



HAL
open science

Étalonnage du test Numeracy Screener chez une population française d'enfants scolarisés en CM2 et 6ème

Sarah Michaud

► **To cite this version:**

Sarah Michaud. Étalonnage du test Numeracy Screener chez une population française d'enfants scolarisés en CM2 et 6ème. Médecine humaine et pathologie. 2018. dumas-01828988

HAL Id: dumas-01828988

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01828988>

Submitted on 3 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRE DE RECHERCHE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE
ET DU GRADE MASTER 2 D'ORTHOPHONIE

Présenté et soutenu le 21 juin 2018 par

MICHAUD Sarah

Née le 06 janvier 1994 à Châtellerault

**ETALONNAGE DU TEST NUMERACY
SCREENER CHEZ UNE POPULATION
FRANÇAISE D'ENFANTS SCOLARISES EN
CM2 ET 6EME**

Directeur de Mémoire : **THUBE-POLI Isabelle**

Orthophoniste

Nice

2018

**Université Nice Sophia Antipolis - Faculté de Médecine – Département
d'orthophonie**

MÉMOIRE présenté en vue de l'obtention du
**CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE
ET DU MASTER D'ORTHOPHONIE**

Par

MICHAUD Sarah
Né le 06 janvier 1994 à Châtellerault

**ETALONNAGE DU TEST NUMERACY
SCREENER CHEZ UNE POPULATION
FRANÇAISE D'ENFANTS SCOLARISES EN
CM2 ET 6EME**

Directeur de Mémoire : **THUBE-POLI Isabelle**
Orthophoniste

Nice

2018



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Isabelle Thubé-Poli qui m'a proposé ce sujet, qui a su répondre à mes demandes quand j'en avais besoin, et qui m'a encouragée dans mon travail.

Je remercie également Daniel Ansari et son équipe de m'avoir permis d'utiliser le test Numeracy Screener, et de m'avoir apporté des réponses lors de nos échanges de mails transatlantiques.

Je remercie tous les enfants qui ont accepté de passer le test Numeracy Screener. Je remercie les directeurs d'école, les principaux de collège, les infirmières, le personnel de la DSDEN 86, qui m'ont permis d'aller dans les établissements scolaires pour faire passer le test aux enfants et sans qui ce mémoire n'aurait pas pu exister. Je remercie les patients et les orthophonistes qui ont accepté de collaborer à ce travail.

Je remercie chaleureusement mes maitres de stages, Céline Déléan, Jorane Detaille, Hannabelle Di Stefano, Jade Draoui qui m'ont accueillie dans leur cabinet, qui m'ont permis de prendre en charge leurs patients. Je remercie également tous les maitres de stage que j'ai rencontrés au cours de ces cinq années d'études, qui ont partagé leurs connaissances et savoir-faire afin de contribuer à ma formation

Merci à mes amies, futures orthophonistes, Ilhem, Marie, Marine et Marine, Camille, Anne-Maëlle, Justine et Marion pour tous ces moments partagés, bons et moins bons, et tous les autres qui suivront.

Merci à toutes les personnes que j'ai rencontrées et qui ont égayé ces cinq années niçoises. Un merci tout particulier aux enfants de Barel, Anaëlle et Yann, et à la bien nommée Yonyon, avec lesquels j'ai pris plaisir à partager le quotidien entre apéros, repas, soirées, devant film ou série quand nous étions colocs. Vous avez rendu belles mes années étudiantes.

Enfin, merci à ma famille pour m'avoir permis de suivre la formation que je souhaitais. Merci de m'avoir entourée ces dernières semaines, merci pour vos lectures attentives. Et surtout, merci de m'avoir permis de finir ce travail lorsque mon ordinateur m'a laissé tomber.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	4
LISTE DES ABREVIATIONS	5
INTRODUCTION.....	6
PARTIE THEORIQUE.....	7
I. DONNEES ACTUELLES EN COGNITION MATHEMATIQUE.....	8
1. <i>Construction du nombre chez l'enfant</i>	8
2. <i>Les dyscalculies</i>	13
II. EVALUATION DE LA DYS CALCULIE PRIMAIRE	19
1. <i>Traitement de magnitude symbolique et non-symbolique</i>	19
2. <i>Les tests permettant d'évaluer le traitement de magnitude numérique</i>	24
PARTIE PRATIQUE.....	29
I. PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET OBJECTIFS	30
II. MATERIEL ET METHODES.....	31
1. <i>Sujets</i>	31
2. <i>Matériel</i>	32
3. <i>Méthode</i>	33
III. RESULTATS.....	35
IV. DISCUSSION	42
1. <i>Différences entre les enfants de CM2 et de 6ème</i>	42
CONCLUSION.....	53
BIBLIOGRAPHIE.....	54
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	58
ANNEXES.....	59
ANNEXE I : TESTS EVALUANT LE TRAITEMENT DE MAGNITUDE NUMERIQUE.....	60
1. <i>Tests évaluant le traitement de magnitude numérique non-symbolique</i>	60
2. <i>Tests évaluant le traitement de magnitude numérique symbolique</i>	61
ANNEXE II : VISUEL DU NUMERACY SCREENER.....	62
ANNEXE III : CARACTERISTIQUES DES ITEMS DU NUMERACY SCREENER	63
ANNEXE IV : NORMES FRANÇAISE CM2 ET 6EME DU NUMERACY SCREENER	64
1. <i>Normes CM2</i>	64
2. <i>Normes 6^{ème}</i>	65

LISTE DES ABREVIATIONS

CIM 10 : Classification Internationale des Maladies

CDE : Comparison Distance Effect

DSM 5 : Diagnostic and Statistical Manuel of mental disorders

DD : Dyscalculie Développementale

NDE : Numerical Distance Effect

NRE : Numerical Ratio Effect

OTS : Object Tracking System

PCS : Professions et Catégories Socio-professionnelles

SMA : Système Magnitude Approximatif

SNA : Système Numérique Approximatif

SNP : Système Numérique Précis

SNARC : Spatial Numerical Association of Response Code

TDAH : Trouble de Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité

INTRODUCTION

Les troubles de la cognition mathématique sont pris en charge par les orthophonistes. Le libellé « Bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique) » inscrit dans la nomenclature générale des actes professionnels remplace l'ancienne appellation, « Bilan de la dyscalculie et des troubles du raisonnement logico-mathématique » avec l'avenant 16. La prise en charge et les outils diagnostiques doivent suivre cette évolution. Actuellement, il existe peu de tests étalonnés en France permettant de mesurer les processus impliqués dans les habiletés numériques de base qui font partie de la cognition mathématique. Le test Numeracy Screener a été élaboré par l'équipe canadienne du Numerical Cognition Laboratory, il a été étalonné auprès d'enfants de 5 à 8 ans. Il est composé de deux parties, comparaison de quantités symboliques et comparaison de quantités non-symboliques, dont la passation est très rapide.

En faisant le constat que les demandes auprès des orthophonistes concernant les difficultés en mathématiques sont souvent tardives, nous avons souhaité obtenir des normes françaises auprès d'une population plus âgées (CM2 et 6ème).

Un bilan de la cognition mathématique approfondi est chronophage. Il est donc très intéressant dans une démarche hypothético-déductive de proposer des tests screening pour orienter les domaines à explorer de manière approfondie.

Notre but est de déterminer si le test Numeracy Screener permet de mettre en évidence des différences entre des enfants de 10 à 12 ans, scolarisés en CM2 et en 6ème. Pour cela nous proposons de comparer les scores entre les deux niveaux, et entre des enfants tout-venant et des enfants dyscalculiques. Pour ce faire nous faisons passer le test Numeracy Screener à plus de 260 enfants tout-venant scolarisés en CM2 et 6ème pour créer des normes. Nous récupérerons également les scores obtenus par des patients dyscalculiques du même âge auprès d'orthophonistes.

Un rappel des données actuelles concernant le domaine de la cognition mathématique sera suivi d'un listing des mesures et outils diagnostiques disponibles concernant les habiletés numériques de base, avant de présenter le test Numeracy Screener développé dans le cadre de la thèse de Nadia Nosworthy avec l'équipe canadienne menée par Daniel Ansari.

Partie I
PARTIE THEORIQUE

I. Données actuelles en cognition mathématique

1. Construction du nombre chez l'enfant

1.1. Modèle du Triple code

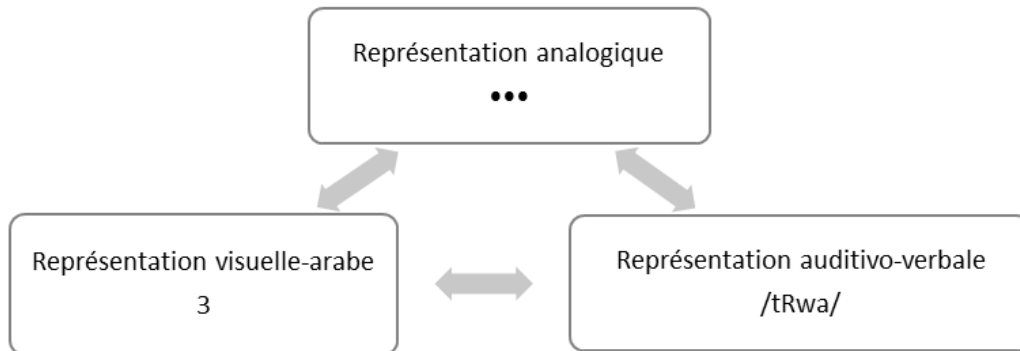


Figure 1 Modèle du Triple code (Dehaene, 1992 ; Wilson & Dehaene, 2007)

Le modèle le plus cité dans le domaine de la cognition mathématique est Le Triple Code (Figure 1). Ce modèle a été élaboré pour représenter les traitements cognitifs numériques chez l'adulte. Il est composé de 3 systèmes de représentation qui interagissent les uns avec les autres.

Le premier est le système de représentation analogique, non symbolique, responsable du Sens du Nombre, c'est-à-dire la magnitude abstraite du nombre. Il permet la comparaison numérique et le calcul approximatif. Le traitement de la représentation analogique se situe au niveau du segment horizontal du sillon intrapariétal ; son activation est bilatérale pour les activités de comparaison de nombre, estimation ou soustraction (Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003). Feigenson, Dehaene et Spelke (as cited in Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2013, 2015) ont décrit deux sous-systèmes intervenant dans le système de représentation analogique : le Système Numérique Précis (SNP) et le Système Numérique Approximatif (SNA). Le SNP ou Object Tracking System (OTS) (Meyer, 2015) permet de percevoir et de traiter précisément des petites quantités (de 1 à 3 ou de 1 à 4 selon les auteurs). On parle alors de subitizing. Ce processus est considéré comme inné puisque des bébés de quelques mois sont capables d'identifier des collections de 2 ou 3 objets. Cependant ce processus est évolutif ; l'enfant gagne en rapidité au cours du

développement. Une étude de Schleifer et Landerl a montré qu'à 11 ans, les compétences sont les mêmes que chez l'adulte (as cited in Lafay et al., 2013). Le SNA quant à lui, permet d'estimer approximativement les grandes quantités. Dès la première année de la vie, les régions intrapariétales droites s'activent lorsque l'on modifie la quantité d'objets présentés visuellement. L'enfant est donc sensible précocement aux grandeurs numériques approximatives de collections d'objets (Hyde, Bertelli, & Mou, 2016). Plusieurs études ont montré que les enfants de 5-6 ans sont capables d'estimer le résultat d'addition, de comparer des collections de points, des séquences de sons, des nombres présentés oralement, ou des chiffres arabes (Lafay et al., 2013 pour une revue). Ces compétences sont considérées comme innées, bien que des études montrent qu'elles ne sont pas aussi efficaces chez le jeune enfant que chez l'adulte. Les compétences du SNA sont donc précoces mais elles évoluent et deviennent de plus en plus précises (Lafay et al., 2013). A 6 mois, le bébé peut différencier des quantités de ratio 1:2, alors que l'adulte est capable de le faire avec des ratios de 7:8 à 10:11 (Hyde et al., 2016). Le SNA est universel, il ne dépend ni de la langue, ni de la culture, ni de l'éducation. En effet, des études ont montré une sensibilité à l'approximation numérique dans des peuples qui ne disposent pas de système numérique dans leur langue (Hyde et al., 2016). Le SNA est également présent chez certains animaux qui ont des capacités pour comparer des quantités, discriminer le résultat correct d'addition simple (Hyde et al., 2016 ; Lafay et al., 2013).

Les deux autres systèmes sont symboliques et asémantiques. Le système de représentation visuelle-arabe concerne la forme visuelle des informations numériques, c'est-à-dire les chiffres arabes. Ce système est mis en jeu dans les résolutions de calcul. Les aires cérébrales impliquées dans la représentation visuelle-arabe sont situées dans les régions occipito-temporales ventrales bilatérales. Le système de représentation auditivo-verbale est utilisé pour les activités en lien avec les faits-numériques, la chaîne numérique verbale et le dénombrement. Il concerne les informations numériques verbales, sous forme de mots ou de séquences de mots à l'oral ou à l'écrit. Le traitement de la représentation auditivo-verbale se situe au niveau des aires péri-sylviennes gauches (lobe temporal gauche) et des aires pariétales (gyrus angulaire gauche). Il permet la récupération des faits arithmétiques sous formes d'automatismes verbaux (Dehaene et al., 2003).

Les trois systèmes sont bien distincts mais sont connectés les uns aux autres.

Suite à ce premier modèle, Von Aster et Shalev (2007) ont proposé un autre modèle pour mettre en évidence les différentes étapes dans l'acquisition du nombre et déterminer les différentes issues de développement pathologique.

1.2. Modèle développemental de l'acquisition numérique

Von Aster et Shalev (2007) ont proposé un modèle dans une perspective développementale, en quatre étapes (Figure 2).

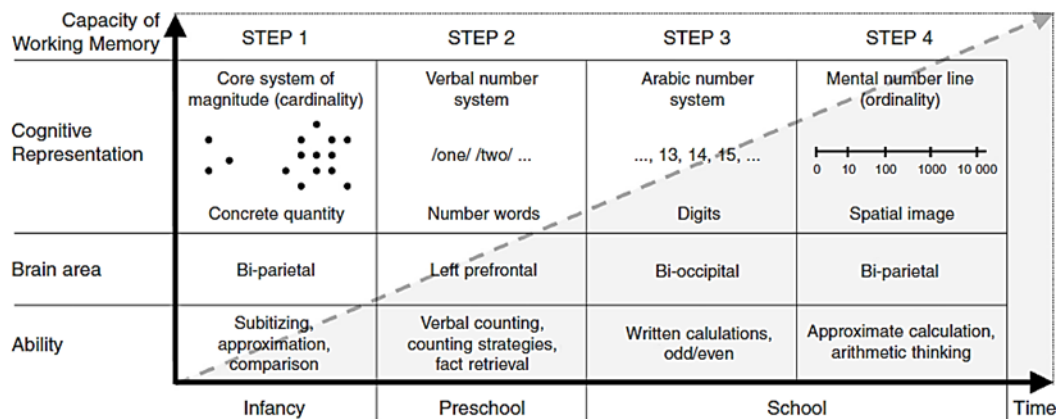


Figure 2 Modèle développemental de l'acquisition numérique (Von Aster & Shalev, 2007)

L'étape 1 concerne le sens inné qui permet d'identifier précisément les petites quantités et d'estimer les grandes quantités. Cette étape se base sur la perception des quantités concrètes ; elle fait référence à la cardinalité. Elle permet les activités de subitizing, de comparaison, d'approximation. L'étape 1 est la condition préalable pour que les enfants puissent ensuite associer à la quantité perçue un mot-nombre, à l'oral d'abord, et à l'écrit ensuite avec les chiffres arabes (Von Aster & Shalev, 2007).

L'étape 2 concerne le système numérique verbal qui est construit grâce à l'apprentissage des mots-nombre (en âge pré-scolaire et maternelle). L'enfant peut alors compter verbalement en associant aux quantités perçues les mots-nombre. Il peut commencer à mettre en place des stratégies de dénombrement et à récupérer des faits numériques. Carey a ainsi décrit le processus de bootstrapping (as cited in Lafay et al., 2013).

L'étape 3 fait référence à l'acquisition du système numérique indo-arabe dès le début de la scolarité primaire. L'enfant associe les symboles indo-arabes (c'est-à-dire les chiffres)

aux quantités perçues et aux mots-nombre. Il peut alors réaliser des calculs à l'écrit, et accède à la notion de pair/impair.

Les étapes 2 et 3 sont les conditions requises pour accéder à l'étape 4 de la construction de la ligne numérique mentale, grâce à l'acquisition des deux codes symboliques. La ligne numérique mentale fait référence à l'ordinalité et se base sur l'image spatiale. L'enfant peut alors réaliser des calculs approximatifs, et avoir un raisonnement arithmétique. Des études ont montré que la ligne numérique mentale décrite par Dehaene évolue au cours du développement pour devenir de plus en plus précise (Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2015).

A partir de ces deux modèles, plusieurs hypothèses ont été proposées pour décrire le développement de la construction du nombre chez les enfants tout-venant.

1.3. La construction du nombre

Différentes hypothèses sur la construction du nombre ont été proposées. Selon Butterworth (as cited in Lafay et al., 2015), il n'y aurait qu'un seul module, le sens du nombre, qui serait quasi-inné. Wilson et Dehaene (2007) indiquent que le number sense se développe au cours de la première année de la vie, et est à la base de la représentation de la magnitude numérique et de la cognition numérique. En effet, l'enfant vient au monde sans connaître les codes symboliques ; c'est ce qui différencie les systèmes de cognition numérique de l'adulte et de l'enfant. L'enfant développe ensuite des capacités pour représenter les nombres de manière symbolique, avec les mots-nombre d'abord, et les chiffres arabes ensuite. L'enfant développe ainsi de plus amples capacités d'approximation dans le domaine de l'arithmétique exacte (Von Aster & Shalev, 2007 ; Wilson & Dehaene, 2007).

Cependant, le système analogique (ou Sens du Nombre) n'est pas totalement inné. En effet au cours du développement, le traitement du subitizing, géré par le SNP (perception intuitive, rapide et innée) devient de plus en plus rapide. Quant à l'estimation, gérée par le SNA, son processus est rapide et intuitif, mais elle gagne en précision au cours du développement (Lafay et al., 2013). Il n'y a pas de consensus sur les rôles joués par le SNA et le SNP dans le développement des représentations numériques. Certains attribuent un rôle primordial au SNA ou au contraire au SNP (Lafay et al., 2013).

Des études montrent que le SNA n'est pas impliqué dans l'acquisition du sens des mots-nombre au début du développement (Carey, Shusterman, Haward & Distefano, 2017). Selon Le Corre et Carey (as cited in Canautte, 2012), la construction de la valeur cardinale des mots-nombre est possible grâce au système de maintien de la trace des objets (OTS) qui permet le subitizing. Cette représentation numérique exacte, contrairement à la représentation approximative du SNA, découlerait de l'apprentissage des mots-nombre, en s'appuyant sur le contenu sémantique et l'aspect ordinal de la séquence des symboles (Noël & Rousselle, 2011). Ainsi, l'enfant découvrirait la valeur cardinale du nombre grâce à sa position (valeur ordinale) dans la chaîne numérique verbale. La découverte de la valeur cardinale des mots nombre se ferait en deux étapes décrites par Carey (as cited in Schwenk et al., 2017). Premièrement, l'enfant comprend que l'ajout d'un élément à un ensemble conduit à un cardinal correspondant à un mot qui vient plus loin dans la chaîne numérique verbale. Deuxièmement, l'enfant comprend que l'ajout d'un élément conduit à un cardinal correspondant au mot qui vient juste après dans la chaîne numérique verbale. Ainsi, l'enfant découvre la fonction de succession, et comment les nombres verbaux représentent les nombres naturels. Selon Le Corre et Carey (as cited in Canautte, 2012), il faudrait ensuite 6 mois pour que l'enfant mette en correspondance la représentation précise du nombre avec la représentation innée approximative de la quantité numérique (Canautte, 2012). Dans le prolongement du modèle de Carey (as cited in Canautte, 2012 ; and in Schwenk et al., 2017) et du modèle développemental de l'acquisition numérique (Von Aster & Shalev, 2007), pour Brankaer, Ghesquière et Smedt (2014) le système de représentation analogique est mis en lien avec les systèmes de représentation symbolique, permettant aux enfants d'accéder à la magnitude numérique. Le développement de la magnitude symbolique dépendrait du traitement de la magnitude non-symbolique (Mejias et Noël, cited in Nosworthy, 2013).

Plus récemment, des chercheurs ont suggéré l'existence d'un système de magnitude approximatif (SMA) plutôt qu'un SNA. En effet, selon Leibovich, Katzin, Harel and Henik (as cited in Schwenk et al., 2017), la capacité à extraire une quantité discrète d'un nombre permet de traiter ensuite les quantités continues. Reynvoet et Sasanguie (as cited in Schwenk et al., 2017) adhèrent à l'implication du SMA dans l'acquisition des symboles numériques. Ils reprennent le modèle de Carey (2009), selon lequel les symboles numériques sont d'abord reliés au système de maintien de la trace de l'objet, qui permet de suivre jusqu'à 4 éléments (ou jusqu'à 10 doigts Siegler 2016). Dans un second temps, la

connaissance de la comptine numérique permet d'inférer les principes de numération, à savoir que les derniers mots-nombre renvoient aux plus grandes quantités. Ainsi, pour Krajci, Lengyel et Kojouhara, et pour Sasanguie, Lyons, De Smedt et Reynvoet, petit à petit les nombres symboliques (en chiffre arabe) sont représentés en association avec les autres représentations symboliques (mots-nombre) dans un réseau sémantique symbolique indépendant, le SMA (as cited in Schwenk et al., 2017).

Lorsque le développement de l'acquisition numérique est déficitaire, on parle de dyscalculie. Plusieurs hypothèses causales sont proposées.

2. Les dyscalculies

2.1. Définition et prévalence

Le DSM 5 (2013 ; 2016) définit la dyscalculie développementale comme un trouble persistant et spécifique du développement numérique et des apprentissages mathématiques (critère A), avec des aptitudes mathématiques (évaluées par des tests standardisés) nettement inférieures au niveau escompté (critère B), non expliqué par un retard intellectuel, un enseignement inadapté, un déficit sensoriel (critère D), et interférant significativement avec la réussite scolaire ou les activités de la vie quotidienne (critère C).

La CIM-10 (2018) définit le trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique comme une « Altération spécifique des performances en arithmétique, non imputable exclusivement à un retard mental global ou à une scolarisation inadéquate. L'altération concerne la maîtrise des éléments de base du calcul : addition, soustraction, multiplication et division. Elle exclut les acalculies sans autre indication, les difficultés en arithmétique (associées à un trouble de la lecture ou de l'orthographe, ou dues à un enseignement inadéquat) ».

Mazeau (2017) distingue la dyscalculie primaire des dyscalculies secondaires. Le trouble du sens du nombre constitue la seule dyscalculie primaire (ou dyscalculie « vraie »). Ce trouble du sens du nombre est lié à un dysfonctionnement spécifique de la zone traitant l'estimation de la quantité et sa représentation analogique. Mais il existe également des dyscalculies secondaires, qui peuvent être symptôme d'un trouble linguistique, d'un trouble visuo-spatial, d'un trouble mnésique, d'un TDA/H ou d'un syndrome dysexécutif.

Wilson et Dehaene (2007) avaient déjà évoqué des sous-types de dyscalculie développementale dont les causes sont : déficit de la représentation symbolique verbale, trouble des fonctions exécutives, ou trouble visuo-spatial.

Concernant des difficultés isolées, la prévalence se situe entre 3 et 7%, soit comparable à la prévalence des troubles d'acquisition de la lecture (Henik, Rubinsten, & Ashkenazi, 2015 ; Schwenk et al., 2017). Les données de l'INSERM (2007) concernant les enfants en âge d'être scolarisés en France évoquent 3,6% à 7,7% de sujets dyscalculiques. La proportion varie en fonction des critères diagnostiques utilisés (seuil pathologique), des outils de mesure (évaluation des processus de haut niveau vs de bas niveau, de domaines généraux vs domaines spécifiques), de l'âge, de la langue et de la culture (Henik et al., 2015 ; Lafay et al., 2015). Tout comme les troubles de la lecture, la dyscalculie développementale est très rarement pure (Henik et al., 2015). On retrouve fréquemment des comorbidités, comme le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), la dyslexie, le trouble anxieux (Von Aster & Shalev, 2007). Une étude longitudinale menée en Allemagne rapporte environ 6% de sujets dyscalculiques, dont 1.8% dyscalculie « pure » et 4.2% comorbidité avec une dyslexie (von Aster & Shalev, 2007). La dyscalculie persiste à l'âge adulte. Fischer et Charron (2009) estiment que la prévalence de la dyscalculie chez les adultes en France est d'environ 2.85 %, dont 0.55% de « dyscalculie profonde » (c'est-à-dire avec présence d'un déficit langagier moins marqué que le trouble du calcul). Deux études récentes, l'une menée en Malaisie (Keong, Pang, Eng, & Keong, 2016), l'autre en Grande-Bretagne (Devine, Soltész, Nobes, Goswami, & Szűcs, 2013) concluent à un sexe ratio de 1G:1F ce qui est en accord avec les chiffres obtenus dans l'étude de Badian (as cited in Lafay et al., 2015) et avec ceux du rapport INSERM (2007), bien que Barbaresi indique un ratio de 2G:1F (as cited in Lafay et al., 2015).

2.2. Hypothèses cognitives numériques relatives à la dyscalculie primaire

Chez les enfants présentant une dyscalculie primaire, la mise en lien du système de représentation analogique avec les systèmes de représentation symbolique (Triple Code de Dehaene, 1992) aurait du mal à se mettre en place. Ainsi le processus de magnitude numérique serait déficitaire (Brankaer et al., 2014). Des études ont été menées pour savoir

si c'est la représentation de la magnitude elle-même ou l'accès au sens du nombre via les codes symboliques qui est impliqué(e) dans le développement des performances en mathématiques. Ainsi deux hypothèses majeures tentent d'expliquer l'origine de la dyscalculie développementale, l'hypothèse du déficit du SNA (Wilson & Dehaene) et l'hypothèse du déficit d'accès (Rousselle et Noël) (as cited in Schwenk et al., 2017).

2.2.1. Déficit du sens du nombre

Dans cette hypothèse, le sens du nombre lui-même est à l'origine de la DD, avec une atteinte de l'aire du sillon intrapariétal horizontal en anatomo-clinique (Wilson & Dehaene, 2007). La dyscalculie serait un trouble spécifique du traitement des quantités numériques.

Plusieurs auteurs supportent cette hypothèse. Butterworth (as cited in Lafay et al., 2015) propose qu'un déficit du module nombre affectant la magnitude numérique serait à l'origine de la DD. Selon Wilson et Dehaene (2007), le sens du nombre est un bon candidat pour expliquer le déficit de base de la dyscalculie, dans la mesure où le sens du nombre se développe au cours de la première année de vie et qu'il représente la base de la cognition numérique chez l'adulte. La dyscalculie serait donc la conséquence d'un déficit de base de la représentation de la magnitude numérique. Le déficit du traitement des représentations non-symboliques du nombre et l'altération des représentations mentales entraînerait des difficultés à subitiser et à comparer des grandes collections non-symboliques, et à placer des nombres sur une ligne numérique, en lien avec un affaiblissement de l'acuité numérique. Il y aurait donc un déficit au niveau du SNP et du SNA (Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2014). Pour vérifier cette hypothèse, des tâches de comparaisons de la magnitude numérique sont proposées. Les résultats rapportés par plusieurs études montrent que dans des tâches de comparaison faisant intervenir les codes symboliques, les enfants présentant une dyscalculie ont des scores significativement inférieurs aux enfants contrôles (pour une revue Lafay et al., 2015). Ces résultats laissent supposer qu'il y a un déficit du traitement numérique chez les enfants présentant une dyscalculie. En revanche, les résultats concernant des tâches de comparaison ne faisant pas intervenir les codes symboliques sont moins concluants. Certaines études montrent un déficit du SNA chez les enfants présentant une dyscalculie par rapport aux enfants contrôles, alors que d'autres travaux ne montrent pas de différences significatives entre

les enfants dyscalculiques et les enfants contrôles (pour une revue Lafay et al., 2015). Pour certains, le déficit du sens du nombre est dû à une atteinte du SNA, les difficultés concernent le traitement des grandes quantités présentées analogiquement (pour une revue Lafay et al., 2015). Il n’y a pas consensus sur le type d’atteinte du sens du nombre. Pour d’autres, le déficit du sens du nombre concerne plus précisément un déficit du sous-système SNP. Les enfants DD auraient alors un traitement plus long et moins précis des petites quantités (pour une revue Lafay et al., 2015). Néanmoins, il semble qu’il y ait un déficit du sens du nombre chez les enfants DD puisqu’ils présentent des difficultés dans le traitement des quantités non-symboliques. Plusieurs études citées dans Lafay et al. (2015) ont montré que les enfants dyscalculiques présentent des difficultés dans des tâches d’estimation de subitizing. Les difficultés se manifestent par un temps de traitement plus long que chez les sujets contrôles de 7 à 12 ans ou par un nombre d’erreurs plus importants. Lafay et al. (2015) citent également plusieurs études qui ont montré que les enfants dyscalculiques sont moins performants dans des tâches de comparaison ou d’estimation d’ensembles de points ; le nombre d’erreurs est plus important mais ils sont aussi rapides que les contrôles, ou ils sont plus lents mais aussi précis.

La seconde hypothèse soutient que les enfants DD n’ont pas de déficit du SNA mais ont un problème d’accès au SNA uniquement si la magnitude est représentée symboliquement (Schwenk et al., 2017). Cependant pour Wilson et Dehaene (2007) cette hypothèse ne devrait pas permettre d’observer de déficit dans les tâches non-symboliques comme c’est le cas dans certaines études.

2.2.2. déficit d’accès au sens du nombre (aux représentations numériques mentales via les codes symboliques)

Selon Noël et Rousselle (2011) la difficulté à associer les symboles écrits à la représentation mentale de la quantité ou des phonèmes entraîne des difficultés en mathématiques et en lecture ; on parle alors de déficit des connexions entre les représentations symboliques et non-symboliques. Le déficit de la construction du lien entre le sens du nombre inné et les représentations symboliques acquises plus tard serait alors à l’origine de la DD. Dans cette perspective, le système non-symbolique serait préservé mais le sujet est en incapacité de relier les représentations non-symboliques précoces aux représentations symboliques acquises au cours du développement. Plusieurs

études chez des enfants jeunes montrent que la manifestation première des enfants dyscalculiques concerne le processus de magnitude numérique à partir des codes symboliques (Lafay et al., 2013 ; Noël & Rousselle, 2011). Le déficit du SNA apparaît plus tard dans le développement, entre 8 et 10 ans (pour une revue Noël & Rousselle, 2011) et serait secondaire au déficit de connexion. Le développement de la représentation précise exacte ne serait pas efficient chez les enfants dyscalculiques et entraînerait des difficultés à manipuler les nombres et à réaliser des calculs exacts (De Smedt, Noël, Gimore, & Ansari, 2013). Or d'après le modèle de Carey, cette représentation précise exacte se connecte ensuite au SNA au cours du développement, permettant au SNA de s'améliorer en précision (Noël & Rousselle, 2011 ; Noël, Rousselle, & De Visscher, 2013). Cela expliquerait pourquoi les différences entre les enfants dyscalculiques et les enfants contrôles pour la comparaison non symbolique n'apparaissent que dans un second temps (De Smedt et al., 2013 ; Noël & Rousselle, 2011). La réduction de l'acuité du SNA serait la conséquence, plutôt que la cause, du déficit primaire de connexion entre les représentations symboliques et non-symboliques (Noël & Rousselle, 2011 ; Noël et al., 2013). Ainsi un déficit du SNA peut être observé sans pour autant que le déficit de base soit l'atteinte du sens du nombre. Néanmoins, une méta-analyse récente (Schwenk et al., 2017) montre que la différence entre la comparaison de magnitude symbolique et non-symbolique entre les enfants tout-venant et les enfants présentant une dyscalculie développementale n'est pas dépendante de l'âge. Les enfants présentant une dyscalculie développementale auraient donc des difficultés à traiter les nombres symboliques, et à un degré moindre des difficultés à traiter les quantités non-symboliques dès le départ. Cette différence resterait la même tout au long de l'enfance. Les difficultés des DD semblent être reliées à des difficultés d'acquisition de transmission culturelle plutôt qu'à des compétences innées : le traitement rapide et la compréhension des symboles numériques. Ces compétences peuvent être entraînées (Schwenk et al., 2017). L'étude menée par Holloway et Ansari (2009) montre que les compétences symboliques des enfants sont associées à des réussites en mathématiques, alors que les compétences non-symboliques ne le sont pas. Autrement dit, un trouble du sens du nombre, soit des compétences non-symboliques, n'impacterait pas directement les performances en mathématiques, et ne pourrait donc pas expliquer la dyscalculie. Cependant, Lafay et al. (2015) émettent la possibilité de deux origines cognitives différentes de la dyscalculie : déficit du sens du nombre et déficit de l'accès au sens du nombre par les codes symboliques. Les deux

causes conduisent à deux types de dyscalculie : la dyscalculie analogique et la dyscalculie symbolique (Lafay et al., 2015)

Le déficit du processus de magnitude symbolique chez les sujets dyscalculiques est persistant à l'âge adulte. Il semble ainsi être un bon candidat pour dépister la dyscalculie chez les enfants d'âge scolaire. Certaines épreuves ont été élaborées pour évaluer ce processus, cependant peu de tests étalonnés en France les proposent. Le Numeracy Screener étalonné au Canada permet également d'évaluer ce processus.

II. Evaluation de la dyscalculie primaire

1. Traitement de magnitude symbolique et non-symbolique

1.1. Tâches et modalités des tâches

Initialement, les compétences mathématiques étaient souvent mesurées avec des tests de compétences, comme les capacités de calcul. Cependant, ce type de tests ne s'inscrit pas nécessairement dans les processus fondamentaux permettant aux enfants d'acquérir des compétences pertinentes sur le plan scolaire, comme la fluidité arithmétique. Nosworthy, Bugden, Archibald, Evans, et Ansari (2013) préconisent d'inclure dans les tests des mesures du traitement de la magnitude numérique qui sont des compétences fondamentales des capacités numériques. Le traitement des magnitudes symboliques ou non-symboliques est considéré comme un processus important dans le développement des compétences arithmétiques (Brankaer, Ghesquière, & De Smedt, 2017 ; Schwenk et al., 2017). Vanbinst, Ansari, Ghesquière, et De Smedt (2016) ont montré que le traitement de magnitude numérique symbolique est aux compétences arithmétiques ce qu'est la conscience phonologique aux capacités de lecture.

Dans une démarche diagnostique de la dyscalculie primaire, Lafay et al. (2014) préconisent d'évaluer les habiletés numériques avec plusieurs épreuves permettant de vérifier l'intégrité du SNA et du SNP, ainsi que l'intégrité de l'accès à ces deux systèmes via les codes symboliques (arabe et oral). Ils recommandent de proposer des comparaisons de nombres présentés en chiffres arabes ou oralement, ainsi que des adéquations de nombres arabes ou oraux avec des quantités analogiques. Des productions de nombres arabes ou oraux à partir d'une quantité analogique, ou inversement, peuvent aussi être proposées. Enfin pour vérifier l'intégrité d'un processus, ils préconisent de proposer des tâches contenant au moins une douzaine d'items.

Le plus souvent, des tâches de comparaison de nombres à un, deux ou trois chiffres ou de comparaison de nuages de points sont utilisées pour évaluer le traitement de magnitude symbolique et non-symbolique (Schwenk et al., 2017). Les sujets sont amenés à sélectionner le stimulus représentant la plus grande quantité numérique parmi deux stimuli, le plus rapidement et précisément possible. L'étude de Nosworthy et al. (2013) a

montré une corrélation entre les résultats obtenus à des tâches de bas de niveau de comparaison symbolique et non symbolique et les résultats obtenus à un test de performance arithmétique standardisé.

Deux tests évaluant le traitement de magnitude numérique ont fait l'objet de publications. Le Numeracy Screener élaboré dans le cadre de la thèse de Nosworthy (2013) propose deux tâches de comparaison de magnitude : une tâche symbolique et une tâche non-symbolique. Ce test a été étalonné chez des enfants canadiens de grade 1 à grade 3. Le SYMP Test développé par Brankaer et al. (2017) est composé de deux tâches de comparaison de magnitude symbolique, l'une avec des nombres d'un chiffre, l'autre avec des nombres de deux chiffres. Il a été étalonné auprès de 1588 enfants de grade 1 à 6 en Belgique.

D'autres études ont utilisé des tâches d'appariement d'une représentation symbolique à une représentation non-symbolique et inversement (Mundy et Gilmore cited in Brankaer et al., 2014 ; Brankaer et al., 2014). Ils ont montré une corrélation entre les performances à des tâches d'appariement, allant dans les deux sens, et les performances à des épreuves mathématiques chez des enfants de grade 1 et 2. Ainsi la capacité à associer des représentations de petites quantités (1 à 9) symboliques et non symboliques jouerait un rôle important dans le développement des mathématiques. Selon eux, cette capacité ne peut être pleinement mesurée si on observe seulement les performances en comparaison symbolique, comme c'est le cas le plus souvent. L'étude de Mazzocco, Feigenson, & Halberda s'est intéressée à l'estimation correspond au passage du non-symbolique vers le symbolique (cited in Brankaer et al., 2014).

Les passations sont proposées en modalité papier-crayon (Nosworthy et al., 2013 ; Brankaer et al., 2017) ou informatique (Brankaer et al., 2014 ; Mussolin, Mejias, & Noël, 2010). La modalité papier-crayon a pour avantage de ne pas nécessiter d'équipements particuliers et permet la passation rapide auprès d'un groupe, tandis que la modalité informatique a pour avantage d'obtenir des mesures par item, et de contrôler les temps d'affichage.

1.2. Mesures utilisées

Il existe différentes mesures mettant en évidence la précision des représentations numériques. On peut notamment s'intéresser aux effets classiques mis en jeu lors du traitement numérique. La sensibilité à ces effets évolue au cours du développement. Plusieurs études ont comparé ces différents effets au cours de tâches de comparaison numérique, chez des enfants dyscalculiques et des enfants tout-venant.

On distingue trois effets de mesure de la magnitude répondant à la loi de Weber-Fechner : l'effet de rapport numérique (numerical ratio effect, NRE), l'effet de taille et l'effet de distance numérique (numerical distance effect, NDE ou comparison distance effect, CDE).

L'effet de rapport numérique met en évidence que plus le ratio est grand, moins la comparaison est évidente (Nosworthy, 2013). Il est par exemple plus rapide de comparer 5 vs 9 (ratio 0.55, distance 4) que 6 vs 9 (ratio 0.66, distance 3) ou que 25 vs 29 (ratio 0.86, distance 4).

L'effet de taille montre que la comparaison de quantités de petite magnitude est plus rapide que la comparaison de quantités de grande magnitude. Ainsi il serait plus rapide de comparer 5 vs 9 (ratio 0.55, distance 4) que 25 vs 28 (ratio 0.89, distance 4) ou que 10 vs 18 (ratio 0.55, distance 8). Une revue de Lafay et al. (2015) rapporte que trois études qui se sont intéressées à l'effet de taille ont mis en évidence que les enfants dyscalculiques de 9-10 ans étaient plus influencés par la taille des collections que leurs pairs contrôles pour comparer des quantités. Cependant, les résultats divergent dans les trois études, en fonction du format (symbolique ou non-symbolique), de la taille des collections, et de la variable mesurée (temps ou nombre d'erreurs).

L'effet de distance permet de comparer plus rapidement des quantités éloignées que des quantités proches. Il est par exemple plus rapide de comparer 1 vs 2 (ratio 0.5, distance 1) que 2 vs 4 (ratio 0.5, distance 2). Gilmore, Mc Carthy, et Spelke ont montré que les enfants sont sensibles à l'effet de distance dès 5 ans (as cited in Lafay et al., 2015). Il existe un caractère évolutif de l'effet de distance au cours du développement. Les enfants ont un plus grand NDE que les adolescents et les adultes (Holloway & Ansari, 2009). Une méta-analyse récente (Schwenk et al., 2017) relève que l'effet de distance est reconnu

comme caractéristique de la précision de la représentation de la magnitude mentale. Ainsi ils supposent que cet effet de distance est différent chez les enfants présentant des difficultés en mathématiques. Les études qui se sont intéressées à l'effet de distance chez les enfants dyscalculiques ne font pas consensus. Selon certaines, les enfants dyscalculiques sont autant affectés par l'effet de distance que leurs paires contrôles, pour d'autres, ils le sont davantage (Lafay et al., 2015 ; Mussolin et al., 2010).

Deux autres effets sont également observables. L'effet de congruité de la taille (Numerical Stroop effect) correspond à une diminution du temps de réponse lorsque la taille physique et la grandeur numérique sont congruentes, et à une augmentation du temps de réponse lorsqu'elles sont non congruentes. Cet effet est observé chez les enfants de 7-8 ans (Mussolin et al., 2010). Les études menées chez les enfants et les adultes dyscalculiques concernant cet effet ne font pas consensus (Mussolin et al., 2010). Une étude menée par Rubinstein et Henik a montré que les adultes dyscalculiques, contrairement au groupe contrôle, ne présentaient pas d'effet de congruité de la taille quand ils devaient juger les caractéristiques perceptives de nombres arabes (as cited in Mussolin et al., 2010). L'effet de SNARC (Spatial Numerical Association of Response Code) correspond à une préférence pour la disposition des items dans le même ordre que la ligne numérique mentale : le stimulus de gauche correspond à la plus petite quantité et celui de droite correspond à la plus grande quantité. Cet effet est observable chez les enfants à partir de 7 ans (Mussolin et al., 2010). L'étude de Bachot, Gevers, Fias, et Roeyers a montré l'absence de cet effet chez des enfants ayant des difficultés arithmétiques et visuospatiales (as cited in Mussolin et al., 2010). Ce constat peut être en lien avec un trouble de la représentation de la ligne numérique mentale orientée de gauche à droite.

Les différents effets sont mesurés en fonction du taux d'erreur ou du temps de réponse. Concernant l'effet de distance, les fractions de Weber sont la mesure de pointe pour les tâches non symboliques. En revanche, pour les tâches de comparaison symbolique, le temps de réponse est plus pertinent que le taux d'erreur, car le taux d'erreur est très faible et conduit à de faibles variances et un effet plafond de la tâche (Schwenk et al., 2017).

1.3. Tâches et mesures prédictives

Les outils doivent répondre à certains critères pour être valides scientifiquement. Lafay et al. (2014) indiquent que les outils doivent balayer l'ensemble des codes numériques et couvrir une grande tranche d'âge. Des normes en termes de précision et de temps de réponse sont requises (Wilson et Dehaene, 2007). En effet, le score de précision (c'est-à-dire le nombre de réponses correctes) d'un enfant dyscalculique peut être dans la norme alors que le temps de réponse est significativement plus long que chez des enfants tout-venant.

Holloway et Ansari ont montré en 2009 chez des enfants de 6 à 8 ans que seule la comparaison symbolique est corrélée aux compétences arithmétiques. Halberda, Mazocco et Feigenson ont montré quant à eux, une corrélation entre la comparaison de magnitude non-symbolique et la réussite en mathématiques dans une étude longitudinale d'enfants de la grande section maternelle à grade 6 (as cited in Nosworthy et al., 2013). Dans une revue de la littérature De Smedt et al. (2013) relèvent que les performances à des tâches de comparaison symboliques sont corrélées de manière robuste et significative aux compétences mathématiques actuelles et ultérieures. Ils ont trouvé que le temps de réponse permet de manière constante de mettre en évidence cette corrélation alors que les scores de précision ou d'effet de rapport numérique ou de distance ne le permettent pas dans toutes les études.

La méta-analyse de Schwenk et al. (2017) a mis en évidence chez les jeunes enfants, que le traitement de magnitude symbolique est davantage un prédicteur des compétences futures en mathématiques par rapport au traitement de magnitude non-symbolique. D'ailleurs, Vanbinst et al. (2016) ont montré que le traitement de magnitude symbolique semble être aussi important pour prédire les compétences arithmétiques à l'école primaire que les compétences phonologiques le sont pour prédire les performances futures en lecture. Schwenk et al. (2017) concluent donc que les performances en comparaison de quantité symbolique seraient un marqueur central pour prédire le développement des compétences arithmétiques et spécifiquement pour la détection précoce de la dyscalculie. Leurs résultats sont néanmoins nuancés. Dans leur étude qui avait pour objectif de comparer les comparaisons de magnitude symbolique et non-symbolique, ils ont utilisé la mesure du temps de réponse basée sur l'effet de distance. Ainsi, bien que les difficultés

des enfants dyscalculiques soient significativement moins importantes en non-symbolique (par rapport au symbolique), les résultats ne sont pas négligeables et il est possible que d'autres indices de précision (fraction de Weber, i.e. effet de taille) soient plus sensibles que le temps de réponse pour le traitement de magnitude non-symbolique (Schwenk et al., 2017). Cependant, ils n'ont pas observé de différences qualitatives de la vitesse de réponse basée sur l'effet de distance entre les enfants dyscalculiques et les enfants contrôles. Ils remettent ainsi en question l'utilisation de mesure de l'effet de distance dans une démarche diagnostique. Selon eux, il vaut mieux privilégier la vitesse du traitement de la magnitude symbolique comme indicateur des difficultés en mathématiques.

Certains tests étalonnés en France permettent d'évaluer le processus de magnitude symbolique et non-symbolique.

2. Les tests permettant d'évaluer le traitement de magnitude numérique

2.1. Les tests normés pour la population française

Il est nécessaire d'utiliser des outils qui ont été normés pour la population cible. En effet, Lafay et al. (2015) rappellent qu'il existe des différences importantes de performances en mathématiques selon les pays, notamment les habiletés en calcul. La langue, la transparence du système numéral, le système scolaire peuvent expliquer ces différences.

Les tests disponibles en France permettant d'évaluer les processus numériques de base et notamment le traitement de la magnitude numérique sont répertoriés dans le Tableau 5 (Annexe I). Peu d'outils normés en France permettent d'évaluer le code analogique pur : le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven, Grégoire, & Noël, 2001), le Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006), le Tedi-Math Grand (Noël & Grégoire, 2015) et l'Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016). Ces quatre tests proposent des épreuves de comparaison de quantités, sous forme d'ensembles de points ou d'objets pour la plupart. Le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001) et le Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006) ne proposent qu'un nombre limité d'items et ne prennent pas en compte la vitesse de traitement. Le Tedi-Math Grand (Noël & Grégoire, 2015) est la seule batterie qui propose une épreuve de comparaison d'une quantité sonore (nombre de bips) et d'une quantité visuelle (nombre de pièces de puzzle). Les quantités ne peuvent pas être dénombrées ; l'objectif est d'évaluer véritablement le traitement de la quantité. Le nombre d'items est

conséquent, le temps d’affichage est contrôlé et le score pris en compte est la précision des réponses. L’Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) proposent deux parties, l’une est consacrée aux quantités inférieurs à 5 (subitizing), l’autre est consacrée aux quantités comprises entre 5 et 13. La durée d’affichage est limitée : 500 ms pour les quantités de 1 à 4, et 1000 ms pour les quantités de 5 à 13.

Concernant l’évaluation du traitement de magnitude numérique symbolique, davantage d’outils sont disponibles (Annexe I, Tableau 6). Il s’agit d’évaluer l’accès au code analogique à partir des codes symboliques. Plusieurs tests permettent d’évaluer le traitement numérique oral et le lien au sens des quantités. Le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001), le Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006), le Numerical (Gaillard, 2000) et l’Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) proposent des comparaisons de nombres oraux. L’Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) propose davantage d’items et différencie les petits-nombres (1 à 4), des moyens nombres (5 à 13) et des grands nombres (10 à 80), et délivre le temps de réponse moyen par item réussi. Dans la B-LM (Métral, 2008) et le Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006), on trouve des items de reconnaissance de configurations canoniques, mais le temps d’affichage n’est pas contrôlé et le nombre d’item est restreint. Le MathEval (Heremans, 2011), le Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006), le Tedi-Math Grand (Noël & Grégoire, 2015) et l’Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) proposent des tâches d’identification de quantités présentées sur un écran d’ordinateur pendant un temps très court. Lorsque les quantités sont inférieurs à 10, on évalue le SNP (inné pour les quantités de 1 à 4, et acquis par exposition pour les quantités de 5 à 9). Les tâches d’estimation avec quantités supérieures à 10 permettent d’évaluer le SNA. Seul l’Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) fournit en plus du score de précision, la distance moyenne à la cible et le temps de réponse moyen par item réussi. Certains tests proposent également des tâches de positionnement de nombres oraux sur une ligne numérique verticale (Zareki-R de Dellatolas & Von Aster, 2006 et le Numerical de Gaillard, 2000) ou horizontale (Examath 8-15 de Lafay & Helloin, 2016). Le Numerical (Gaillard, 2000) propose également de placer des nombres sur un compteur de vitesse. Enfin, l’Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) dispose également d’une épreuve de jugement oral/analogique. Cette épreuve fait intervenir une composante exécutive dans laquelle l’enfant doit dire si le nombre analogique et le nombre symbolique oral représentent la même quantité. Une seule

batterie, le Numerical (Gaillard, 2000), propose une épreuve de comparaison de nombres faisant intervenir le code symbolique verbal écrit et le lien au sens des quantités.

D'autres épreuves permettent d'évaluer le traitement de magnitude numérique symbolique à partir du code symbolique arabe. De la même manière que pour le code symbolique oral, on retrouve des tâches de comparaison de nombres arabes dans le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001), MathEval (Heremans, 2011), Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006) et Tedi-Math Grand (Noël & Grégoire, 2015), ou des tâches de positionnement de nombres arabes sur des lignes numériques horizontales comme dans le MathEval (Heremans, 2011) et l'Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016). Dans l'Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016), les lignes numériques sont variables, 0 à 100, 0 à 1000 ou -1000 à 1000. L'Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) a également une tâche de jugement arabe/analogique semblable à celle du jugement oral/analogique. Enfin le Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001) propose une épreuve d'appréciation de l'écart relatif de deux nombres par rapport à une cible ; l'enfant doit choisir parmi deux nombres celui qui est le plus proche du nombre cible.

En résumé, la plupart des tests ne permettent pas d'évaluer à la fois le traitement de magnitude numérique non-symbolique et le traitement de magnitude symbolique. Tous les outils ne prennent pas en compte la vitesse de traitement et ne proposent qu'un nombre limité d'items ce qui ne permet pas d'identifier l'intégrité et l'automatisation d'un processus.

Le test Numeracy Screener étalonné au Canada permet d'évaluer à la fois le traitement de magnitude numérique non-symbolique et le traitement de magnitude symbolique.

2.2. Un test pas encore normé pour la population française : Numeracy Screener (Nosworthy et al., 2013)

Ce test a été réalisé dans le cadre de la thèse de Nosworthy (2013) et a été administré à des enfants canadiens de grade 1 au grade 3 (équivalent au CP, CE1 et CE2 en France).

Ce test est composé de deux tâches de comparaison de quantités allant de 1 à 9 permettant d'évaluer les processus numériques de base. Il y a 56 paires de quantités symboliques présentées en chiffres arabes, et 56 paires de quantités non-symboliques présentées sous

forme de nuage de points (Annexe II). On demande aux participants de barrer la quantité la plus importante. Les enfants de maternelle ont 2 minutes pour répondre au plus d'items possible pour chaque partie, les enfants de grade 1 à 3 ont 1 minute. Trois items exemples réalisés par l'examineur permettent de s'assurer de la bonne compréhension des consignes. Ensuite, neuf items permettent aux participants de s'entraîner avant le début de l'épreuve. Pour la partie non-symbolique, les participants ne doivent pas compter les points. L'ordre de passation entre les deux types de représentation est randomisé.

Pour les deux types de représentation, les paires sont présentées une fois dans un sens et une fois dans l'autre sens (2/7 et 7/2) ; ainsi l'ordre de la ligne numérique mentale est respectée ou inversée. Pour la représentation non-symbolique, la surface et la densité des stimuli ont été contrôlés ; la présentation est aléatoire. Soit les points ont des surfaces cumulées égales et le nuage avec le plus de points a un périmètre cumulé supérieur à l'autre nuage (Figure 3), soit les points ont des périmètres cumulés égaux et le nuage comportant le plus de points a une surface cumulée moins importante que l'autre nuage (Figure 4). Comme le disent Brankaer et al (2014), en contrôlant les paramètres non-numériques, on réduit la probabilité que les participants ne se fient à ces paramètres ou aux caractéristiques perceptives pour prendre une décision lors de la comparaison de magnitude.

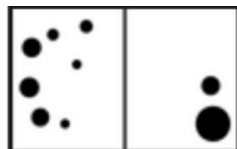


Figure 4 Surfaces cumulées égales (Numeracy Screener)

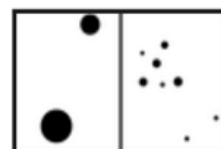


Figure 3 Périmètres cumulés égaux (Numeracy Screener)

Le ratio numérique a été manipulé afin d'avoir une augmentation croissante de la difficulté et de maintenir la motivation. Les premiers items ont des ratios numériques plus petits que les derniers items. Le ratio varie de 0.11 (1vs9) à 0.89 (8vs9). L'ordre de présentation des items dans les deux sous-épreuves est légèrement modifié pour ne pas être identiques (Annexe III)

Dans l'étude de Nosworthy et al. (2013), 197 enfants du grade 1 à 3 (équivalent du CP au CE2 en France) ont été recrutés. Les participants ayant des scores plafonds dans les deux parties (réponse correcte aux 112 items dans le temps imparti) et ceux ayant eu un problème dans la passation de l'épreuve (saut de page, réponse illisible) ont été exclus. Les enfants qui ont obtenu des scores insuffisants aux épreuves Math Fluency (faits

numériques simples), Calculation (résolution d'opérations à l'écrit), Reading Fluency (lecture de phrases) de la batterie Woodcock-Johnson III, Vocabulaire de la batterie Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence, Spatial Recall et Listening Recall de la batterie Automated Working Memory Assessment n'ont pas été inclus dans l'échantillon.

L'échantillon final était composé de 160 enfants, dont 83 filles, de 6 ans 4 mois à 9 ans 7 mois ($M = 8$ ans 1 mois, $ET = 9.38$ mois). Ils étaient répartis en trois niveaux : 26 enfants grade 1 ($M = 6$ ans 8 mois, $ET = 3.71$ mois) ; 56 enfants grade 2 ($M = 7$ ans 8 mois, $ET = 3.43$ mois) ; 78 enfants grade 3 ($M = 8$ ans 8 mois, $ET = 3.43$ mois). Ils étaient tous fluents en anglais et avaient une vision normale ou corrigée. Les participants ont été recrutés dans 36 écoles, en zone urbaine ou rurales, et étaient issus de groupes socio-économiques et ethniques variés.

Cet outil a été créé pour déterminer si la comparaison de magnitude symbolique ou la comparaison de magnitude non-symbolique est reliée aux performances des enfants à des tests de compétences. Ils ont montré que les scores de performance aux deux tâches de cet outil sont reliés à la réussite en mathématiques. Cet outil permet de caractériser les changements développementaux dans le traitement de magnitude numérique de base. Leurs résultats ont montré un effet global de la classe mais pas d'effet global de format. En effet, ils ont montré que les performances des enfants de grade 1 en comparaison de magnitude symbolique étaient significativement inférieures aux performances des enfants de grade 2, elles-mêmes inférieures à celle des enfants de grade 3. Ils ont également montré que les enfants de grade 3 avaient des scores significativement plus élevés que les enfants de grade 2 et de grade 1 pour la comparaison non-symbolique. En revanche il n'y avait pas de différences significatives entre les enfants de grade 1 et grade 2 pour la comparaison de magnitude non-symbolique.

Dans sa thèse, Nosworthy indique que la présentation des items, 14 par pages et en petit format, peut avoir ajouté une composante de complexité visuelle à la tâche. Elle ajoute que la composante motrice de la tâche de barrage dans les deux épreuves du Numeracy Screener n'a pas été contrôlée. Les différences individuelles de motricité fine peuvent avoir influencé les résultats des participants au test. Cependant, dans la mesure où des différences ont été observées entre les deux tâches chez les jeunes participants, en faveur de la tâche non-symbolique, elle suppose que la variabilité des scores est liée au traitement de la magnitude numérique et non à la composante motrice.

Partie II
PARTIE PRATIQUE

I. Problématique, hypothèses et objectifs

Problématique Le test Numeracy Screener permet-il de mettre en évidence des différences significatives entre des enfants de CM2 et de 6ème, et entre les enfants d'une même classe ?

Hypothèse principale : les scores des enfants tout-venant de CM2 sont significativement inférieurs à ceux de 6ème dans les formats symbolique et non-symbolique.

Hypothèse secondaire 1 : Les différences entre les enfants tout-venant d'une même classe sont indépendantes du sexe, de l'établissement scolaire, de la version du Numeracy Screener.

Hypothèse secondaire 2 : Les scores des enfants DD sont inférieurs à ceux des enfants tout-venant dans les deux formats.

Hypothèse secondaire 3 : La différence entre les formats n'est pas dépendante de la classe pour les enfants tout-venant de 10 à 12 ans (CM2 et 6ème), mais est dépendante du groupe (tout-venant et dyscalculique).

Objectif principal : comparer les résultats au test Numeracy Screener d'enfants tout-venant de CM2 et de 6ème (critère de mesure : score de performance)

Objectif secondaire 1 : comparer les résultats selon les variables sexe, version du Numeracy Screener, établissement (critère de mesure : score de performance)

Objectif secondaire 2 : comparer les scores des enfants DD aux scores des enfants tout-venant dans les deux formats (critère de mesure : score de performance)

Objectif secondaire 3 : comparer les résultats en fonction du format (symbolique et non-symbolique) (critère de mesure : score de performance)

Afin de valider ou d'infirmer nos hypothèses, nous avons fait passer le test Numeracy Screener à 263 enfants tout-venant (133 CM2, 130 6ème). Parallèlement, nous avons récolté les scores obtenus au Numeracy Screener par 10 patients présentant une dyscalculie.

II. Matériel et méthodes

1. Sujets

Parmi les 263 participants, 215 ont été inclus dans l'étude (102 garçons) qui provenaient de 7 écoles élémentaires et 5 collèges dans deux départements (Alpes-Maritimes et Vienne) (tableau 1). Les établissements se situaient en milieu rural ou urbain. Les enfants de CM2 (n=109) avaient un âge moyen de 10 ans 6 mois (M = 126,1 mois ; ET = 3.29 mois) et les enfants de 6ème (n=106) avaient un âge moyen de 11 ans 6 mois (M = 138,1 mois ; ET = 3.81 mois). Aucun des enfants inclus n'avait de trouble développemental rapporté par les parents, et aucun n'avait redoublé ou sauté de classe.

Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillon tout-venant.

Classe	Genre		Total	Age		
	Garçons	Filles		Moyenne (mois)	Ecart-type (mois)	Amplitude (mois)
CM2	48	61	109	126.1	3.29	120-133
6ème	54	52	106	138.1	3.81	132-145
Total	102	113	215			

En plus du groupe d'enfants tout-venant, un groupe de 13 enfants dyscalculiques a été recruté auprès d'orthophonistes exerçant en France (tableau 2). Les enfants dyscalculiques de CM2 (n=6) avaient un âge moyen de 10 ans 5 mois (M = 125.5 mois ; ET = 2.59 mois) et les enfants de 6ème (n=6) avaient un âge moyen de 11 ans 6 mois (M = 138.2 mois ; ET = 2.17 mois). Aucun n'avait redoublé de classe. Aucun n'avait de troubles associés tels que dyspraxie, trouble visuel non-corrigé. Cinq patients sur les 12 présentaient un trouble de l'attention associé à la dyscalculie, et/ou une dyslexie/dysorthographe, ce qui correspond aux données de la littérature (Lafay et al., 2015).

Tableau 2 Caractéristiques de l'échantillon dyscalculique.

Classe	Genre		Total	Age		
	Garçons	Filles		Moyenne (mois)	Ecart-type (mois)	Amplitude (mois)
CM2	1	5	6	125.5	2.59	123-130
6ème	2	4	6	138.8	2.48	136-142
Total	3	9	12			

Pour être inclus dans le groupe tout-venant, les enfants devaient être scolarisés en CM2 ou 6^{ème}, et avoir suivi une scolarité ordinaire en France (pas de redoublement ou de saut de classe), et qu'aucun trouble spécifique du développement diagnostiqué et en cours de rééducation, de trouble sévère du langage écrit ne soit mentionné. Pour être inclus dans le groupe dyscalculique, les participants devaient avoir reçu un diagnostic de trouble de la cognition mathématique (avec +/- trouble du langage écrit ou trouble de l'attention associé) posé par l'orthophoniste prenant en charge l'enfant.

Les enfants ayant redoublé ou sauté une classe, présentant un trouble tels que dyspraxie ou trouble visuel non corrigé n'ont pas été inclus dans l'échantillon. Cela représentait 37 enfants parmi les 263 enfants ayant répondu.

Onze enfants ont été exclus de l'échantillon. Cinq ont été exclus en raison de problème dans la passation (saut de page). Six ont été exclus en raison d'un score à l'une des épreuves dont la valeur était extrême, inférieure ou supérieure, non pertinente sur le plan statistique et repérée au moyen de représentations graphique "box plots". Nous avons procédé ainsi afin d'éviter une trop grande dispersion des scores qui se serait avérée non représentative.

2. Matériel

Le test Numeracy Screener a été utilisé tel qu'il a été réalisé par Nosworthy et al. (2013) à partir des documents téléchargeables sur le site du Laboratory Numerical Cognition. Les livrets de passation ont été imprimés en suivant les recommandations disponibles sur le site du Laboratory Cognition.

Les consignes ont été traduites et adaptées en français. Le temps de passation est resté inchangé par rapport à la version proposée aux enfants canadiens de grade 1 à 3, soit 60 secondes. L'épreuve Numeracy Screener est composée de deux tâches de comparaison de magnitude, l'une symbolique, l'autre non-symbolique (nuages de points). Les quantités sont comprises en 1 et 9. Chacune des tâches comprend 56 items (14 items par page), le sujet doit répondre au plus d'items possible en 1 minute en barrant la plus grande quantité parmi deux. Chaque épreuve est précédée de 3 items d'exemple, et de 9 items d'entraînement (Annexe 2). Les items d'exemple sont réalisés avec l'examineur, on explique et on montre à l'enfant comment barrer la plus grande quantité, et comment

changer sa réponse en cas d'erreur au cours de l'épreuve. Pour l'épreuve non-symbolique on demande à l'enfant de ne pas compter le nombre de points mais seulement de regarder et de décider dans quel rectangle il y a le plus de points. On demande ensuite à l'enfant de s'entraîner sur les 9 items pour s'assurer de la compréhension des consignes. Ensuite, on prévient l'enfant que l'épreuve va commencer, et qu'il dispose d'une minute pour réaliser le plus d'items possible, qui sont répartis sur quatre pages. On précise à l'enfant de tourner les pages lui-même et de nous dire s'il termine avant le temps imparti.

Les protocoles de version A et B, qui diffèrent dans l'ordre de présentation des deux tâches, ont été distribués de manière aléatoire. Nous avons ainsi répertorié les scores bruts pour chacune des sous-épreuves, le nombre d'erreurs ainsi que le temps pour réaliser la tâche (60 secondes au maximum). En Annexe III une description des caractéristiques de chaque item, le ratio, la distance, l'ordre par rapport à la ligne numérique mentale, et l'ordre d'apparition dans chacune des parties du test est disponible.

Pour obtenir le score obtenu à chaque épreuve, on compte le nombre d'items corrects sur ceux réalisés, on obtient un score sur 56. Si l'épreuve a été réalisée en moins de 60 secondes, on reporte le temps. Le score de ratio réussite/temps prend en compte le temps nécessaire pour effectuer l'épreuve.

Aucune autre épreuve n'a été proposée aux participants.

3. Méthode

Nous avons pris contact avec le laboratoire Numerical Cognition Laboratory pour savoir si le test pouvait être étalonné auprès d'une population plus âgée que l'échantillon initiale (grade 1 à grade 3).

Une autorisation a été accordée par les enseignants, les directeurs d'école et la direction des services départementaux de l'Éducation nationale pour les établissements du primaire, et les principaux pour les collèges. Les enfants et leurs parents ont reçu quelques semaines avant la réalisation des passations une lettre d'informations avec un formulaire d'autorisation ainsi qu'un questionnaire anonyme à remettre s'ils étaient d'accord pour participer à l'étalonnage.

Les enfants du groupe tout-venant ont passé le test entre le 8 décembre 2017 et le 8 février 2018 dans leur établissement scolaire, pendant les heures de classe. Les passations étaient réalisées de manière individuelle dans une salle au calme et en une seule session, par le même testeur pour tous les enfants de ce groupe. La version A (tâche symbolique suivie de la tâche non-symbolique) a été proposée à 105 enfants, la version B (tâche non-symbolique suivie de la tâche symbolique) à 110 enfants.

Les passations des enfants du groupe dyscalculique se sont déroulées entre mi-février 2018 et mi-mars 2018 et ont été réalisées par leur orthophoniste respectif à leur cabinet.

Concernant la cotation du test, le score brut pour chaque sous-épreuve est calculé en comptant le nombre d'items corrects (avec ou sans correction) réalisés au bout des 60 secondes. Le score ratio réussite/temps est calculé en divisant le score brut par le temps de réalisation de l'épreuve (60 secondes ou moins). Le score brut total est obtenu en additionnant les scores bruts des deux sous-épreuves.

Les normes percentiles ont été réalisées avec Excel, de la même manière que celles réalisées par le Numerical Cognition Laboratory. Des outils statistiques en ligne (test de normalité de Shapiro-Wilk, test d'ajustement binomial, test de comparaison Student, test de comparaison de Mann Whitney, test de comparaison de Kruskal-Wallis, Khi2, test de corrélation de Spearman) ont été utilisés pour les analyses statistiques.

III. Résultats

Notre objectif est de savoir si le Numeracy Screener permet de mettre en évidence des différences entre les sujets en fonction de leur classe, et au sein d'une même classe chez des enfants de 10 à 12 ans.

Nous avons récolté les scores des 215 enfants de l'échantillon pour obtenir des normes. Nous avons réalisé une analyse statistique descriptive des scores les analyses descriptives des différents scores obtenus, à savoir le score brut et le score ratio réussite/temps pour chacune des sous-épreuve, et le score brut total (addition des deux scores bruts). Le score ratio réussite/temps permet de différencier les scores entre les enfants ayant obtenu le score maximal et/ou ayant réalisé la tâche en moins de 60 secondes. Nous avons ainsi obtenu pour les deux classes les valeurs minimale et maximale, la moyenne, l'intervalle de confiance autour de la moyenne, l'écart-type et les percentiles 5, 10, 25 (Q1), 50 (médiane), 75 (Q3), 90 et 95 pour chaque type de score. Tous les scores sont reportés dans les tableaux 7 à 10 en Annexe IV.

Afin d'éviter une trop grande dispersion des scores, les valeurs extrêmes inférieures ou supérieures (non pertinentes sur le plan statistique), identifiées par un graphique de type boîte à moustache, ont été supprimées.

Nous avons réalisé un test de normalité de Shapiro-Wilk pour étudier la distribution des scores. Ce test a montré que plusieurs données ne suivaient pas une distribution normale ($p < 0.05$) (tableau 3).

Tableau 3 Distribution normale des scores * $p < 0.05$: distribution normale

	Score brut symbolique	Score brut non-symbolique	Ratio réussite / temps symbolique	Ratio réussite / temps non-symbolique	Score brut total
CM2	0.974 *	0.968 *	0.990	0.967 *	0.987
6ème	0.910 *	0.984	0.988	0.989	0.972 *

Les analyses de comparaison de ces différentes données sont répertoriées dans le tableau 4. Les analyses ne variant pas en fonction du type de score, les résultats présentés à la suite prennent en compte seulement l'analyse des scores bruts pour chaque sous-épreuve.

Tableau 4 Analyse statistique comparative *différence significative $p < 0.05$; ** différence significative $p < 0.01$

Epreuve	Intitulé de la mesure	Classe	Version A/B		Genre Garçon/Fille		Groupe		Etablissement	
			CM2	6 ^{ème}	CM2	6 ^{ème}	CM2	6 ^{ème}	CM2	6 ^{ème}
Comparaison de magnitude symbolique	Score brut	3887.5**	1135*	879**	1265	1369	432	424	12.1	12.59*
	Ratio réussite/temps	3842.5**	1142*	864**	1261	1352	221	212	12.1	12.0*
Comparaison de magnitude non-symbolique	Score brut	1612.0**	1967**	1637	1211	1294	312	323	6.86	5.01
	Ratio réussite/temps	3449.0**	1967**	1611	1211	1266	342	315	6.86	5.75
Comparaison de magnitude total	Score brut	3471.0**	1449	1205	1218	1346	279	263	11.68	10.49*

Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les enfants de CM2 obtiendraient des scores inférieurs aux enfants de 6ème. Nous avons donc effectué un test de comparaison de Mann-Whitney pour échantillons indépendants afin de déterminer s'il existe des différences entre les scores des CM2 et des 6ème. Nous observons un effet global de la classe pour l'épreuve de comparaison de magnitude symbolique ($U = 3887.5$, $p < 0.01$) et pour l'épreuve de magnitude non-symbolique ($U = 1612.0$, $p < 0.01$) (Figure 5). De plus, un test Khi2 nous a permis de mettre en évidence l'absence de différences significatives concernant la répartition des garçons et des filles entre les deux classes ($\chi^2(1) = 1.03$, $p = 0.31$), et l'absence de différences concernant la répartition des versions A et B entre les deux classes ($\chi^2(1) = 0.57$, $p = 0.45$).

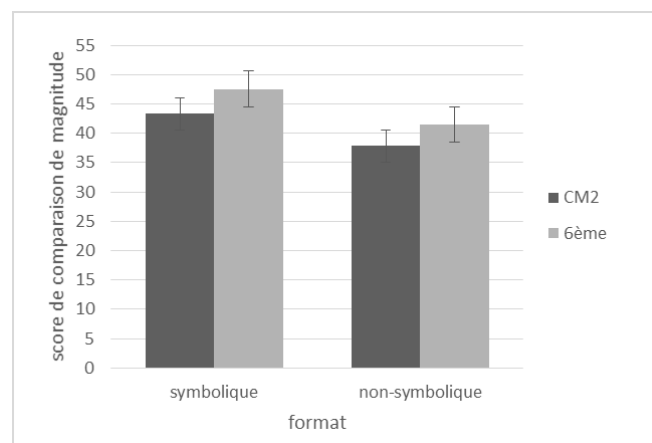


Figure 5 Scores selon la classe en fonction du format. Les barres graphiques représentent les performances moyennes des participants du groupe tout-venant pour chaque classe pour les items symboliques et non-symboliques. Les participants de CM2 avaient des scores moyens significativement inférieurs aux participants de 6ème, dans les deux formats. Les erreurs standards sont représentées par les barres d'erreur rattachées à chaque colonne.

Par ailleurs, nous avons formulé l’hypothèse que les différences entre les participants d’une même classe étaient indépendantes des variables : sexe, version du Numeracy Screener et établissement scolaire. Nous avons donc comparé les scores obtenus par les garçons et les filles au moyen du test de Mann-Whitney. Aucune différence significative n’est retrouvée pour la tâche symbolique ni pour les CM2 ($U = 1265.0$, $p = 0.22$) ni pour les 6ème ($U = 1369.5$, $p = 0.83$). Aucune différence significative n’est retrouvée non plus pour la tâche non-symbolique ni pour les CM2 ($U = 1211.0$, $p = 0.12$), ni pour les 6ème ($U = 1294.5$, $p = 0.49$). Le test ne montre pas d’effet global du sexe.

Nous avons comparé les scores obtenus par les participants ayant passé la version A et ceux obtenus par les participants ayant passé la version B à l’aide du test de Mann-Whitney. Il existe des différences statistiquement significatives entre les deux versions pour les scores bruts symboliques en CM2 ($U = 1135.5$, $p = 0.04$), et en 6ème ($U = 879$, $p < 0.01$) et non-symboliques pour les CM2 ($U = 1967.5$, $p < 0.01$), mais pas pour les 6ème ($U = 1637.5$, $p = 0.13$) (Figures 6 et 7). Il y a un effet de l’ordre de présentation des deux tâches, la deuxième tâche est globalement mieux réussie que la première. Cependant, il n’y a pas de différence significative pour le score total pour les deux classes, ($U = 1449$, $p = 0.83$ en CM2 ; $U = 1205$, $p = 0.22$ en 6ème).

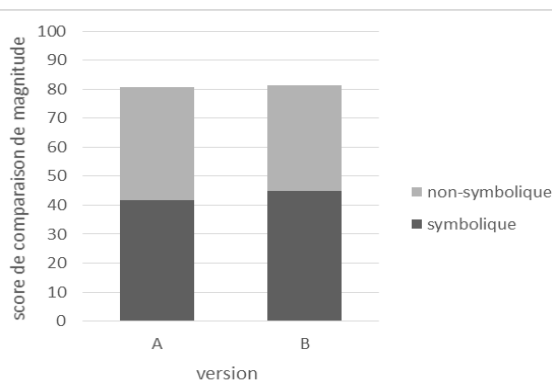


Figure 7 Scores selon le format en fonction de la version (CM2). Les barres graphiques représentent les performances moyennes des participants du groupe tout-venant pour chaque version pour les items symboliques et non-symboliques. Les participants de CM2 qui ont passé la version B avaient des scores plus élevés aux items symboliques comparés à ceux qui ont passé la version A. Et inversement, les participants qui ont passé la version A avaient des scores plus élevés aux items non-symboliques comparés à ceux qui ont passé la version B.

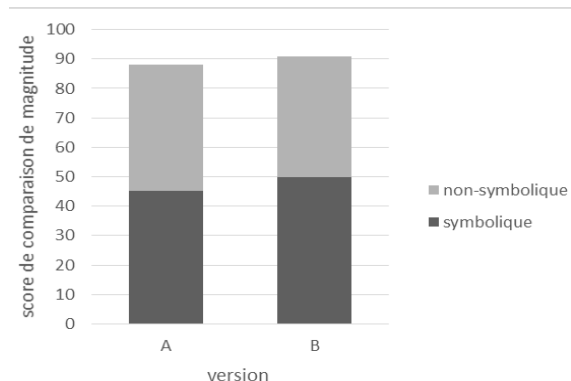


Figure 6 Scores selon le format en fonction de la version (6ème). Les barres graphiques représentent les performances moyennes des participants du groupe tout-venant pour chaque version pour les items symboliques et non-symboliques. Les participants de 6ème qui ont passé la version B avaient des scores plus élevés aux items symboliques comparés à ceux qui ont passé la version A. Il n’y avait pas de différences significatives des scores non-symboliques entre les participants qui ont passé la version A et ceux qui ont passé la version B.

Nous avons ensuite comparé les scores moyens obtenus par les participants en fonction de leur établissement au moyen d’un test de comparaison multiple non paramétrique de

Kruskal-Wallis. Concernant les établissements de CM2, les résultats ne montrent pas de différences significatives ni pour l'épreuve symbolique ($h(6) = 12.1$, $p = 0.06$), ni pour l'épreuve non-symbolique ($h(6) = 6.86$, $p = 0.33$). Concernant les établissements de 6^{ème}, les résultats ne montrent pas de différences significatives pour l'épreuve non-symbolique ($h(4) = 5.04$, $p = 0.28$), en revanche on retrouve des différences significatives pour l'épreuve symbolique ($h(4) = 12.59$, $p = 0.01$). Il n'y a pas d'effet global de l'établissement, hormis pour l'épreuve symbolique en 6^{ème}.

Nous avons formulé l'hypothèse que les performances des enfants du groupe dyscalculique seraient inférieures aux performances des enfants du groupe tout-venant. Nous avons donc comparé les scores bruts obtenus par les enfants du groupe dyscalculique et ceux obtenus par les enfants du groupe tout-venant, par classe, au moyen du test de Mann-Whitney. Concernant les participants de CM2, les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les deux groupes, ni pour l'épreuve symbolique ($U = 432.5$, $p = 0.19$), ni pour l'épreuve non-symbolique ($U = 312$, $p = 0.85$). Concernant les participants de 6^{ème}, les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les deux groupes, ni pour l'épreuve symbolique ($U = 424$, $p = 0.16$), ni pour l'épreuve non-symbolique ($U = 323$, $p = 0.95$). Par ailleurs, afin de vérifier que les répartitions étaient équivalentes entre les groupes, nous avons procédé à des tests de Khi^2 ou à des tests exacts de Fisher selon les effectifs. Les tests ont montré que la répartition des garçons et des filles entre les deux groupes (*Fisher exact* $p = 0.15$), et entre les classes pour le groupe dyscalculique (*Fisher exact* $p = 1$) est équivalente. Ils ont montré également que la répartition des versions A et B entre les garçons et les filles pour le groupe tout-venant ($\chi^2(1) = 0.25$, $p = 0.62$), et pour le groupe dyscalculique (*Fisher exact* $p = 0.45$) est équivalente. Ils ont montré que la répartition des versions A et B entre les classes pour le groupe tout-venant ($\chi^2(1) = 0.57$, $p = 0.45$) et pour le groupe dyscalculique (*Fisher exact* $p = 1$) est équivalente. En revanche, la répartition des versions A et B est significativement différente entre les deux groupes (*Fisher exact* $p = 0.03$).

Nous avons formulé l'hypothèse que les différences entre les formats symbolique et non-symbolique n'étaient pas dépendantes de la classe, mais que cette différence est dépendante des groupes tout-venant et dyscalculique. Nous avons donc effectué un test des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés afin de déterminer s'il existe des différences entre les scores aux épreuves symbolique et non-symbolique, pour les deux

classes du groupe tout-venant. Les résultats ont montré des différences significatives pour les deux classes, (CM2 : $Z = 5145$, $p < 0.01$, 6^{ème} : $Z = 4824$, $p < 0.01$). Les scores obtenus en comparaison de magnitude symbolique étaient supérieurs aux scores obtenus en comparaison de magnitude non-symbolique. Ces différences significatives étaient également retrouvées si l'on contrôlait la version du test utilisée, (version A : $Z = 3790.5$; $p < 0.01$, version B : $Z = 5956.5$, $p < 0.01$). Il y a donc un effet global du format quelle que soit la classe (Figure 8).

D'autre part, un test de corrélation de Spearman montre que pour les deux classes du groupe tout-venant, les scores symbolique et non-symbolique sont corrélés. Ils entretiennent une relation positive forte pour l'échantillon total ($r = 0.625$, $p < 0.01$) à la fois pour les CM2 ($r = 0.608$, $p < 0.01$) et pour les 6^{ème} ($r = 0.575$, $p < 0.01$).

Nous avons également effectué un test des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés afin de déterminer s'il existe des différences entre les scores aux épreuves symbolique et non-symbolique pour les participants du groupe dyscalculique. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les formats pour les deux classes, en CM2 ($Z = 6.5$, $p = 0.89$) et en 6^{ème} ($Z = 12.5$, $p = 0.75$). Le test ne révèle pas d'effet global du format pour les sujets du groupe dyscalculiques (Figure 8).

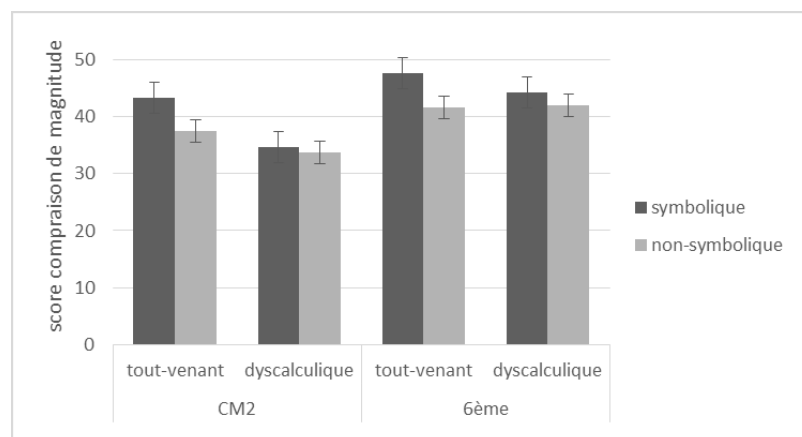


Figure 8 Scores selon le format en fonction du groupe et de la classe. Les barres graphiques représentent les performances moyennes des participants des deux groupes dans chaque classe pour les items symboliques et non-symboliques. Les participants du groupe tout-venant montraient des différences significatives entre les deux conditions (pour les deux classes), alors que les participants du groupe dyscalculique ne montraient pas de différences significatives entre les deux conditions (pour les deux classes). Les erreurs standards sont représentées par les barres d'erreur rattachées à chaque colonne.

D'autre part, un test de corrélation de Spearman montre que pour les deux classes du groupe dyscalculique, les scores symbolique et non-symbolique sont corrélés. Ils entretiennent une relation positive forte pour l'échantillon total ($r = 0.212$, $p = 0.51$) à la fois pour les CM2 ($r = 0.516$, $p = 0.29$) et pour les 6^{ème} ($r = 0.145$, $p = 0.78$).

On s'aperçoit que pour la tâche de comparaison symbolique le score d'amplitude maximale obtenu par les enfants de CM2 est de 56, soit le score maximum possible à l'épreuve (Annexe IV, tableau 7). Le même constat est fait pour les enfants de 6^{ème} (Annexe IV, tableau 9). Nous avons donc calculé le pourcentage d'enfants qui atteint le score plafond dans chaque classe. En CM2, 11 enfants obtiennent le score plafond, soit 10.1% de l'échantillon. En 6^{ème}, 28 enfants obtiennent le score plafond, soit 26.4%. Il y a donc un effet plafond de la tâche pour plus de 10% des participants en CM2, et plus de 25% en 6^{ème}.

Afin d'étudier la composition de l'échantillon, nous avons étudié la répartition des professions et des catégories socio-professionnelles des parents.

Tableau 5 Répartition par Professions et Catégories Socioprofessionnelles (INSEE Enquête emploi 2016)
*différence significative $p < 0.05$

Code PCS	Intitulé	Cohorte parents CM2		Cohorte parents 6ème		Cohorte parents échantillon total		INSEE en %
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	
1	Agriculteurs exploitants	1	1.14	2	1.92	3	1.56	1.2
2	Artisans, commerçants et chefs d'entreprise	9	10.23 *	9	8.65	18	9.38 *	5.4
3	Cadres et professions intellectuelles supérieures	13	14.77	18	17.31	31	16.15	15.4
4	Professions intermédiaires	16	18.18	15	14.42 *	31	16.15 *	22.9
5	Employés	16	18.18	24	23.08	40	20.83	23.4
6	Ouvriers	25	28.41 *	31	29.81 *	56	29.17 *	18.4
7	Retraités	2	2.27	0	0	2	1.04	1.8
8	Autres personnes sans activité professionnelle	6	6.82	5	4.81 *	11	5.73 *	13.0
Total		88		104		192		
NC		21		2		23		

Nous avons recueilli la profession des parents au sein des questionnaires anonymes. Nous avons traité de manière arbitraire les données concernant la profession du père quand elle était communiquée. Si aucune information n'était mentionnée ou s'il était indiqué « décès », la profession de la mère a alors été prise en compte. Pour certains sujets (n= 23), aucune information n'était renseignée, la mention « NC » (non communiquée) a été attribuée. Un numéro a été attribué à partir des professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) de l'INSEE quand une information était renseignée. Les données ont ensuite été traduites en pourcentage et comparées aux données de l'INSEE au moyen d'un test binomial (Tableau 4). Nous avons pris comme référence la population 25-54 ans puisque la probabilité pour que les parents des enfants de 10 à 12 ans soient dans cette tranche d'âge est forte. Les résultats montrent quelques différences significatives.

IV. Discussion

Les études récentes viennent confirmer que les compétences de magnitude numérique, et plus particulièrement les compétences de traitement de magnitude symbolique, évaluées par des tâches de comparaison de magnitude, ont un rôle à jouer dans le développement des compétences numériques chez l'enfant.

L'objectif de ce travail était d'étudier les scores d'enfants de 10 à 12 ans à l'épreuve Numeracy Screener et d'établir des normes. Nous voulions savoir si ce test permettait d'identifier des différences individuelles chez les enfants de 10 à 12 ans, dans les deux formats, symbolique et non-symbolique. Pour cela, nous avons fait passer le test Numeracy Screener à 265 enfants.

Les principaux résultats ont montré que le test Numeracy Screener permettait de mettre en évidence des différences entre les participants de CM2 et de 6^{ème}, dans les tâches de comparaison de magnitude symbolique et non-symbolique. Cependant, nous n'avons pas mis en évidence de différences significatives entre les enfants tout-venants et les enfants dyscalculiques de CM2 et de 6^{ème} de notre échantillon. En revanche, nous avons observé un effet global du format pour les enfants tout-venant mais pas pour le groupe dyscalculique.

1. Différences entre les enfants de CM2 et de 6ème

Le test Numeracy Screener nous a permis de mettre en évidence des différences significatives entre les enfants de CM2 et les enfants de 6^{ème}, pour les deux tâches de comparaison. En effet, les scores obtenus par les élèves de 6ème étaient supérieurs aux scores obtenus par les élèves de CM2, pour les deux formats. Cela rejoint les observations de nombreuses études qui ont montré que l'acuité numérique augmente avec l'âge, permettant de comparer plus facilement des quantités numériques proches et se traduisant par une augmentation de la vitesse de traitement de la magnitude (Lafay et al, 2013). Nos résultats chez des enfants de 10 à 12 ans, vont dans le même sens que les résultats obtenus par Nosworthy (2013) qui a retrouvé également un effet global de la classe chez des enfants canadiens de 6 à 9 ans. Ces résultats laissent supposer que les enfants progressent dans la tâche au cours du développement. Nosworthy (2013) cite également une étude de Sekuler et Mierkiewicz qui a montré que le temps de réponse et le nombre d'erreurs

diminue avec l'âge dans une tâche de comparaison de magnitude symbolique. Ainsi, nous pouvons dire que l'outil Numeracy Screener permet de mettre en évidence l'évolution du traitement de la magnitude du nombre au cours du développement, chez des enfants de 6 à 12 ans. Nos résultats sont aussi similaires à ceux obtenus par Brankaer et al (2016) avec leur outil SYMP Test. Dans ce test, deux tâches de comparaison de magnitude symbolique sont proposées, l'une avec des nombres arabes à un chiffre, l'autre avec des nombres arabes à deux chiffres. Les résultats ont montré un effet de la classe pour des enfants de grade 1 à grade 6 (c'est-à-dire l'équivalent en France du CP à la 6^{ème}).

En revanche, en prenant en compte comme mesure le score de performance, on s'aperçoit qu'un pourcentage non négligeable de sujets dans notre échantillon obtient le score d'amplitude maximale. Ce pourcentage est plus important pour les participants de 6^{ème} que pour ceux de CM2, ce qui n'est pas surprenant par rapport à ce qui a été dit précédemment. Cette observation laisse supposer qu'il y a un effet de plafond de la tâche de plus en plus marqué à partir de 10 ans. Néanmoins, seuls environ 10% de notre échantillon en CM2 et environ 25% de notre échantillon n'ont obtenu le score maximal.

Brankaer et al (2016) indiquent que la variabilité dans la comparaison de magnitude numérique ne peut pas être identifiée en utilisant seulement des nombres à un chiffre, cela est encore plus vrai pour les enfants plus âgés. Certaines études sur la comparaison de magnitude de nombres à deux chiffres montrent que les enfants sont plus lents et moins précis que pour une tâche de comparaison de nombre à un seul chiffre, et que les performances à ce type de tâche sont aussi corrélées aux différences individuelles de réussite en mathématiques.

Le traitement des nombres à deux chiffres est différent ; deux modèles ont été proposés : le modèle holistique (le nombre est pris comme un ensemble) et le modèle computationnel (le nombre est composé d'un chiffre des dizaines et d'un chiffre des unités, ces deux chiffres sont traités séparément). Un effet de compatibilité vient s'ajouter à l'effet SNARC. Ainsi les nombres compatibles désignent les nombres pour lesquels la comparaison des chiffres des dizaines et des centaines concourent à la même décision (ex : 32 vs 45) ; les nombres incompatibles à l'inverse amènent à des décisions contradictoires (ex : 38 vs 45).

1.1. Différences selon l'ordre de présentation

En revanche, nous avons identifié un effet global de l'ordre de présentation des tâches chez les enfants tout-venant contrairement à ce que nous avons supposé. Le score obtenu à la tâche présentée en deuxième est globalement plus élevé que le score obtenu à la même tâche lorsqu'elle est présentée en premier, pour les deux formats. On peut alors se demander s'il n'y a pas un effet d'entraînement, d'une part du geste moteur (barrage) et d'autre part du traitement de la magnitude, permettant aux sujets de gagner en vitesse lors de la deuxième tâche. Nosworthy (2013) a souligné que dans son étude, elle n'a pas proposé de tâche contrôle motrice. Néanmoins, elle conclut qu'un effet global du format a été mis en évidence pour les enfants de grade 1, et donc que la composante motrice, impliquée dans les deux tâches, ne pouvait pas expliquer à elle seule cette différence. Dans son étude, les versions ont été réparties équitablement entre les participants. Cependant, aucune donnée ne mentionne de différence ou non entre les scores selon les versions. N'ayant pas proposé de tâche contrôle motrice aux participants, nous ne pouvons pas conclure par rapport à l'implication de la composante motrice dans les différences de performances observées entre les deux épreuves. Cependant, nous pouvons citer l'étude de Brankaer et al (2016) qui ont proposé une tâche contrôle motrice de barrage, similaire à la tâche de comparaison de nombres arabes à un et deux chiffres. Leur but était de vérifier que les différences observées pour les tâches de comparaison de magnitude symbolique entre le groupe tout-venant et le groupe dyscalculique, n'étaient pas dépendantes de la vitesse motrice, ce qui fut le cas dans leur étude. Néanmoins, on peut ajouter que malgré les différences de performance observées pour chacune des tâches selon l'ordre de présentation, cela n'influe pas le score de performance total obtenu au Numeracy Screener.

1.1.1. Différence entre les garçons et les filles

Comme attendu, nous n'avons pas observé d'effet global du sexe dans les performances des deux tâches et pour les deux niveaux du groupe tout-venant. Ces observations sont en accord avec les données rapportées par Devine et al (2013). Leur étude auprès de 1000 enfants britanniques a montré que globalement les performances en mathématiques des

garçons et des filles étaient équivalentes. Nous avons donc pour cette raison conservé des normes mixtes pour le Numeracy Screener.

1.1.2. Différence entre les établissements

Comme attendu également, nous n'avons pas mis en évidence d'effet global de l'établissement sur les performances obtenues au Numeracy Screener par les participants tout-venant de CM2 et de 6^{ème}, sauf pour le score de performance symbolique en 6^{ème}. Cela laisse donc supposer que les compétences numériques de base évaluées par le Numeracy Screener ne sont pas dépendantes des facteurs socio-économiques, du lieu de scolarisation (zone rurale ou urbaine), du département d'habitation.

En outre, concernant la représentativité de notre échantillon, bien que nous ayons mis en évidence des différences significatives concernant les catégories socio-professionnelles des parents par rapport aux références de l'INSEE, nous observons que notre échantillon permet de représenter, certes avec des différences de proportion, toutes les catégories socio-professionnelles. Ajoutons également que certaines erreurs d'attribution du code PCS ont pu être produites, soit en raison d'une mauvaise interprétation de l'information communiquée, parfois non précise. Par exemple l'information « plombier » peut désigner un professionnel de catégorie 2 ou 6. De plus, pour 23 participants nous n'avons aucune information. Dans ce cas, nous n'avons pas pris en compte la donnée dans la répartition. Nous n'avons pas pu dans ces cas-là déterminer si cette absence d'information correspondait à une indication « sans emploi » ou une non-réponse. Ces données auraient pu avoir un impact sur la répartition de l'échantillon total. Toutefois, compte tenu de la représentation de chacune des catégories, et de la mise en évidence d'absence d'effet d'établissement sur les performances, on peut considérer qu'il est envisageable d'utiliser les normes établies avec n'importe quel enfant scolarisé en CM2 ou 6^{ème} en France.

1.2. Différence entre les enfants tout-venant et les enfants dyscalculiques

Contrairement à ce qui était attendu, nos résultats ont montré une absence de différence significative entre le groupe tout-venant et le groupe dyscalculique, pour les deux formats. Or, plusieurs études ont mis en évidence des différences significatives entre des

enfants dyscalculiques et des enfants contrôles, à partir de tâche de comparaison de magnitude. Cependant, les mesures utilisées étaient différentes de celle utilisée dans le Numeracy Screener.

Dans une méta-analyse, Schwenk et al (2017) indiquent que les sujets dyscalculiques, à tout âge, montrent des différences significatives dans le traitement de magnitude symbolique, et de manière moins importante, des différences dans le traitement de magnitude non-symbolique. Ils auraient davantage de difficultés dans le traitement de magnitude symbolique que dans le traitement de magnitude non-symbolique, comparés à des enfants tout-venant.

Une revue de De Smedt et al (2013) rapporte des résultats cohérents concernant des études s'intéressant à la comparaison de magnitude symbolique. Ils citent trois études (De Smedt & Gilmore, 2011 ; Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004 ; Rousselle & Noël, 2007), qui ont mis en évidence des différences significatives entre des sujets contrôles et des sujets dyscalculiques à partir de mesures de temps de réponse et/ou d'effet de distance et/ou du taux d'erreur chez des sujets de 6 à 10 ans (selon les études). En revanche, concernant les tâches de comparaison non-symboliques, les résultats ne sont pas univoques. Selon eux, ces différences de résultats sont dues aux différences de mesures prises en compte (temps de réponse, précision des réponses, recours aux fractions de Weber ou à l'effet de distance ou l'effet de ratio) et aux différences d'âge des échantillons.

On peut suggérer concernant notre échantillon, que la mesure de performance utilisée dans le Numeracy Screener n'est pas adaptée pour mettre en évidence des différences entre les sujets tout-venant et les sujets dyscalculiques de 10 à 12 ans.

En revanche, nous avons observé un effet global du format pour le groupe tout-venant alors que nous n'avons pas mis en évidence cet effet de format pour le groupe dyscalculique. Nous avons également mis en évidence une corrélation positive entre les scores de performance en comparaison de magnitude symbolique et non-symbolique pour le groupe tout-venant. Cela laisse supposer, que de bonnes compétences de magnitude non-symbolique sont associées à de bonnes compétences de magnitude symbolique, ce qui est en accord avec l'hypothèse selon laquelle la magnitude symbolique repose sur les compétences de magnitude non-symbolique. Par contre, aucune corrélation n'a été mise en évidence entre les scores de performance dans les deux tâches pour les sujets du groupe dyscalculique. Une étude australienne de Chew, Forte, et Reeve (2016) a montré

que les enfants peuvent présenter des profils différents d'association entre les compétences de traitement de magnitude symbolique et non-symbolique, et ont étudié également l'association de chaque profil aux compétences mathématiques. Ils ont mis en évidence 4 profils distincts concernant les différences de performances symbolique/non-symbolique chez des enfants de 5 à 7 ans. Parmi ces 4 profils, deux sont associés à de bonnes compétences mathématiques ou dans la moyenne, tandis que deux autres sont associés à des compétences mathématiques inférieures à la moyenne. Un profil intéressant a été identifié : il s'agit d'enfants qui ont obtenu des scores en comparaison de magnitude inférieurs à la moyenne, avec cependant un score symbolique supérieur au score non-symbolique. Le temps de réponse était plus long mais ils étaient plus précis en comparaison de magnitude symbolique comparé à la comparaison de magnitude non-symbolique. Ainsi, les auteurs émettent l'hypothèse que certains enfants sont capables d'apprentissage (système numérique) mais ne peuvent les mettre en application dans des situations pertinentes (tâches mathématiques).

On peut alors suggérer qu'il existe des profils différents parmi les enfants inclus dans le groupe dyscalculique, qui pourrait expliquer l'absence de corrélation des scores entre les deux tâches de comparaison de magnitude. De plus, ajoutons que les profils diagnostics des sujets inclus dans le groupe dyscalculique n'ont pas été contrôlés. Les sujets dyscalculiques étant peu nombreux, ceux pour lesquels nous ne disposions pas de tous les éléments demandés ont été inclus. Ainsi, nous n'avons pas pu déterminer pour un certain nombre les critères et le seuil pathologique utilisés pour poser le diagnostic, ni la durée de rééducation en cognition mathématique réalisée au moment de la passation.

Ces possibles différences de profil au sein du groupe dyscalculique, pourraient ne pas avoir permis de mettre en évidence des différences avec le groupe tout-venant.

Enfin, on peut également s'interroger par rapport aux capacités des enfants dyscalculiques dans la tranche d'âge 10-12 ans, dans les tâches du Numeracy Screener. En effet, dans cet outil, les quantités à traiter sont comprises seulement entre 1 et 9. Dans une étude menée par Mussolin et al. (2010) auprès d'enfants de 10-11 ans, les enfants dyscalculiques n'étaient pas significativement plus lents que les enfants contrôles dans des tâches de comparaison de magnitude. Les auteurs concluent que l'âge joue un rôle crucial dans les performances de comparaison de magnitude. Avec l'expérience, les performances des enfants dyscalculiques augmentent et atteignent le niveau de compétence ; les performances ne sont alors plus significativement différentes des performances des

enfants tout-venant. Le traitement des petites quantités (1 à 9) a peut-être été automatisé par une exposition fréquente. Ainsi, on peut s'interroger quant à la nécessité de proposer une tâche de comparaison avec des quantités plus grandes afin de mettre en évidence des différences chez des sujets de 10-12 ans. Cependant, Brankaer et al. ont proposé deux tâches de comparaison de magnitude symbolique, dont l'une avec des nombres à deux chiffres, à des enfants de grade 1 à grade 6 (c'est-à-dire de 6 à 12 ans). Dans leur cas, les auteurs précisent que la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres est d'autant plus intéressante qu'en flamand, langue parlée par les sujets de leur étude, l'ordre d'apparition des mots-nombre est différent de l'ordre d'apparition des chiffres dans le nombre. Le flamand est donc une langue « inconsistante », comme l'allemand ; le mot-nombre de 34 se dit « quatre-et-trente ». L'étude de Göbel, Moeller, Kaufmann, Pixner, et Nuerk (as cited in Brankaer et al., 2016) a montré que la langue a une influence sur les performances en mathématiques. Mais cet élément n'est pas justifié dans notre cas, car le français n'est pas une langue inconsistante, excepté pour 80 « quatre-vingt », 90 « quatre-vingt-dix », où il faut comprendre que le « quatre » correspond à « 4 fois » vingt, et non quatre unités qui s'ajoutent à deux dizaines. De plus, indépendamment de la langue, dans leur étude Brankaer et al. n'ont pas mis en évidence de différences significatives entre les sujets au développement typique et les sujets présentant des difficultés d'apprentissage en mathématiques pour les sujets de grade 6. Ils suggèrent, comme Mussolin et al. (2010), que le traitement de nombre à un chiffre ou à deux chiffres est automatisé à cet âge, même chez les enfants présentant des difficultés d'apprentissage en mathématiques. Ainsi, la probabilité de mettre en évidence des différences significatives entre des sujets tout-venant et des sujets dyscalculiques est amoindrie.

Ainsi en résumé, nous pouvons retenir deux éléments pouvant expliquer pourquoi nous n'avons pas mis en évidence de différences significatives entre les enfants du groupe tout-venant et ceux du groupe dyscalculique. Premièrement, dans une tâche de comparaison de magnitude avec des petites quantités (1 à 9), les enfants dyscalculiques dans cette tranche d'âge (10-12 ans) atteignent le niveau de compétence des enfants tout-venant par automatisation due à une exposition fréquente avec les apprentissages scolaires. Deuxièmement, les sujets inclus dans le groupe dyscalculique peuvent avoir des profils hétérogènes, ainsi la prise en compte des scores moyens obtenus dans le groupe peut ne pas avoir permis de mettre en évidence des différences significatives avec le groupe tout-venant. Ainsi, bien que nous n'en ayons pas mis en évidence dans notre étude, des

différences pourraient exister pour au moins une partie des sujets dyscalculiques présentant un même type de profil.

Cependant, ces éléments ne nous permettent pas de conclure par rapport à la capacité du Numeracy Screener de mettre en évidence des différences entre des sujets tout-venant et des sujets dyscalculiques en tenant compte uniquement du score de performance.

1.3. Différences entre les formats symbolique et non-symbolique

1.3.1. En fonction de la classe

Le test Numeracy Screener nous a permis de mettre en évidence un effet global du format pour les enfants tout-venant. En effet, les participants de CM2 et de 6^{ème} montraient des différences significatives entre les performances obtenues en comparaison de magnitude symbolique et en comparaison de magnitude non-symbolique. Les scores obtenus en comparaison de magnitude symbolique étaient supérieurs aux scores obtenus en comparaison de magnitude non-symbolique.

Ces résultats vont dans le sens des résultats obtenus par Lyons, Ansari, et Beilock (2012). Dans leur étude, ils ont proposé des tâches de comparaison de magnitude informatisées à des adultes. Ils ont en effet montré que les performances de comparaison de quantités symboliques sont meilleures que les performances de comparaison de quantités non-symboliques. Cependant, cet effet de format ne serait pas présent chez les enfants plus jeunes. En effet, les résultats obtenus par Nosworthy (2013) chez les enfants de grade 1 à grade 3 ne montrent pas d'effet de format pour les grades 2 et 3, et un effet de format pour le grade 1, mais en faveur du traitement de magnitude non-symbolique. Ainsi, on peut donc supposer qu'au cours du développement, les traitements de magnitude symbolique et non-symbolique évoluent à des rythmes différents. D'ailleurs, d'autres études ont observé les mêmes résultats. Brankaer et al. (2014) ont montré chez des enfants de 6 à 9 ans une absence d'effet de format. Et une autre étude chez des enfants plus âgés (8 à 10 ans) de Lonnemann, Linkersdörfer, Hasselhorn, et Lindberg (2011) a montré que la comparaison d'ensemble de points est significativement plus longue que la comparaison de quantités en nombre arabe. Selon eux, les représentations des chiffres sont plus distinctes que celles des représentations sous forme de points, ce qui facilite le traitement de comparaison de magnitude.

En revanche, bien que les scores de performances fussent significativement différents entre les deux formats, les scores étaient corrélés pour les deux classes. Les scores symboliques et non-symboliques sont cependant corrélés pour le groupe tout-venant. Ainsi, cela signifie que plus ils ont réussi d'items dans l'épreuve non-symbolique, plus ils ont réussi d'items dans l'épreuve symbolique.

En outre, il serait intéressant d'étudier plus en détails l'association entre le traitement de magnitude symbolique et le traitement de magnitude non-symbolique pour dégager des profils comme dans l'étude de Chew et al. (2016). Ainsi, nous pourrions davantage expliquer les différences entre les résultats que nous avons observés dans notre échantillon d'enfants tout-venant de 10-12 ans et ceux observés par Nosworthy (2013) chez des enfants de grades 2 et 3.

1.3.2. En fonction du groupe

Alors que nos résultats ont mis en évidence un effet global du format pour les sujets tout-venant, nos résultats ont mis en évidence une absence d'effet global du format pour les sujets inclus dans le groupe dyscalculique.

Nous avons vérifié la répartition entre les sexes, les versions, les groupes tout-venant et dyscalculique, et les classes. Nous avons mis en évidence une absence de différence significative de répartition, sauf concernant la répartition des versions entre les groupes tout-venant et dyscalculique. Nous avons par ailleurs observé un effet de l'ordre de présentation des épreuves chez les enfants tout-venant. On pourrait alors se demander si cet effet d'ordre de présentation des épreuves n'a pas impacté, dans un sens ou dans l'autre, les performances obtenues par les participants du groupe dyscalculique. Néanmoins, nous avons mis en évidence un effet du format chez les enfants tout-venant pour les deux classes, et ce même lorsqu'on contrôlait la version utilisée. Cela signifie donc, que quelle que soit la version utilisée, il y avait un effet de format pour les sujets tout-venant. La version n'a donc pas d'incidence sur l'effet global du format pour les participants tout-venant. De fait, concernant les sujets du groupe dyscalculique, la différence de répartition des versions par rapport au groupe tout-venant ne peut pas expliquer l'absence d'effet de format.

Il faut donc trouver une proposition pour expliquer cette différence observée entre le groupe tout-venant et le groupe dyscalculique. On peut supposer que les performances de comparaison de magnitude symbolique des sujets dyscalculiques, ayant une atteinte du

traitement de magnitude symbolique n'atteignent pas le niveau de compétence. Leurs performances symboliques sont alors au même niveau que leurs performances de comparaison de magnitude non-symbolique, et donc il n'y a pas de d'effet de format. Les études de Brankaer et al. (2014) et Andersson et Östergren (2012) viennent soutenir cette explication. Brankaer et al. (2014) ont mis en évidence que les enfants avec des difficultés en mathématiques ont un déficit seulement pour la magnitude symbolique dans les tâches de comparaison, mais pas pour la magnitude non-symbolique. Andersson et Östergren (2012), quant à eux, ont montré chez des enfants de 11-13 ans que les enfants dyscalculiques ont des résultats comparables aux enfants contrôles en comparaison non-symbolique mais qu'ils sont en revanche plus lents en comparaison non-symbolique (pour des nombres de un ou deux chiffres) que les enfants contrôles.

Toutefois, ces résultats ne sont pas en adéquation avec ceux de Noël et Rousselle (2011). Ces auteures ont mis en évidence des différences significatives entre des sujets dyscalculiques et des sujets contrôles de 6 à 9 ans, pour des tâches de comparaison symbolique, mais pas pour des tâches de comparaison non-symbolique. Par contre, pour des sujets dyscalculiques et tout-venant de plus de 10 ans, elles ont mis en évidence des différences significatives dans les deux formats. Cela signifie alors que les différences entre les enfants dyscalculiques et les enfants contrôles entre les formats symbolique et non-symbolique évoluent au cours du temps. Or, dans une méta-analyse, Schwenk et al. (2017) ont mis en évidence que les différences selon les formats entre les enfants dyscalculiques et les enfants contrôles ne sont pas dépendante de l'âge. Avec tous ces éléments, nous pouvons alors suggérer que les performances de traitement de magnitude symbolique sont altérées chez les enfants dyscalculiques jeunes. Ils obtiennent d'une part, des scores symboliques inférieurs par rapport aux enfants tout-venant. Et d'autre part, ils obtiennent des scores semblables aux enfants tout-venant en comparaison de magnitude non-symbolique, comme l'indiquent Noël et Rousselle (2011). Et plus tard, chez les enfants plus âgés, les sujets dyscalculiques obtiennent toujours des scores symboliques inférieurs par rapport aux enfants tout-venant, et des scores semblables en comparaison non-symbolique, comme l'indiquent Schwenk et al. (2017).

En outre, nous avons également mis en évidence une absence de corrélation entre les scores de performance en comparaison de magnitude symbolique et les scores de performance en comparaison de magnitude non-symbolique. Or, nous avons mis en évidence chez les sujets tout-venant une corrélation des scores de performances obtenus

dans les deux formats. Cela nous permet donc de suggérer que les sujets dyscalculiques présentent des profils différents concernant l'association des compétences de magnitude symbolique et non-symbolique, comme ceux définis dans l'étude de Chew et al. (2016). Tous ces éléments mis ensemble peuvent expliquer pourquoi nous n'avons pas mis en évidence de différences significatives entre les formats pour les sujets dyscalculiques, et que pour autant des différences puissent exister pour au moins une partie des sujets dyscalculiques présentant un même type de profil.

1.4. Méthodologie

Par ailleurs, concernant la méthodologie employée, nous avons utilisé une version traduite des consignes du Numeracy Screener. Cependant, nous avons après avoir démarré les passations, pris connaissance d'une version française des consignes du Numeracy Screener validée et élaborée par Lafay, Archambault, Vigneron et Nosworthy dont une publication est à venir courant 2018.

Concernant la tâche de comparaison de magnitude non-symbolique en elle-même, nous demandons aux participants de ne pas compter le nombre de point, cependant nous ne pouvons pas garantir que les participants n'aient pas recours au dénombrement pour répondre. Pour cette raison, les tâches informatisées permettent d'empêcher le recours au dénombrement en contrôlant la durée d'affichage des stimuli. Cependant, on peut supposer comme le souligne Nosworthy (2013), que si le participant utilise une stratégie de dénombrement, il pourra réaliser moins d'items dans le temps imparti. Etant donné que nous avons mis en évidence une absence d'effet plafond pour l'épreuve de comparaison de magnitude symbolique pour les enfants de 10 à 12 ans, le score de performance en serait donc affecté dans tous les cas.

Ensuite, nous avons construit notre travail sans mesurer le lien entre les performances obtenues au test Numeracy Screener et les compétences mathématiques. Nous ne sommes donc pas certains que les participants de notre échantillon ayant obtenu les scores les plus faibles, ont des compétences inférieures en mathématiques par rapport à ceux qui ont obtenu les scores les plus élevés. Cependant, plusieurs études ont montré que la comparaison de magnitude numérique, et d'autant plus la comparaison de magnitude symbolique, est corrélée à la réussite en mathématiques des enfants de 6 à 9 ans (Nosworthy, 2013) ou des enfants de 6 à 12 ans (Brankaer et al., 2016).

CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons montré que les performances des enfants de CM2 au test Numeracy Screener sont significativement inférieures aux performances des enfants de 6ème, autant dans la tâche de comparaison de magnitude symbolique que dans la tâche de magnitude non-symbolique. Cela indique que le test Numeracy Screener permet de mettre en évidence les changements développementaux concernant les compétences de magnitude symbolique et non-symbolique chez des sujets de 10-12 ans.

Nous avons également montré que les différences de performances au test Numeracy Screener ne sont pas dépendantes ni de l'établissement scolaire, ni du sexe. Ainsi, on conclue qu'il est envisageable d'utiliser les normes mixtes établies pour tout enfant scolarisé en CM2 ou 6^{ème} en France. Par contre, nos résultats ont montré que l'ordre de présentation des épreuves a une influence sur les performances, en faveur de la tâche proposée en deuxième. Etant donné que les études récentes ont montré que les performances de comparaison de magnitude symbolique sont davantage un prédicteur des compétences en mathématiques, nous préconisons d'utiliser la version A, à savoir en premier la tâche de comparaison de magnitude symbolique suivie de la tâche de comparaison de magnitude non-symbolique.

En revanche, le test Numeracy Screener ne nous a pas permis de mettre en évidence de différences entre les scores obtenus par les sujets tout-venant et les sujets dyscalculiques de 10-12 ans, ni dans l'épreuve de comparaison de magnitude symbolique, ni dans l'épreuve de comparaison de magnitude non-symbolique.

On peut donc conclure que le test Numeracy Screener présente un intérêt dans l'évaluation des patients qui consultent en orthophonie pour des difficultés en mathématiques, dans la mesure où ce test est capable de mettre en évidence les changements développementaux. Toutefois, des études complémentaires sont nécessaires, pour déterminer si le test permet de mettre en évidence des différences entre des sujets dyscalculiques aux profils définis. Ainsi, il serait possible de conclure quant à la capacité de ce test à dépister des sujets dyscalculiques.

BIBLIOGRAPHIE

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders DSM-5* (5e éd.). Arlington, VA : American Psychiatric Publishing.
- 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
- Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of experimental child psychology*, 103(1), 17-29. doi: 10.1016/j.jecp.2008.04.001
- Brankaer, C., Ghesquière, P., & Smedt, B. D. (2014). Children's Mapping between Non-Symbolic and Symbolic Numerical Magnitudes and Its Association with Timed and Untimed Tests of Mathematics Achievement. *PLOS ONE*, 9(4), e93565. doi: 10.1371/journal.pone.0093565
- Brankaer, Ghesquière, & De Smedt (2017). Symbolic magnitude processing in elementary school children: A group administered paper-and-pencil measure (SYMP Test). *Behavior Research Methods*, 49(4), 1361-1373. doi: 10.3758/s13428-016-0792-3
- Canautte L. (2012). *Avoir ou pas la bosse des maths ? : Acquisition normale et pathologique des compétences numériques*, France: EME Editions.
- Carey, S., Shusterman, A., Haward, P., & Distefano, R. (2017). Do analog number representations underlie the meanings of young children's verbal numerals? *Cognition*, 168, 243-255. doi: 10.1016/j.cognition.2017.06.022
- Chew, C. S., Forte, J. D., & Reeve, R. A. (2016). Cognitive factors affecting children's nonsymbolic and symbolic magnitude judgment abilities: A latent profile analysis. *Journal of experimental child psychology*, 152, 173-191. doi: 10.1016/j.jecp.2016.07.001
- CIM-10 FR à usage PMSI (2018) *Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes* (Volume 1) Bulletin officiel n° 2018/9 bis Consulté <https://www.atih.sante.fr/cim-10-fr-2018-usage-pmsi>
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). THREE PARIETAL CIRCUITS FOR NUMBER PROCESSING. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 487-506. doi: 10.1080/02643290244000239
- Dellatolas, G., Von Aster, M. (2006). *Zareki-R : batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris : ECPA

BIBLIOGRAPHIE

- De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(2), 48-55. doi: 10.1016/j.tine.2013.06.001
- 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
- Fischer, J.-P., & Charron, C. (2009) Une étude de la dyscalculie à l'âge adulte. *Economie et statistique (424-425)*, 87-101
- Gaillard, F. (2000). *Numerical : test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Signes Ed.
- Henik, A., Rubinsten, O., & Ashkenazi, S. (2015). Developmental dyscalculia as a heterogeneous disability. *Oxford handbook of mathematical cognition*, 662-677. Repéré à <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.725.4290&rep=rep1&type=pdf>
- Heremans, M. (2011). MathEval Dépistage de la dyscalculie. Repéré à <https://sites.google.com/site/testmatheval/>
- Hyde, D. C., Berteletti, I., & Mou, Y. (2016). Approximate numerical abilities and mathematics. In *Progress in Brain Research* (Vol. 227), 335-351. Repéré à <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079612316300371>
- INSERM (2007) *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques*. Paris : Les éditions Inserm. Repéré à <http://hdl.handle.net/10608/110>
- Keong, W. K., Pang, V., Eng, C. K., & Keong, T. C. (2016). Prevalence Rate of Dyscalculia According to Gender and School Location in Sabah, Malaysia. In *7th International Conference on University Learning and Teaching (InCULT 2014) Proceedings*, 91-100. doi: 10.1007/978-981-287-664-5_8
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa*, (n°112), 1-17.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2014). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, (n°116), 33-58.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2015). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale: Déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mentales? *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 56(1), 96-107. doi: 10.1037/a0037264
-

BIBLIOGRAPHIE

- Lafay, A. & Helloin, M.-C. (2016). *Examath 8-15, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. Grenade : HappyNeuron.
- Lafay, A., Archambault, S., Vigneron, M., & Nosworthy, N. (2018). Version française du test Numeracy Screener (NS-f), un outil de dépistage des difficultés de traitement du nombre et des quantités. *Glossa*.
- Lonnemann, J., Linkersdörfer, J., Hasselhorn, M., & Lindberg, S. (2011). Symbolic and non-symbolic distance effects in children and their connection with arithmetic skills. *Journal of Neurolinguistics*, 24(5), 583-591. doi: 10.1016/j.jneuroling.2011.02.004
- Lyons, I. M., Ansari, D., & Beilock, S. L. (2012). Symbolic estrangement: Evidence against a strong association between numerical symbols and the quantities they represent. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(4), 635. doi: 10.1037/a0027248
- Mazeau, M. (2017). Du logico-mathématique aux dyscalculies : quelles implications pratiques ? *Rééducation orthophonique, Les troubles de la cognition mathématique #2* (270), 12-24.
- Métral, E. (2008). *Malette B-LM Cycle 2*. Chavanod : Orthopratic.
- Meyer, S. (2015). *L'estimation numérique dans les apprentissages mathématiques: rôles et intérêts de la mise en correspondance des représentations numériques au niveau développemental, éducatif et rééducatif* (Doctoral dissertation, Université Charles de Gaulle-Lille III). Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01179168/document>
- Mussolin, C., Mejias, S., & Noël, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition*, 115(1), 10-25. doi: 10.1016/j.cognition.2009.10.006
- 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
- Noël, M.-P., Rousselle, L., & Visscher, A. D. (2013). La dyscalculie développementale : à la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux. *Développements*, (15), 24-31. doi: 10.3917/devel.015.0024
- Noël, M.-P., & Grégoire, J.. (2015) *Tedi-math grands. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris : ECPA.
- Nosworthy, N. (2013). An Investigation of the Association Between Arithmetic Achievement and Symbolic and Nonsymbolic Magnitude Processing in 5-9 Year-old Children: Evidence from a Paper-and-pencil Test. *Electronic Thesis and Dissertation Repository*. Repéré à <http://ir.lib.uwo.ca/etd/1387>
-

BIBLIOGRAPHIE

- Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B., & Ansari, D. (2013). A Two-Minute Paper-and-Pencil Test of Symbolic and Nonsymbolic Numerical Magnitude Processing Explains Variability in Primary School Children's Arithmetic Competence. *PLOS ONE*, *8*(7), e67918. doi: 10.1371/journal.pone.0067918
- Schwenk, C., Sasanguie, D., Kuhn, J.-T., Kempe, S., Doebler, P., & Holling, H. (2017). (Non-)symbolic magnitude processing in children with mathematical difficulties: A meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, *64*, 152-167. doi: 10.1016/j.ridd.2017.03.003
- Vanbinst, K., Ansari, D., Ghesquière, P., & De Smedt, B. (2016). Symbolic Numerical Magnitude Processing Is as Important to Arithmetic as Phonological Awareness Is to Reading. *PLOS ONE*, *11*(3), e0151045. doi: 10.1371/journal.pone.0151045
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J. & Noël, M.-P., 2001 *Tedi-Math. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris : ECPA.
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(11), 868-873. doi: 10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x
- 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 developing brain: Atypical development* (pp. 212-238). New York : Guilford Press.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des tableaux :

Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillon tout-venant.....	31
Tableau 2. Caractéristiques de l'échantillon dyscalculique.....	31
Tableau 3. Distribution normale des scores	35
Tableau 4. Analyse statistique comparative.....	36
Tableau 5. Répartition par Professions et Catégories Socioprofessionnelles (INSEE Enquête emploi 2016)	40
Tableau 6. Tableau récapitulatif des tests évaluant le traitement de magnitude non-symbolique	60
Tableau 7. Tableau récapitulatif des tests évaluant le traitement de magnitude numérique symbolique	61
Tableau 8. Normes CM2 Table A	64
Tableau 9. Normes CM2 Table B	64
Tableau 10. Normes 6ème table A	65
Tableau 11. Normes 6ème table B.....	65

Liste des figures :

Figure 1. Modèle du Triple code (Dehaene, 1992 ; Wilson & Dehaene, 2007).....	8
Figure 2. Modèle développemental de l'acquisition numérique (Von Aster & Shalev, 2007).....	10
Figure 4. Surfaces cumulées égales (Numeracy Screener)	27
Figure 3. Périmètres cumulés égaux (Numeracy Screener)	27
Figure 5. Scores selon la classe en fonction du format	36
Figure 6. Scores selon le format en fonction de la version (CM2).	37
Figure 7. Scores selon le format en fonction de la version (6ème).	37
Figure 8. Scores selon le format en fonction du groupe et de la classe.....	39

ANNEXES

Annexe I : Tests évaluant le traitement de magnitude numérique

1. Tests évaluant le traitement de magnitude numérique non-symbolique

Tableau 6 Tableau récapitulatif des tests évaluant le traitement de magnitude non-symbolique

Nom de la batterie	Age / niveaux scolaires	Effectif de normalisation	Tâches proposées
Tedi-Math	5 à 8 ans	583	Comparaison de patterns de points (1 item)
Zareki-R	6 à 11 ans et demi	250	Comparaison de quantités analogiques (6 items)
Tedi-Math grand	CE2 à 5ème	254	Comparaisons de collections sonores et visuelles (48 items)
Examath 8-15	8-15 ans	443	Comparaison analogique (24 items, quantités de 1 à 4 et de 5 à 13)

2. Tests évaluant le traitement de magnitude numérique symbolique

Tableau 7 Tableau récapitulatif des tests évaluant le traitement de magnitude numérique symbolique

Nom de la batterie	Age / niveaux scolaires	Effectif de normalisation	Tâches proposées
Tedi-Math	5 à 8 ans	583	Comparaison de nombres oraux (15 items) et arabes (12 items, nombres de 1 à 3 chiffres) « Grandeur relative » : sélectionner parmi deux nombres arabes celui qui est le plus proche d'un nombre arabe cible
MathEval	5 à 8 ans	en cours	Subtest subitizing : estimation à l'oral d'un petit ensemble de points ou doigts Comparaison de nombres arabes Positionnement de nombres arabes sur une ligne numérique horizontale de 0 à 10, 0 à 20, 0 à 100 (8 items)
B-LM	5 à 8 ans	298	Dénombrement : reconnaissance des configurations canoniques pour les petites quantités
Zareki-R	6 à 11 ans et demi	250	Dans dénombrement : reconnaissance configurations canoniques pour les petites quantités (1 item) Estimation orale d'un grand ensemble de points ou d'objets (4 items) Comparaison de nombres oraux (8 items) et arabes (10 items, nombres de 2 à 5 chiffres) Positionnement de nombres oraux (6 items) et arabes (6 items) sur une échelle verticale de 0 à 100 avec marque ou vierge.
Numerical	7 à 10 ans	293	Comparaison de nombres oraux (9 items) et écrits en lettre (4 items), arabes (10 items, nombres de 2 à 5 chiffres) Positionnement de nombres oraux sur une droite verticale de 0 à 100 (6 items) et sur un compteur de vitesse de 0 à 200km/h (8 items)
Tedi-Math grand	CE2 à 5ème	254	Estimation orale de petites quantités (36 items) Comparaison de nombres arabes (48 items, quantités de 1 à 19, prise en compte de la vitesse)
Examath 8-15	8-15 ans	443	Jugement arabe/ analogique et oral/analogique Comparaison nombres oraux (36 items) et arabes (36 items) Positionnement sur une ligne numérique horizontale de nombres oraux et arabes Estimation orale de quantités (petites et grandes quantités)

Annexe II : Visuel du Numeracy Screener


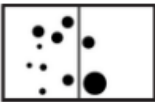
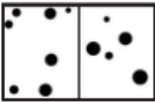
Sample Items:

1	7	8	2	2	5
---	--------------	---	---	---	---

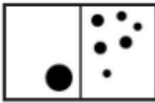
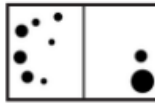
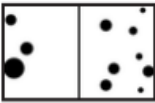
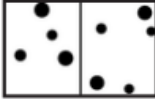
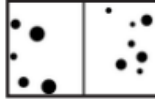



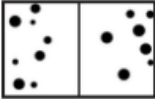
Practice Items:

1	6	7	2	3	8
4	5	5	7	6	1
2	9	6	3	8	7

Sample Items:

		
---	---	--

Practice Items:

Annexe III : Caractéristiques des items du Numeracy Screener

Items	Ratio	Distance	Ordre	ordre apparition symbolique	Ordre apparition non-symbolique
1 vs 9	0,11	8	ordre LNM	1	15
9 vs 1	0,11	8	ordre LNM inversé	24	3
1 vs 8	0,13	7	ordre LNM	18	21
8 vs 1	0,13	7	ordre LNM inversé	2	4
2 vs 9	0,22	7	ordre LNM	16	10
9 vs 2	0,22	7	ordre LNM inversé	4	28
1 vs 7	0,14	6	ordre LNM	26	17
7 vs 1	0,14	6	ordre LNM inversé	3	2
2 vs 8	0,25	6	ordre LNM	19	8
8 vs 2	0,25	6	ordre LNM inversé	8	25
3 vs 9	0,33	6	ordre LNM	20	7
9 vs 3	0,33	6	ordre LNM inversé	10	20
1 vs 6	0,17	5	ordre LNM	9	1
6 vs 1	0,17	5	ordre LNM inversé	17	18
2 vs 7	0,29	5	ordre LNM	27	16
7 vs 2	0,29	5	ordre LNM inversé	6	6
3 vs 8	0,38	5	ordre LNM	12	19
8 vs 3	0,38	5	ordre LNM inversé	21	9
4 vs 9	0,44	5	ordre LNM	23	14
9 vs 4	0,44	5	ordre LNM inversé	13	26
1 vs 5	0,2	4	ordre LNM	11	5
5 vs 1	0,2	4	ordre LNM inversé	15	22
3 vs 7	0,43	4	ordre LNM	5	24
7 vs 3	0,43	4	ordre LNM inversé	25	13
4 vs 8	0,5	4	ordre LNM	28	23
8 vs 4	0,5	4	ordre LNM inversé	56	11
5 vs 9	0,56	4	ordre LNM	29	32
9 vs 5	0,56	4	ordre LNM inversé	43	48
2 vs 5	0,4	3	ordre LNM	7	12
5 vs 2	0,4	3	ordre LNM inversé	22	27
3 vs 6	0,5	3	ordre LNM	14	56
6 vs 3	0,5	3	ordre LNM inversé	42	42
4 vs 7	0,57	3	ordre LNM	48	47
7 vs 4	0,57	3	ordre LNM inversé	30	34
5 vs 8	0,63	3	ordre LNM	32	29
8 vs 5	0,63	3	ordre LNM inversé	46	43
3 vs 5	0,6	2	ordre LNM	44	45
5 vs 3	0,6	2	ordre LNM inversé	31	33
5 vs 7	0,71	2	ordre LNM	51	46
7 vs 5	0,71	2	ordre LNM inversé	34	31
6 vs 8	0,75	2	ordre LNM	35	41
8 vs 6	0,75	2	ordre LNM inversé	49	52
7 vs 9	0,78	2	ordre LNM	36	38
9 vs 7	0,78	2	ordre LNM inversé	50	54
2 vs 3	0,67	1	ordre LNM	33	44
3 vs 2	0,67	1	ordre LNM inversé	45	30
4 vs 5	0,8	1	ordre LNM	37	40
5 vs 4	0,8	1	ordre LNM inversé	47	55
5 vs 6	0,83	1	ordre LNM	54	53
6 vs 5	0,83	1	ordre LNM inversé	38	39
6 vs 7	0,86	1	ordre LNM	39	36
7 vs 6	0,86	1	ordre LNM inversé	52	51
7 vs 8	0,88	1	ordre LNM	40	35
8 vs 7	0,88	1	ordre LNM inversé	53	50
8 vs 9	0,89	1	ordre LNM	55	49
9 vs 8	0,89	1	ordre LNM inversé	41	37

Annexe IV : Normes française CM2 et 6ème du Numeracy Screener

1. Normes CM2

Tableau 8 Normes CM2 Table A (ET : écart-type)

Nom du subtest	Intitulé du score	Nombre de données	Amplitude		Intervalle de confiance de la moyenne		Moyenne	ET
			Min	Max	Borne -	Borne +		
Comparaison symbolique	Score brut	109	23	56	41,90	44,80	43,35	7,61
	Ratio score réussite/temps	109	0,38	1,04	0,70	0,75	0,73	0,13
Comparaison non-symbolique	Score brut	109	24	46	36,78	38,97	37,58	5,28
	Ratio score réussite/temps	109	0,40	0,80	0,61	0,64	0,63	0,09
Comparaison de magnitude	Score total	109	47	104	78.7	83.1	80.9	11.69

Tableau 9 Normes CM2 Table B

Nom du subtest	Intitulé du score	P5	P10	Q1	Med	Q3	P90	P95
Comparaison symbolique	score brut	30,0	33,0	38,0	43,0	48,5	56,0	56,0
	ratio score réussite/temps	0,500	0,550	0,633	0,717	0,808	0,933	0,966
Comparaison non-symbolique	score brut	28	31	35	37	41	46	48
	ratio score réussite/temps	0,467	0,530	0,583	0,617	0,683	0,767	0,793
Comparaison de magnitude	Score total	62,0	65,0	74,0	80,0	89,5	97,0	100,5

2. Normes 6^{ème}

Tableau 10 Normes 6ème table A (ET : écart-type)

Nom du subtest	Intitulé du score	Nombre de données	Amplitude		Intervalle de confiance de la moyenne		Moyenne	ET
			Min	Max	Borne -	Borne +		
Comparaison symbolique	score brut	106	28	56	46,31	49,14	47,73	7,43
	ratio score réussite/temps	106	0,47	1,14	0,78	0,84	0,81	0,15
Comparaison non-symbolique	score brut	106	26	55	40,59	42,90	41,75	6,08
	ratio score réussite/temps	106	0,43	1,02	0,68	0,72	0,70	0,11
Comparaison de magnitude	Score total	106	54	109	87,18	91,76	89,47	12,02

Tableau 11 Normes 6ème table B

Nom du subtest	Intitulé du score	P5	P10	Q1	Med	Q3	P90	P95
Comparaison symbolique	score brut	35,0	37,0	42,0	49,0	56,0	56,0	56,0
	ratio score réussite/temps	0,583	0,617	0,700	0,817	0,933	1,018	1,037
Comparaison non-symbolique	score brut	33,0	34,0	37,8	42,0	47,0	50,0	52,0
	ratio score réussite/temps	0,550	0,567	0,629	0,700	0,783	0,833	0,867
Comparaison de magnitude	Score total	67,9	73,0	82,0	90,0	99,0	105,4	108,0

Sarah Michaud

ETALONNAGE DU TEST NUMERACY SCREENER CHEZ UNE POPULATION FRANÇAISE D'ENFANTS SCOLARISÉS EN CM2 ET 6ÈME

65 pages, 42 références bibliographiques

Mémoire d'orthophonie – UNS / Faculté de Médecine - Nice 2018

RESUME

La dyscalculie primaire affecte les processus numériques de base. Il est donc essentiel que les outils diagnostiques évaluent les habiletés numériques de base, telle que la comparaison de magnitude numérique. Le test Numeracy Screener créé par Nosworthy et Ansari est composé de deux tâches de comparaisons de magnitude numérique, l'une symbolique, l'autre non symbolique. Il a été normé chez une population canadienne d'enfants de 5 à 8 ans. Nous voulions créer des normes chez une population française et déterminer si cet outil permettait de mettre en évidence des différences entre des enfants de 10 à 12 ans, et entre des enfants d'une même classe. Nous avons fait passer ce test à 215 enfants tout-venant de 10 à 12 ans scolarisés en France ainsi qu'à un groupe de 12 enfants dyscalculiques. Nous avons observé des différences significatives entre les enfants de CM2 et de 6ème ce qui suggère que le test permet de mettre en évidence les changements développementaux du traitement de magnitude numérique. Nous avons comparé les scores obtenus par les enfants tout-venant à ceux obtenus par les enfants dyscalculiques, mais nous n'avons pas pu mettre en évidence de différences significatives entre les deux groupes, pour aucune des classes. En conclusion, ce test permet de mettre en évidence des différences entre des enfants de 10-12 ans, et de comparer des enfants d'une même classe. Cependant, une étude complémentaire est nécessaire pour vérifier l'intérêt d'un tel outil pour dépister les troubles de type dyscalculie primaire chez les enfants de cet âge.

MOTS-CLES

Dyscalculie développementale - Cognition mathématique - Enfant 10-12 ans - Test - Etalonnage - Comparaison de magnitude numérique

DIRECTEUR DE MEMOIRE

Isabelle Thubé-Poli

Sarah Michaud

ETALONNAGE DU TEST NUMERACY SCREENER CHEZ UNE POPULATION FRANÇAISE D'ENFANTS SCOLARISES EN CM2 ET 6EME

65 pages, 42 références bibliographiques

Mémoire d'orthophonie – UNS / Faculté de Médecine - Nice 2018

RESUME

Primary dyscalculia affects basic digital processes. It is therefore essential that diagnostic tools evaluate basic numerical skills, such as numerical magnitude comparison. The Numeracy Screener test created by Nosworthy and Ansari consists of two numerical magnitude comparison tasks, one symbolic, the other non-symbolic. It has been standardized in a Canadian population of children aged 5 to 8 years. We wanted to create standards in a French population and determine if this tool allowed to highlight differences between children from 10 to 12 years, and between children of the same class. We have tested 215 coming children aged 10 to 12 attending school in France and a group of 12 children with dyscalculia. We observed significant differences between children in grade 5 and grade 6 suggesting that the test can highlight developmental changes in digital magnitude processing. We compared the scores obtained by the children of coming sample to those obtained by the dyscalculic children, but we could not highlight significant differences between the two groups, for any class. In conclusion, this test makes it possible to highlight differences in children aged 10-12, and to compare children of the same class. However, a complementary study would be necessary to check the interest of such a tool to detect disorders of the primary dyscalculia type in children of this age.

MOTS-CLES

Developmental dyscalculia - Mathematical cognition - Children 10-12 years - Test - Standardization - Numerical magnitude comparison

DIRECTEUR DE MEMOIRE

Isabelle Thubé-Poli
