser ”.

Ainsi, ces tests permettent d’évaluer qualitativement ou quantitativement la compréhension du vocabulaire mathématique. Utilisés en complément ou parallèlement à une évaluation du langage, ils peuvent aider le clinicien à déterminer si le déficit lexical est spécifique au vocabulaire mathématique ou s’il se situe plus largement dans un contexte de retard/trouble de langage.

g. Evaluation de la résolution de problèmes à énoncés verbaux

Enfin, l’évaluation de la résolution de problèmes à énoncés verbaux a également toute sa place dans l’évaluation mathématique. Elle consiste à mettre en œuvre des processus d’identification pour arriver à une solution pour une situation-problème. Ces processus consistent à traduire, intégrer et comprendre la situation, planifier des actions, exécuter le calcul adéquat et contrôler son résultat (Ménissier, 2011). Ce domaine est très souvent problématique chez nombre d’enfants en difficulté mathématique et c’est même souvent la première plainte des enfants et de leur famille. Plusieurs batteries de tests offrent des possibilités pour cette évaluation. La **batterie ERLA** (Legeay et al., 2009) comporte une épreuve intitulée “ Enigmes numériques, problèmes arithmétiques ” qui permet d’évaluer la compréhension de situations additives sans recourir à la résolution numérique. Par exemple, l’enfant doit, à l’écoute d’une histoire, la réaliser à l’aide d’un matériel, choisir une information numérique incluse dans le texte et poser une question à son sujet. Les auteurs se

basent sur la classification des problèmes additifs de Riley, Greeno et Heller (1983) et proposent cinq situations de combinaison, de transformation additive et soustractive, et de comparaison additive et soustractive. De plus, l'enfant doit écrire des problèmes en faisant varier les situations et l'inconnu du problème, tout comme dans la batterie **Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation** (Koppel, 1998). Le **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte une épreuve intitulée "Problèmes arithmétiques présentés oralement" dans laquelle l'enfant doit résoudre six problèmes en expliquant son raisonnement. Bien que la justification soit primordiale pour l'analyse qualitative de l'évaluateur, seule la réponse est prise en compte dans les données normatives. Cinq des six problèmes se résolvent par une soustraction simple et un par une addition simple. La **batterie B-LM** (Métral, 2008) comporte une épreuve classique de résolution de "Problèmes à énoncés", qui consiste à lire et résoudre par écrit un problème de combinaison, deux problèmes à étapes comportant des problèmes multiplicatifs et un problème impossible à résoudre dans le but de vérifier si l'enfant est capable d'identifier une situation insoluble. Cette batterie a pour originalité de proposer également une épreuve de résolution de "Problèmes schématisés" qui a pour but de vérifier si l'enfant sait appliquer ses connaissances arithmétiques à la résolution de problèmes, indépendamment de la compréhension d'un énoncé écrit. Dans cette épreuve, l'enfant doit inventer des histoires-problèmes à partir de schémas et les résoudre. Le **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte deux épreuves de résolution de problèmes. La première, "Opérations avec énoncé verbal", est une épreuve classique dans laquelle l'enfant doit résoudre huit problèmes, présentés oralement, relatifs à des situations de transformations additives et soustractives (Riley et al., 1983) pour lesquelles l'inconnu est la situation finale, initiale ou la transformation même. Dans la seconde épreuve, "Opérations avec supports imagés", un soutien imagé à l'énoncé verbal est fourni à l'enfant pour six problèmes portant sur trois situations de combinaison avec recherche de la collection totale et trois situations de transformations soustractives avec recherche de la situation finale. La batterie informatisée **Exalang 8-11** (Thibault et al., 2012) comporte un subtest intitulé "Screening logicomathématique" qui inclut une évaluation de la compréhension et de la résolution de problèmes mathématiques à énoncés verbaux : par exemple, l'enfant est amené à identifier les données manquantes d'un problème multiplicatif, trouver la question d'un problème multiplicatif, et à résoudre un problème à étapes additives et un problème multiplicatif. Enfin, la batterie **Exalang 11-15** (Thibault et al., 2009) comporte une épreuve "Logique et langage" axée sur la résolution de problèmes sous l'angle de la compréhension de langage, l'intégration des énoncés, la capacité à trier les informations, à sélectionner les éléments pertinents et à inhiber les informations inutiles. Dans cette épreuve, l'enfant doit trouver, parmi trois choix, la question logique à dix énoncés et trouver la donnée manquante pour résoudre six problèmes additifs ou multiplicatifs.

Ainsi, l'ensemble de ces tests permet d'évaluer qualitativement ou quantitativement chez l'enfant de 5 à 15 ans environ la capacité à résoudre un problème à énoncé verbal lu ou entendu. Toutefois, aucune batterie ne couvre l'ensemble des types de problèmes mathématiques additifs et multiplicatifs.

h. Critiques

Il existe ainsi un ensemble d'outils permettant d'évaluer des habiletés mathématiques chez les enfants et de caractériser leurs difficultés. On remarque toutefois que l'ensemble des âges et des domaines mathématiques n'est pas couvert. Le développement d'outils couvrant davantage de domaines et sur une plus grande tranche d'âge paraît donc indispensable. Une

batterie de tests couvrant l'ensemble des domaines prenant à la fois en compte la production mais également la compréhension des situations par des épreuves de jugement semble tout à fait pertinente. Plus spécifiquement, évaluer l'ensemble des types de transcodages numériques avec des petits et grands nombres en analysant non seulement la réussite mais aussi le type d'erreurs permettrait de comprendre précisément les mécanismes de transcodage de l'enfant. L'évaluation du calcul requiert également des épreuves plus développées prenant en compte le type de calcul (mental, écrit), la taille des opérands et des calculs et en analysant non seulement la performance, mais également le temps de réponse ainsi que les types de stratégies et procédures utilisées en rapport à des normes précises. Enfin, l'évaluation de la résolution de problèmes nécessite de s'appuyer sur des modèles théoriques prenant en compte par exemple les étapes nécessaires à la résolution (ex., modèle de résolution de problèmes en cinq étapes de Méniissier, 2011) et le type de problèmes (ex., modèles sémantiques décrits par Riley et al. (1983), Vergnaud (1982, 1983) ou Méniissier (2011)).

Ceci étant, une fois les difficultés mathématiques de l'enfant objectivées et caractérisées, l'étape suivante d'une évaluation est d'identifier la cause des difficultés. Il en existe plusieurs, telles qu'un trouble de mémoire de travail, un trouble du langage, un trouble visuospatial, etc. Néanmoins, les difficultés mathématiques peuvent aussi être dues à une dyscalculie primaire, déficit du traitement des quantités. La section suivante porte ainsi sur les outils à disposition des professionnels pour évaluer la présence ou l'absence d'un trouble cognitif numérique spécifique. Seule cette évaluation pourra permettre d'infirmier ou de confirmer un diagnostic de dyscalculie primaire.

3. Outils pour l'évaluation du traitement des quantités : identifier la présence d'un trouble cognitif numérique

Deux hypothèses cognitives ont été proposées pour expliquer l'origine fonctionnelle de la dyscalculie primaire. L'hypothèse d'un déficit du *sens du nombre* (Wilson, Dehaene, 2007) ou du *module nombre* (Butterworth, 1999) suggère que la dyscalculie résulte d'un déficit du traitement des représentations non symboliques du nombre et d'une altération des représentations numériques mentales. À cet égard, les études montrent que les enfants dyscalculiques ont des difficultés à *subitiser* (i.e., percevoir et identifier quasi-instantanément) des petites collections de points (Schleifer, Landerl, 2011 ; Andersson, Östergren, 2012 ; Moeller et al., 2009 ; Ashkenazi et al., 2013 ; Desoete, Grégoire, 2006), des difficultés à comparer des grandes collections non symboliques (Price et al., 2007 ; Desoete et al., 2012 ; Landerl, Kölle, 2009 ; Ferreira et al., 2012 ; Mazzocco et al., 2011), une acuité numérique plus faible (Mazzocco et al., 2011 ; Piazza et al., 2010) et des difficultés à placer des nombres sur une ligne numérique (Geary et al., 2008 ; Landerl et al., 2009). En somme, selon cette hypothèse, l'enfant dyscalculique présenterait un déficit au niveau du Système Numérique Précis (système numérique quasi inné responsable de la perception précise quasi instantanée des petites quantités) et du Système Numérique Approximatif (système numérique quasi inné responsable de la perception approximative des grandes quantités). Selon la seconde hypothèse (Noël, Rousselle, 2011), l'enfant dyscalculique présenterait plutôt un déficit d'accès aux représentations numériques mentales via les codes symboliques. Cette hypothèse est notamment soutenue par des études qui montrent que certains enfants dyscalculiques parviennent très bien à comparer les quantités présentées non symboliquement, mais présentent des difficultés à comparer les quantités présentées en code arabe (Rousselle, Noël, 2007 ; Andersson, Östergren, 2012 ; de Smedt, Gilmore, 2011 ; Desoete et al., 2012). Cela

suggère ainsi l'existence de deux origines possibles à la dyscalculie (Iuculano et al., 2008 ; Chan et al., 2013). Voir Lafay et al. (2014) pour une revue sur les déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale.

Evaluer les habiletés de traitement des quantités chez l'enfant qui présente des difficultés mathématiques vise donc à identifier la présence d'un déficit cognitif numérique spécifique et ainsi poser le diagnostic de dyscalculie développementale. Au regard des hypothèses actuelles relatives à la dyscalculie, il est indispensable de vérifier la présence ou non d'un déficit du *sens du nombre*, c'est-à-dire du traitement des quantités présentées analogiquement, et la présence d'un déficit d'accès aux représentations numériques mentales via le code numérique symbolique arabe. De plus, il peut être intéressant de vérifier si l'enfant présente également un déficit d'accès aux représentations numériques mentales via le code numérique symbolique oral. La suite de la section porte donc sur les outils à la disposition des professionnels pour effectuer cette évaluation. Le tableau 4 présente les outils d'évaluation mathématique qui comportent des épreuves visant à évaluer le traitement des quantités selon les différents codes numériques.

Tests	Age	Traitements des quantités				
		Code oral	Code arabe	Code analogique	Code oral ↔ Code analogique	Code arabe ↔ Code analogique
Math Eval	5 à 8	X			X	X
B-LM	5 à 8				X	
Zareki-R	6 à 11 ½	X		X	X	X
Tedi-Math	5 à 8	X	X	X	X	X
Numerical	7 à 10	X	X		X	X

Tableau 4. Outils d'évaluation mathématique selon les domaines évalués en termes de traitement des quantités (i.e., codes numériques).

a. Evaluation du code oral

L'évaluation du code oral permet d'identifier si l'enfant a de bonnes capacités de reconnaissance et de production de ce code numérique utilisé depuis les premières années de vie. Plusieurs tests sont à la disposition des professionnels pour effectuer cette évaluation. Tel que mentionné précédemment dans la section relative à l'évaluation du comptage, les tests **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) et **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comportent des épreuves de comptage. Le **Tedi-Math** comprend aussi le subtest "Décision numérique orale" dans lequel l'enfant doit juger si douze mots entendus sont des nombres (ex., sept) ou non (pseudo-mots nombres ; ex., deuzante ; mots qui appartiennent à des collections fermées (jours, mois) ; ex., jeudi ou juillet). Enfin, dans l'épreuve "Jugement de grammaticalité", l'enfant est invité à juger de la grammaticalité (ex. cent quarante) ou non grammaticalité numérique (ex., dix deux) de nombres entendus. Le test **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte deux subtests "Comptine" (cf. Partie précédente "Evaluation du comptage") et "Répétition orale" qui permettent d'évaluer le code numérique oral. Enfin, le test **MathEval** (Heremans, 2011) comporte les tests "Comptine numérique simple", "Manipulation de la comptine numérique", "Comptage à rebours" et "Comptage par pas",

quatre subtests décrits précédemment dans la partie “ Evaluation du comptage ”. Ainsi, l’intégrité du code numérique oral peut être évaluée à l’aide de tâches de récitation et de manipulation de la comptine numérique, de reconnaissance et de jugement de mots.

b. Evaluation du code arabe

Les outils portant sur le code arabe permettent d’évaluer chez l’enfant les capacités de reconnaissance et de production des nombres arabes. Deux tests sont à la disposition des professionnels pour effectuer cette évaluation. Le test **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte une épreuve appelée “ Décision numérique écrite ” dans laquelle l’enfant doit déterminer si les huit symboles (chiffres, lettres, autres symboles) qui lui sont présentés sont des chiffres arabes ou non. Le test **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte un subtest nommé “ Suite digitale ” qui permet d’évaluer la capacité à produire la suite des nombres arabes à partir d’un nombre à trois chiffres donné. Ainsi ces deux tests permettent d’évaluer l’intégrité du code arabe chez l’enfant de 5 à 10 ans.

c. Evaluation du code analogique

Les outils portant sur le traitement du code numérique analogique (i.e. non symbolique) permettent d’évaluer la présence d’un déficit du *sens du nombre*. Malheureusement, quasiment aucune batterie de tests ne permet d’évaluer ce traitement sans faire appel aux codes numériques symboliques. Seul le test **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte une épreuve appelée “ Comparaison de pattern de points ” dans laquelle deux ensembles de points sont présentés pendant une seconde et l’enfant doit ensuite indiquer la feuille où il y en a le plus. Le **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte un item de comparaison de quantités dans le subtest “ Estimation visuelle de quantités ”. L’épreuve comprend six comparaisons telles que la paire 1 vs. 3 et la paire 15 vs. 8. Une évaluation plus approfondie de la perception, de la compréhension et de la production de ce code analogique est cependant indispensable pour identifier la présence d’un déficit du *sens du nombre*.

d. Evaluation du lien entre le code oral et les représentations numériques analogiques et mentales du nombre

L’évaluation du traitement numérique du code oral et des liens qu’il entretient avec les représentations analogiques du nombre requiert d’utiliser des tâches faisant à la fois intervenir le code numérique oral et la quantité à laquelle il réfère. Dans la **batterie B-LM** (Métral, 2008), l’épreuve de “ Dénombrement ” permet d’évaluer l’identification des petites collections par reconnaissance de configurations. Le test **MathEval** (Heremans, 2011) comporte un subtest intitulé “ Subitizing ” qui consiste à présenter sur l’écran d’un ordinateur pendant un temps très court un petit ensemble de points (ex. trois points) ou de doigts (ex. trois doigts levés sur une main) et à demander à l’enfant d’identifier la quantité de la collection par une réponse orale. L’épreuve “ Dénombrement ” du test **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) permet aussi d’identifier la petite quantité de cinq points (positionnés canoniquement comme dans la configuration du dé à jouer). Ainsi ces trois épreuves permettent d’évaluer le subitizing, une capacité du Système Numérique Précis. Le test **Zareki-R** comporte l’épreuve “ Estimation visuelle de quantités ” dans laquelle l’enfant doit estimer la quantité perçue sur présentation brève d’un grand ensemble de points ou d’objets (quatre items). Cette épreuve permet ainsi d’évaluer l’estimation, capacité du Système Numérique Approximatif qui permet la perception approximative et quasi instantanée des grandes quantités. Ce test comprend aussi l’épreuve de “ Comparaison de deux nombres

présentés oralement ” dans laquelle l'enfant doit identifier le plus grand de deux nombres dans huit paires de stimuli. Le test **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte une épreuve de “ Comparaison de nombres oraux ” (quinze items). De même, le test **Numerical** (Gaillard, 2000) comprend une épreuve de “ Comparaison orale ” (neuf items) et de “ Comparaison alphabétique ” (quatre items) dans lesquelles l'enfant doit respectivement comparer des nombres verbaux oraux et écrits. Dans ces épreuves de comparaison, les paires de nombres sont contrôlées pour le nombre de mots (ex. mille vs. cent vingt), l'ordre des mots (ex. cent huit vs. huit cent) et la consonance (ex. quinze vs. quarante). Enfin, on trouve dans d'autres tests et batteries des tâches de placement de nombres entendus sur une ligne numérique, permettant ainsi d'évaluer la précision des représentations numériques. Le **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte le subtest “ Positionnement de nombres sur une échelle ” dans laquelle l'enfant doit positionner six nombres entendus sur une échelle numérique verticale de 0 à 100. Enfin, le test **Numerical** (Gaillard, 2000) comporte une “ Droite à graduer ”, épreuve dans laquelle l'enfant doit placer six nombres entendus sur une ligne verticale de 0 à 100 : les trois premières lignes contiennent plusieurs repères alors que les trois dernières sont totalement vierges. Le subtest “ Compteur de vitesse ” du **Numerical** invite l'enfant à écrire le nombre et placer l'aiguille sur un compteur de 0 à 200 km/h, gradué de 20 en 20, dans les positions correspondant à huit vitesses spécifiques présentées en code oral (ex., 100 à l'heure). Ainsi, l'ensemble de ces épreuves (subitizing, estimation, comparaison de nombres oraux, placement de nombres oraux sur une ligne numérique) permettent l'évaluation du traitement numérique du code oral et des liens que celui-ci entretient avec les représentations analogiques et mentales du nombre.

e. Evaluation du lien entre le code arabe et les représentations numériques analogiques et mentales du nombre

L'évaluation du lien entre le code arabe et les représentations analogiques du nombre requiert d'utiliser des tâches faisant à la fois intervenir le code numérique arabe mais également la quantité à laquelle il réfère. On retrouve par exemple dans les batteries l'épreuve classique de comparaison de nombres arabes. Le test **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte ainsi une “ Comparaison de deux nombres écrits ” dans laquelle dix paires de nombres arabes de deux à cinq chiffres sont ainsi présentées à l'enfant qui doit entourer le plus grand. Le test **Numerical** (Gaillard, 2006) comporte une “ Comparaison digitale ” de dix nombres arabes de deux à six chiffres. Le **MathEval** (Heremans, 2011) comprend une épreuve de comparaison de nombres arabes dans laquelle l'enfant doit dire si un nombre donné est plus grand ou plus petit qu'un autre. Enfin, le test **Tedi-Math** (Van Nieuwenhoven et al., 2001) comporte une épreuve de “ Comparaison de nombres arabes ” effectuée à l'aide de douze paires de nombres de un à trois chiffres. L'outil comprend aussi le subtest “ Grandeur relative ” dans laquelle l'enfant doit choisir parmi deux nombres arabes celui dont la magnitude est la plus proche d'un nombre arabe cible (douze items de un à deux chiffres). Le placement de nombres arabes sur une ligne numérique permet également l'évaluation de l'accès aux représentations numériques mentales via le code arabe. Le test **Zareki-R** (Dellatolas, Von Aster, 2006) comporte un subtest “ Positionnement de nombres sur une échelle ” qui consiste à positionner six nombres arabes sur une échelle numérique verticale de 0 à 100 : les trois premières lignes contiennent plusieurs repères alors que les trois dernières sont totalement vierges. De même, le test **MathEval** (Heremans, 2011) propose de placer quatre nombres arabes sur une ligne numérique horizontale de 0 à 10, deux nombres arabes sur une ligne de 0 à 20 et deux nombres arabes sur une ligne de 0 à 100. Ainsi ces épreuves de comparaison de nombres

arabes et de placement de nombres arabes sur une ligne numérique permettent d'évaluer l'accès aux représentations numériques mentales via le code arabe.

f. Critique

Il existe donc un petit ensemble d'outils permettant d'évaluer des habiletés numériques de base chez les enfants et de caractériser leur profil cognitif numérique. On remarque également que l'ensemble des codes numériques n'est pas couvert pour l'ensemble des âges. De manière générale, le développement d'outils couvrant l'ensemble des codes numériques sur une plus grande tranche d'âge paraît donc indispensable. Développer des tâches comportant davantage d'items tests semble également primordial pour évaluer au mieux les compétences de l'enfant et l'intégrité d'un processus cognitif. De plus, l'évaluation de différents processus tels que la comparaison, l'adéquation (indiquer si c'est la même quantité ou non), la production de quantités, etc. apporterait un éclairage plus approfondi des habiletés de l'enfant à percevoir et manipuler les quantités analogiques. Enfin, il semble indispensable d'obtenir des normes pour les temps de réponse en plus des simples scores de réussite. En effet, beaucoup d'études mettent en évidence, non pas un score déficitaire, mais un temps de réponse significativement plus long chez les enfants dyscalculiques par rapport à leurs pairs contrôles. Disposer de normes concernant le temps de traitement serait donc un indice supplémentaire important pour envisager l'intégrité et l'automatisation ou au contraire le déficit, des processus de traitement numérique.

De plus, peu d'outils portent sur l'évaluation du traitement des nombres en code analogique qui permet de documenter l'intégrité des processus numériques primaires et des représentations numériques mentales. De manière plus approfondie encore, au regard des hypothèses théoriques actuelles de la dyscalculie, il serait intéressant de développer des outils permettant d'évaluer l'intégrité du Système Numérique Précis (par exemple en proposant des épreuves impliquant de petits ensembles de points ou d'objets) et l'intégrité du Système Numérique Approximatif (par exemple en proposant des épreuves impliquant de grands ensembles de points ou d'objets). De même pour l'évaluation de l'accès aux représentations numériques mentales via les codes arabe et oral, il serait intéressant de proposer des épreuves permettant de différencier d'une part l'intégrité de l'accès au Système Numérique Précis via les nombres arabes en proposant des petits nombres (de 1 à 3/4/5) et d'autre part l'intégrité de l'accès au Système Numérique Approximatif en proposant de grands nombres supérieurs à 5. De plus, l'évaluation de différentes habiletés telles que la comparaison de deux nombres arabes ou oraux, mais aussi l'adéquation entre un nombre arabe ou oral et une quantité analogique, la production de quantités de nombres arabes ou oraux à partir d'ensembles de points, la production d'ensembles de points à partir de nombres arabes ou oraux, etc. apporterait un éclairage plus approfondi des habiletés de l'enfant à percevoir et manipuler les quantités présentées sous forme symbolique arabe et orale.

----- CONCLUSION -----

Les professionnels ont quelques outils à disposition pour évaluer les habiletés mathématiques des enfants du primaire. Cette revue critique des outils a toutefois permis d'identifier plusieurs lacunes. Tout d'abord, de manière générale, tous n'ont pas été standardisés et normés et certains ne permettent donc qu'une analyse qualitative. De plus, aucune de ces batteries ne prend en considération les temps de traitement et de réponses des enfants en plus des simples scores de réussite. En effet, beaucoup d'études mettent en évidence, non pas un

score déficitaire, mais un temps de réponse significativement plus long chez les enfants dyscalculiques par rapport à leurs pairs contrôles. Disposer de normes concernant le temps de traitement serait donc un indice supplémentaire important pour envisager l'intégrité et l'automatisation, ou au contraire le déficit, des processus de traitement numérique. Enfin, si ces batteries permettent d'objectiver les difficultés scolaires et de caractériser les difficultés mathématiques, aucune ne permet réellement d'identifier la présence d'un déficit cognitif numérique spécifique et poser ainsi le diagnostic de dyscalculie. En effet, les batteries présentées ne s'appuient pas sur les modèles théoriques actuels du traitement numérique et ne permettent donc pas de documenter les processus de traitement des quantités. Une batterie conçue sur les modèles explicatifs actuels de la dyscalculie permettrait pourtant de documenter la présence d'un déficit du *sens du nombre* (Wilson, Dehaene, 2007) ou du *module nombre* (Butterworth, 1999) et la présence d'un déficit d'accès aux représentations numériques mentales via les codes symboliques (Noël, Rousselle, 2011).

Les futures études devront donc se consacrer non seulement à comprendre plus précisément les déficits cognitifs numériques de la dyscalculie, mais également à développer des outils diagnostiques basés sur les modèles théoriques actuels. Disposer d'outils théoriquement appuyés est indispensable à la pratique d'évaluation mathématique d'un enfant. Cela est l'assurance d'un diagnostic réfléchi, permettant d'objectiver selon des normes l'importance du retard scolaire mathématique, de caractériser au mieux les difficultés propres à l'enfant et d'établir le plus précisément possible un diagnostic de dyscalculie primaire selon les troubles cognitifs numériques identifiés et les troubles associés mis en évidence par des évaluations complémentaires (i.e., mémoire de travail, langage, etc.). Disposer de bons outils et établir un diagnostic approfondi des déficits d'un enfant est aussi, dans un ultime objectif, l'assurance d'une rééducation basée sur les évidences et adaptée au mieux au profil cognitif de l'enfant.

----- BIBLIOGRAPHIE -----

American Psychiatric Association (2013). *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5)*. Paris, France : Elsevier Masson.

Andersson, U., Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 22(6), 701–714. DOI: 10.1016/j.lindif.2012.05.004

Ashkenazi, S., Mark-Zigdon, N., Henik, A. (2013). Do subitizing deficits in developmental dyscalculia involve pattern recognition weakness? *Developmental Science*, 16(1), 35–46. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2012.01190.x

Badian, N. (1999). Persistent arithmetic, reading, or arithmetic and reading disability. *Annals of Dyslexia*, 49(1), 43–70. DOI: 10.1007/s11881-999-0019-8

Barbarelli, W.J., Katusic, S.K., Colligan, R.C., Weaver, A.L., Jacobsen, S.J. (2005). Math learning disorder: incidence in a population-based birth cohort, 1976-82, Rochester, Minn. *Ambulatory Pediatrics : The Official Journal of the Ambulatory Pediatric Association*, 5(5), 281–289. DOI: 10.1367/A04-209R.1

Baudonck, M., Debusschere, A., Dewulf, B., Samyn, F., Vercaemst, V. (2006). *KRT-R 2006. Kortrijkse Rekestest Revisie ou test de calcul de Courtrai révisé*. Kortrijk (Courtrai), Belgique: Revalidatiecentrum Overleie.

Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. London, U.K. : MacMillan.

Chan, W.W.L., Au, T.K., Tang, J. (2013). Developmental dyscalculia and low numeracy in Chinese children. *Research in Developmental Disabilities*, 34(5), 1613–1622. DOI: 10.1016/j.ridd.2013.01.030

Chevrie-Muller, C., Plaza, M. (2001). *N-EEL. Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage*. Paris : ECPA.

Cognet, G. (2006). *NEMI-2. Nouvelle échelle métrique de l'intelligence-2*. Paris : ECPA.

Connolly, A.J. (2008). *Test KeyMath 3 Diagnostic assessment: Edition canadienne*. San Antonio, TX : Pearson.

de Barbot, F., Duquesne, F., Marchand, M.H., Mazeau, M., Meljac, C., Truscelli, D., Vergnaud, G. (1995). *ECPN. Epreuves Conceptuelles de résolution des Problèmes Numériques*. CIMETE (non édité). Consulté le 20.10.2014 de Françoise Duquesne : <http://francoiseduquesne.free.fr/theme3/ECPN-glossa.pdf>

De Smedt, B., Gilmore, C.K. (2011). Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(2), 278–292. Consulté le 20.10.2014 de Loughborough University : <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/8764/1/DeSmedtGilmoreJECP%282011%29.pdf>

Dellatolas, G., Von Aster, M. (2006). *Zareki-R : batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris : ECPA.

Desoete, A., Ceulemans, A., de Weerdt, F., Pieters, S. (2012). Can we predict mathematical learning disabilities from symbolic and non-symbolic comparison tasks in kindergarten? Findings from a longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 64–81. DOI: 10.1348/2044-8279.002002

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

Devine, A., Soltész, F., Nobes, A., Goswami, U., Szűcs, D. (2013). Gender differences in developmental dyscalculia depend on diagnostic criteria. *Learning and Instruction*, 27, 31–39. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2013.02.004 (accès libre)

Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E.C.D.M., de Sonnevile, L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 41(5), 460–473. DOI:10.1177/0022219408321128

- Ferreira, F., Wood, G., Pinheiro-Chagas, P., Lonnemann, J., Krinzinger, H., Willmes, K., Haase, V. (2012). Explaining school mathematics performance from symbolic and nonsymbolic magnitude processing: similarities and differences between typical and low-achieving children. *Psychology and Neuroscience*, 5(1), 37–46. DOI: 10.3922/j.psns.2012.1.06 (accès libre)
- Gaillard, F. (2000). *Numerical : test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Signes Ed.
- 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), 279-299. DOI: 10.1080/87565640801982361
- Gelman, R., Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., Shalev, R.S. (1996). Developmental dyscalculia: prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 38(1), 25–33. DOI: 10.1111/j.1469-8749.1996.tb15029.x
- Heremans, M. (2011). MathEval Dépistage de la dyscalculie. Consulté le 20.10.2014 de Matheval : <https://sites.google.com/site/testmatheval/>
- INSERM. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : bilan des données scientifiques* (p. 835). Paris : INSERM.
Consulté le 20.10.2014 de INSERM : <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/73>
- Iuculano, T., Tang, J., Hall, C.W.B., Butterworth, B. (2008). Core information processing deficits in developmental dyscalculia and low numeracy. *Developmental Science*, 11(5), 669–680. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2008.00716.x
- Kaufmann, A., Kaufmann, N. (2008). *KABC-II. Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant - 2^{ème} édition*. Paris : ECPA.
- Koppel, H. (1998). *Difficultés en mathématiques, évaluation et rééducation*. Neuilly-Plaisance: Papyrus.
- Lafay, A., St-Pierre, M.C., Macoir, J. (2014). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale : déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mentales. *Canadian Psychology / Psychologie Canadienne*, 55(3). DOI: 10.1037/a0037264
- Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(3), 309–324. DOI:10.1016/j.jecp.2009.03.006
- Landerl, K., Kölle, C. (2009). Typical and atypical development of basic numerical skills in elementary school. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(4), 546–565. DOI:10.1016/j.jecp.2008.12.006

Legeay, M.P., Morel, L., Voye, M. (2009). *Mallette ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé)*. Trucy sur Yonne : Cogilud.

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 and Allied Disciplines*, 35(2), 283–292. DOI: 10.1111/j.1469-7610.1994.tb01162.x

Mazzocco, M.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: 10.1111/j.1467-8624.2011.01608.x

McCloskey, M., Caramazza, A., Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4(2), 171–196. DOI:10.1016/0278-2626(85)90069-7

Meljac, C., Lemmel, G. (1999). *UDN 2 Construction et Utilisation du nombre*. Paris : ECPA.

Ménissier, A. (2003). Les variations stratégiques chez l'enfant dans le calcul d'additions et de soustractions élémentaires. *Glossa*, 83, 20–33.

Ménissier, A. (2011). Analyser, comprendre et travailler les problèmes arithmétiques. In M. Habib, M.P. Noël, F. George, V. Brun, *Calcul et dyscalculies. Des modèles à la rééducation* (pp. 79-129). Paris : Elsevier-Masson.

Métral, E. (2008). *Malette B-LM Cycle 2*. Chavanod : Orthopatic.

Moeller, K., Neuburger, S., Kaufmann, L., Landerl, K., Nuerk, H.C. (2009). Basic number processing deficits in developmental dyscalculia: Evidence from eye tracking. *Cognitive Development*, 24(4), 371–386. DOI:10.1016/j.cogdev.2009.09.007

Noël, M.P., Rousselle, L. (2011). Developmental changes in the profiles of dyscalculia: An explanation based on a double exact-and-approximate number representation model. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 165. Consulté le 20.10.2014 de *Frontiers in Human Neuroscience*: <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fnhum.2011.00165/full>

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

Price, G.R., Holloway, I.D., Räsänen, P., Vesterinen, M., Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology : CB*, 17(24), 1042–3.

Riley, M.S., Greeno, J.G., Heller, J.I. (1983). Developments of children's problem-solving ability in arithmetic. In H.P. Ginsbourg (éd), *The development of mathematical thinking*. New York : Academic Press.

Riquier, M. (1997). *TAS Révisés – Tests d'acquisitions scolaires mathématiques*. Paris : ECPA.

Rousselle, L., Noël, M.P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: a comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361–395. DOI:10.1016/j.cognition.2006.01.005

Savigny, M. (2001). *BATELEM-R Batterie d'épreuves pour l'école élémentaire*. Paris : ECPA.

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

Shalev, R.S., Manor, O., Auerbach, J., Gross-Tsur, V. (1998). Persistence of developmental dyscalculia: What counts? *The Journal of Pediatrics*, 133(3), 358–362. DOI: 10.1016/S0022-3476(98)70269-0

Shalev, R.S., Manor, O., Gross-Tsur, V. (2005). Developmental dyscalculia: a prospective six-year follow-up. *Developmental Medicine et Child Neurology*, 47(2), 121–125. Consulté le 20.10.2014 de Wiley Online Library: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8749.2005.tb01100.x/pdf>

Share, D.L., Moffitt, T.E., Silva, P.A. (1988). Factors associated with arithmetic-and-reading disability and specific arithmetic disability. *Journal of Learning Disabilities*, 21(5), 313–320. DOI: 10.1177/002221948802100515

Simonart, G. (1998a). *ECHAS. ÉCHelle des Apprentissages Scolaires*. Braine-le-château : ATM.

Simonart, G. (1998b). *PEDA 1C. Tests pédagogiques de premier cycle primaire*. Braine-le-château : ATM.

Thibault, M.P., Helloin, M.C. (2006). *Exalang 3-6. Batterie d'examen des fonctions langagières chez l'enfant de 3 à 6 ans*. Mont-Saint-Aignan : Orthomotus

Thibault, M.P., Helloin, M.C., Lenfant, M. (2009). *Exalang 11-15. Batterie informatisée pour l'examen du langage oral, du langage écrit et des compétences transversales chez le collégien*. Mont-Saint-Aignan : Orthomotus.

Thibault, M.P., Lenfant, M., Helloin, M.C. (2012). *Exalang 8-11. Bilan informatisé pour l'examen du langage et des compétences transversales chez l'enfant de 8 à 11 ans*. Mont-Saint-Aignan : Orthomotus.

Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., Noël, M.P. (2001). *Tedi-Math. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris : ECPA.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In T.P. Carpenter, J.M. Moser, T.A. Romberg (Eds.), *Addition and subtraction: a cognitive perspective* (pp.39-59). Hillsdale, N.J. : Erlbaum/Reston, VA : National Council of Teachers of Mathematics.

Vergnaud, G. (1983). Multiplicative structures. In R. Lesh, M. Landau (Eds.), *Acquisition of mathematic concepts and processes* (pp.127-174). New York : Academic press.

Wechsler, D. (2005a). *Wechsler Individual Achievement Test 2nd edition (WIAT II)*. London : The Psychological Corporation.

Wechsler, D. (2005b). *Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 4^{ème} édition (WISC-IV)*. Paris : ECPA.

Wilson, A.J., Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. In D. Coch, G. Dawson, K.W. Fischer (Eds), *Human Behavior learning, and the developping brain: atypical development* (pp. 212–238). New-York : The Guilford Press.