



HAL
open science

Vers un outil d'identification précoce de l'origine des troubles de la cognition numérique: mise en perspective d'une évaluation du traitement des différents codes numériques: création du Q.O.D. – N., quelle(s) origine(s) aux difficultés numériques

Charlotte Chaquet

► **To cite this version:**

Charlotte Chaquet. Vers un outil d'identification précoce de l'origine des troubles de la cognition numérique: mise en perspective d'une évaluation du traitement des différents codes numériques: création du Q.O.D. – N., quelle(s) origine(s) aux difficultés numériques. Sciences cognitives. 2018. dumas-02109140

HAL Id: dumas-02109140

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02109140v1>

Submitted on 24 Apr 2019

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.



UFR de Médecine – Département d’orthophonie

**VERS UN OUTIL D'IDENTIFICATION
PRECOCE DE L'ORIGINE DES TROUBLES DE
LA COGNITION NUMERIQUE.**

Mise en perspective d'une évaluation du
traitement des différents codes numériques:

Création du Q.O.D. – N.,

Quelle(s) Origine(s) aux Difficultés Numériques.

Mémoire présenté pour l’obtention du Certificat de Capacité d’Orthophoniste

Par

Charlotte CHAQUET

Sous la direction de :
Dominique CORNET, Orthophoniste

Soutenu le 15/06/2018

REMERCIEMENTS

Présente dès la première heure, je remercie tout d'abord et très sincèrement Dominique Cornet, pour sa faculté d'adaptation, la qualité de son questionnement et son sens de la pragmatique! Cela a été un réel plaisir de travailler dans ces conditions: un savant dosage d'encadrement et de liberté, ponctué d'échanges plaisants et constructifs.

Je remercie également Frédérique Mortelier, orthophoniste et relectrice, pour ses commentaires bienveillants, ses conseils avisés, ses "messages rassurants du matin" et sa réactivité qui m'ont permis de vivre au mieux l'attente des retours.

Un grand merci à Issyan Tekaya qui a été d'une patience d'ange, d'un concours régulier et endurant pour la réalisation des statistiques et d'une créativité inspirante.

Je remercie les 47 enfants qui se sont prêtés aux tests, y compris pendant les vacances ou à l'heure du goûter... ainsi que leurs parents qui les y ont autorisés. Un merci particulier à Sophie Robin et Jessica Lo Presti pour leur participation active au recrutement.

Je remercie les enseignantes et les directeurs des écoles primaires Jean Rostand et Jacquemart de Romans-sur-Isère, de Saint-Michel-sur-Savasse, de Génissieux et de Peyrins, qui m'ont permis d'intervenir dans les classes ainsi que l'Inspectrice de l'Education nationale pour la circonscription de la Drôme, Madame Allafort-Duverger, et son assistante, Madame Riste, pour leur implication dans ce projet.

Je remercie mes différents maîtres de stage, orthophonistes, grâce auxquels j'ai pu faire évoluer ce travail: Delphine Dubus, Maud Clair-Bonaimé, Catherine Bobichon, Marlène Clémenceau. Je remercie également Marielle Bonhoure et Fabien Sauvage pour leur soutien très précieux.

J'adresse de vifs remerciements à l'ensemble de l'équipe enseignante et administrative du DUEFO d'Amiens, particulièrement à Corinne Adamkiewicz et Hélène Auguet. Je ne regrette pas d'avoir traversé la France pour recevoir cet enseignement de qualité et faire de riches rencontres humaines.

Bien sûr, rien n'aurait été possible sans ce merveilleux époux... Jean-Noël a non seulement accepté mais aussi soutenu, et parfois subi ces cinq longues années. Il a été mon moteur, ma boussole et mon sourire. Je ne le remercierai jamais assez.

Enfin, j'ai une pensée pour ma Maman, modèle de courage, de détermination et de tendresse. Qu'Elle continue à m'accompagner dans cette nouvelle vie.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	3
INTRODUCTION	5
PARTIE THEORIQUE	8
1 LA COGNITION NUMERIQUE ET SON DEVELOPPEMENT NORMAL	9
1.1 LE MODELE DE McCLOSKEY (1985)	9
1.2 LE TRIPLE CODE DE DEHAENE (1992)	10
1.3 LES SYSTEMES NUMERIQUES DE BASE	12
1.4 LE MODELE DEVELOPPEMENTAL DE VON ASTER ET SHALEV (2007)	14
2 LES TROUBLES DE LA COGNITION NUMERIQUE	16
2.1 CARACTERISATION DES TROUBLES DES ACQUISITIONS NUMERIQUES ET ARITHMETIQUES	16
2.2 ORIGINES DES TROUBLES: HYPOTHESES RELATIVES A LA DYS CALCULIE PRIMAIRE.	18
2.3 MANIFESTATIONS DES TROUBLES CHEZ LES PLUS JEUNES	20
2.4 FONDEMENTS ET ENJEUX DE L'EVALUATION	23
PROBLEMATIQUE & HYPOTHESES	24
1 EMERGENCE DU SUJET	25
2 PROBLEMATIQUE	25
3 POSTULAT	25
4 HYPOTHESES	25
METHODOLOGIE	27
1 LA POPULATION	28
1.1 DEFINITION DE LA POPULATION	28
1.2 CREATION DE DEUX SOUS-POPULATIONS	29
2 LE MATERIEL	29
2.1 LES EPREUVES EXISTANTES FACE AUX OBJECTIFS DE NOTRE EVALUATION	29
2.2 LA SELECTION DES OUTILS	30
3 CREATION DU Q.O.D.-N., OUTIL D'EVALUATION REpondant AUX EXIGENCES THEORIQUES	32
3.1 LA COMPTINE NUMERIQUE	33
3.2 LA DECISION NUMERIQUE	34

3.3	LE TRANSCODAGE	35
3.4	LA COMPARAISON NUMERIQUE	35
3.5	LA SUBITISATION ET L'ESTIMATION DE QUANTITES	38
3.6	LA LIGNE NUMERIQUE	39
	RESULTATS	41
1	ANALYSE DES RESULTATS AUX EPREUVES NORMEES	42
1.1	JUSTIFICATION STATISTIQUE A LA CONSTITUTION DES SOUS-ECHANTILLONS	42
1.2	PRESENTATION DES RESULTATS AUX EPREUVES NORMEES, ZAREKI ET NUMERACY SCREENER	43
2	CREATION DE L'ETALONNAGE DU Q.O.D.-N. A PARTIR DU GROUPE TEMOIN	44
2.1	LES POPULATIONS SUIVENT UNE LOI NORMALE: TESTS ET CONSEQUENCES	44
2.2	L'ETALONNAGE A PARTIR DES ENFANTS TEMOINS	45
2.3	PREREQUIS A L'UTILISATION DE L'ETALONNAGE	47
3	RESULTATS AU Q.O.D.-N.	47
3.1	RESULTATS GENERAUX CONCERNANT LA POPULATION DANS SON ENSEMBLE	47
3.2	RESULTATS DES ENFANTS EN DIFFICULTE	49
	DISCUSSION	53
1	RETOUR SUR LES HYPOTHESES	54
2	ILLUSTRATION DE L'UTILISATION DE L'OUTIL PAR L'ETUDE D'UN CAS	56
3	BIAIS ET LIMITES DU TRAVAIL	60
4	INTERETS ET PERSPECTIVES	62
	CONCLUSION	63
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65
	INDEX DES TABLES, FIGURES ET ENCADRES	76
	ANNEXES	77

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis la rentrée 2017, les mathématiques occupent une place de choix dans l'actualité. A la suite de la publication du classement PISA (Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves) qui range les pays en fonction de la performance de leur système éducatif, la France cherche à améliorer son approche des mathématiques. Les initiatives sont nombreuses: s'inspirer de la méthode de Singapour, nommer le neuroscientifique Stanislas Dehaene à la présidence du comité scientifique de l'Education nationale et commander au lauréat de la médaille Fields, Cédric Villani, un rapport destiné à améliorer l'enseignement de cette matière à l'école.

Toutefois, les mathématiques ne sont pas l'apanage du monde scolaire. Toute la journée, dans toute situation, le nombre est présent: sur le cadran du réveille-matin, dans la quantité de farine à incorporer dans la recette des fondants au chocolat, dans le nombre de tickets de bus à acheter pour obtenir le meilleur tarif ou lors de la rédaction du chèque de loyer à déposer à l'agence immobilière. Nous comprenons aisément que toute difficulté dans ce domaine constitue une entrave au quotidien.

L'observation de différences interindividuelles en matière de nombres plaide en faveur d'une cognition numérique au fonctionnement modulaire qui régirait la façon dont l'individu appréhende le nombre et établit des liens entre ses différentes représentations (Dehaene, 1992). L'approche cognitive apporte, de fait, des éléments de réponse à l'origine de troubles issus d'un dysfonctionnement au sein de cette architecture.

Aussi, nous avons utilisé le modèle du Triple Code de Dehaene (1992) comme fondement théorique à la création d'un outil dont le but est d'identifier précocement les difficultés rencontrées par les plus jeunes dès leur entrée dans les apprentissages numériques.

L'émergence de l'outil Q.O.D.-N. (Quelle(s) Origine(s) aux Difficultés Numériques) a fait suite au constat de l'absence de matériel d'identification de l'origine des troubles de la cognition numérique pour des enfants âgés de 6 et 7 ans, scolarisés en CP ou CE1.

Dans une première partie théorique, nous aborderons la cognition numérique telle qu'elle a été représentée par différents auteurs cognitivistes puis nous en caractériserons les troubles afin de préciser l'objet de notre matériel d'évaluation, le Q.O.D.-N..

Nous formulerons ensuite notre problématique ainsi que nos hypothèses de travail, mettant en perspective les épreuves créées, les résultats potentiels et les conclusions que nous souhaitons pouvoir formuler sur le fonctionnement cognitif numérique et ses troubles.

Dans une troisième partie méthodologique, nous reviendrons sur l'élaboration et les modalités de l'expérimentation que nous avons réalisée et qui nous a permis d'évaluer un groupe de 47 enfants. Nous en avons extrait un sous-groupe témoin de 22 enfants dont les résultats ont été analysés pour établir un étalonnage auquel ont été confrontés les résultats des 25 autres enfants dépistés comme étant porteurs de difficultés numériques. Ce faisant, nous décrirons, pas à pas, la création du Q.O.D.-N..

Dans une quatrième partie, nous présenterons les résultats obtenus à la lumière de divers traitements statistiques.

Enfin, dans une dernière partie, nous interpréterons et discuterons ces résultats. Nous les illustrerons par l'étude du cas d'un enfant concerné par des difficultés d'ordre numérique. Nous formulerons les limites de notre travail et envisagerons des perspectives à l'enrichissement de ce projet.

PARTIE
THEORIQUE

I – PARTIE THEORIQUE

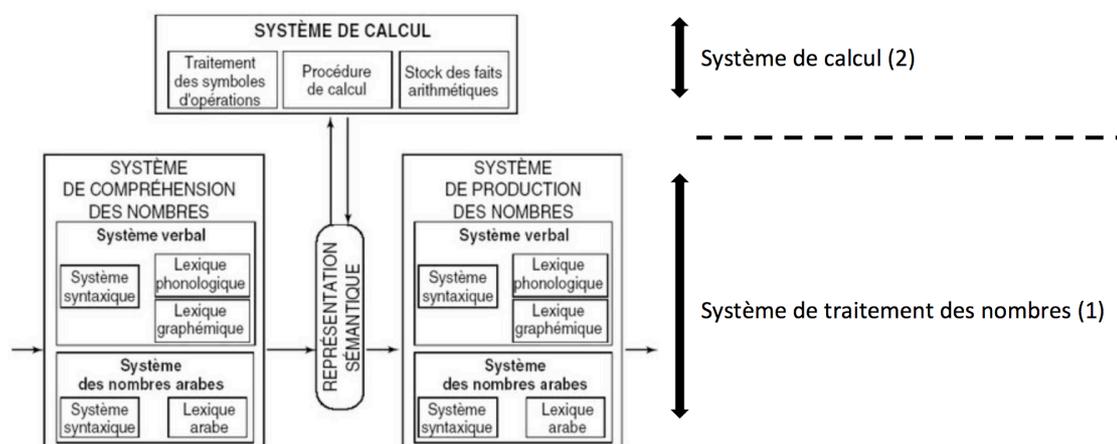
1 LA COGNITION NUMERIQUE ET SON DEVELOPPEMENT NORMAL

Différents éléments théoriques structurent le domaine de la cognition numérique. Dans cette première partie, nous présentons les principaux modèles et développements relatifs au fonctionnement cognitif numérique et à ses troubles, qui sous-tendent l'élaboration de notre matériel d'évaluation.

1.1 Le modèle de McCloskey (1985)

Le modèle historique de McCloskey a été réalisé en 1985 à partir de l'observation des acalculies de l'adulte (McCloskey, Caramazza, & Basili, 1985). Il décrit l'articulation de différents systèmes (cf. figure 1).

Figure 1. Modèle de McCloskey (1985); d'après Heremans (2011).



Le système de traitement des nombres (1) est composé de deux modules dissociés: l'un est destiné à la compréhension des données entrantes, et l'autre, à la production de données numériques. Dans chacun d'eux, des traitements distincts sont opérés en fonction du caractère verbal (oral) ou arabe des items. Ainsi, les systèmes verbaux s'attachent à traiter la syntaxe, le lexique phonologique et les graphèmes constituant les mots-nombres, tandis que les systèmes régissant les nombres arabes traitent la syntaxe et le lexique des numéraux.

Le système de calcul (2) repose sur trois composants majeurs que sont le mécanisme de traitement des opérateurs¹, les procédures de calcul et le stockage des faits arithmétiques. Ce stockage, supposé être amodal (Barrouillet & Camos, 2003), est conditionné par le fonctionnement du système de traitement numérique et par une représentation sémantique intermédiaire.

¹ Symboles arithmétiques régissant les opérations.

En effet, au cœur de ce modèle, un système interne de représentation sémantique est censé générer, à partir des quantités inhérentes au nombre, une évocation abstraite ainsi que la puissance de 10 qui y est associée² (McCloskey, 1992). Ce mécanisme concourt à fournir un ordre de grandeur. Les auteurs considèrent ainsi que toute tâche implique le passage par une représentation sémantique du nombre, propre à chaque individu.

McCloskey et al. (1985) proposent donc une vision intégrative des modules de production du nombre, de compréhension et de calcul dans lequel tous les items entrants sont transcodés en une représentation amodale abstraite. Dehaene (1992) qui compare cette représentation à un goulot d'étranglement obligatoire, note l'intérêt de classer et prédire les performances des patients. L'identification du déficit d'un module unique permet de visualiser et déduire les perturbations d'autres modules qui en seraient dépendants. Il ajoute que, bien qu'ayant été développé à partir d'observations chez l'adulte, ce modèle a servi de fondement au développement des travaux chez l'enfant.

En revanche, le passage systématique par une représentation sémantique sera contesté par différents auteurs, dont Campbell & Clark (1988) ou Deloche et al. (1994), qui pointeront notamment l'existence de tâches, dont le transcodage par exemple, durant lesquelles le sujet ne fait pas référence à la signification du nombre manipulé.

1.2 Le Triple Code de Dehaene (1992)

Le Triple Code (Dehaene, 1992) est basé sur deux prémisses. Les nombres peuvent être mentalement représentés dans trois différents codes et chaque procédure numérique est liée à un code dédié. Nous revenons sur chacune d'elles.

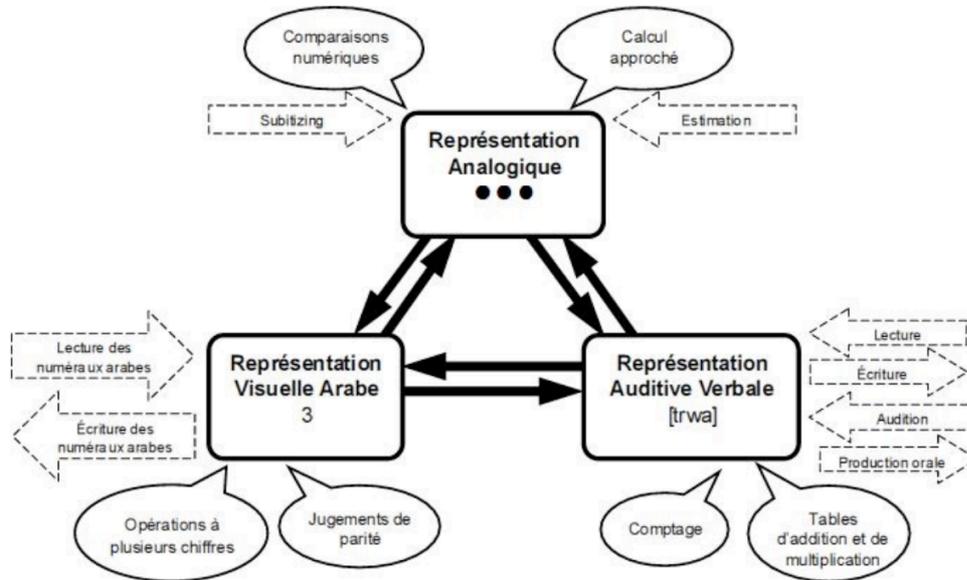
Tout d'abord, trois différents codes permettent la représentation mentale des nombres. Le code auditif verbal manipule les séquences de mots par les modules linguistiques généraux. Le code visuel arabe permet une manipulation des formes arabes dans une représentation mentale spatialement étendue. Enfin, le code analogique autorise une représentation des quantités numériques selon une distribution variable en fonction des individus, sur une ligne numérique, orientée dans le sens de lecture et obéissant à la loi de Weber-Fechner (l'imprécision de l'estimation croît avec la taille du nombre représenté).

Chacune des trois représentations est dotée de procédures de traitements, à l'entrée et à la sortie. Elles permettent la lecture et l'écriture de nombres arabes ainsi que le traitement des entrées auditives et des productions orales ou écrites. Les entrées des représentations

² En lien avec l'organisation en base 10 de notre système de numération, tel que, par exemple, $2315 = 2 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 5 \times 10^0$.

analogiques sont constituées d'estimations visuelles de quantités. Les représentations de la quantité par le code analogique sont toujours approximatives et dépourvues de syntaxe sophistiquée; notamment, en situation d'estimation, les nombres sont toujours arrondis. La communication entre les codes se fait par des chemins dédiés au transcodage (cf. figure 2).

Figure 2. Modèle du Triple Code de Dehaene (1992); d'après Heremans (2011).



Ensuite, selon la seconde proposition du modèle, les codes d'entrée et de sortie sont spécifiquement dédiés à certaines procédures. Comme le montre le schéma, les tâches de comparaison et de calcul approximatif impliquent la représentation analogique, les opérations complexes et le jugement de parité font appel au code visuel arabe et le comptage et les tables d'additions et de multiplications sont stockées via la représentation verbale.

Selon ce modèle (Dehaene, 1992), chaque tâche reliant des nombres peut être décomposée en séquences requérant chacune un format spécifique de données. Cela est en forte contradiction avec le modèle de McCloskey et al. (1985) qui ne postulait qu'une seule représentation amodale.

1.2.1 Le modèle anatomo-fonctionnel

Grâce à l'imagerie, Dehaene et Cohen (1995) ont proposé une projection du Triple Code (Dehaene, 1992) sur trois substrats cérébraux correspondant aux trois représentations. Les régions pariétales inférieures bilatérales, et plus précisément le segment horizontal du sillon intrapariétal³, sous-tendent la modalité analogique. La modalité verbale, orale et écrite,

³ Souvent retrouvé dans la littérature sous l'acronyme HIPS, Horizontal Intraparietal Sulcus.

implique la région temporale gauche périsylvienne et le gyrus angulaire alors que la modalité visuelle arabe implique les régions occipito-temporales (Dehaene & Cohen, 1995).

1.2.2 Les neurones des nombres

Sur le plan cérébral, le taux de décharge des neurones varie avec le nombre d'objets présentés, certains neurones étant activés préférentiellement selon la numérosité présentée et donnant à voir une courbe de forme Gaussienne. La largeur de la courbe de codage de la numérosité croît linéairement avec la numérosité selon la loi de Weber. Elle est donc constante sur une échelle logarithmique permettant de soutenir l'existence d'un codage log-Gaussien des numérosités (pour une synthèse des travaux, voir Dehaene, 2008). Contribuant au *sens du nombre*, les neurones du cerveau humain répondent donc préférentiellement à certaines quantités et la précision de la représentation de ces quantités décroît quand celles-ci augmentent.

1.3 **Les systèmes numériques de base**

Les compétences numériques de base se développent grâce aux capacités de représentation non symbolique, donc analogique. Ces capacités de représentation reposent sur deux systèmes distincts qui sont présents dès la naissance, chez l'humain ainsi que chez d'autres espèces animales (singes, rats, oiseaux notamment). Déployés automatiquement pour des types précis d'informations, ces deux systèmes numériques de base constituent le *sens du nombre* et servent ainsi de fondement aux concepts les plus sophistiqués acquis grâce à l'éducation (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004).

A ce jour, il n'y a pas de consensus sur la pondération des rôles respectifs du système numérique approximatif et du système numérique précis, dans la construction des représentations numériques.

1.3.1 Le Système Numérique Précis

Le Système Numérique Précis (SNP) permet de garder une trace précise des petits nombres d'objets, avec une limite supérieure à 3 (Andersson & Östergren, 2012; Fayol, Perros, & Seron, 2004), voire 4 chez l'adulte (Feigenson et al., 2004). Les petits nombres sont ainsi traités différemment via la subitisation (*subitizing* en anglais).

La subitisation désigne la reconnaissance immédiate, certaine et précise de la numérosité d'un ensemble d'éléments présenté de façon rapide (Kaufman, Lord, Reese, & Volkman, 1949) sans avoir recours au comptage. Cette compétence est innée (Starkey &

Cooper, 1980 cités par Mandler & Shebo, 1982) pour des collections d'un à trois éléments (Mandler & Shebo, 1982).

Carey accorde au SNP un rôle central dans le développement du concept de nombre naturel (Carey, 2001, 2004). Par un processus de *bootstrapping*⁴, l'enfant fait lui-même le lien entre les petites quantités visuellement perçues grâce à la subitisation, et les numéraux verbaux acquis naturellement avec le langage. Par la suite, la connaissance de la comptine numérique et la compréhension de la fonction successeur (dans la comptine numérique, le 3 récité *juste après* le 2 correspond à ce 2 *plus un*) lui permettent d'établir de quelle façon les mots-nombres représentent les quantités. Ce processus est renforcé par l'acquisition du dénombrement.

Feigenson et al. (2004) établissent que seules les petites quantités, de 1 à 4, sont régies par le SNP, alors que Clements (1999) élargit ce traitement jusqu'à 9. Pour la suite de notre travail, nous adopterons la distinction opérée par Lafay (2016) entre les petites quantités (de 1 à 4), les moyennes (de 5 à 9) et les grandes (de 10 à 99).

1.3.2 Le système Numérique Approximatif

Le Système Numérique Approximatif (SNA) fournit une représentation approximative des moyennes et grandes quantités. Ces représentations sont soumises à un *ratio*⁵ et persistent quelle que soit la modalité de présentation (écrite, orale ou analogique).

Très précocement, les enfants sont capables de discriminer des quantités d'objets. Dès 6 mois, les enfants font la différence entre 8 et 16 objets, correspondant à un ratio de 1/2. Toutefois, ils échouent dans leurs discriminations lorsque les quantités sont trop petites, c'est-à-dire entre 1 et 4 (Xu & Spelke, 2000).

1.3.2.1 *L'acuité du nombre*

Le ratio évoqué mesure la précision numérique, ou acuité, et concerne aussi bien les représentations visuelles qu'auditives. Il s'affine au cours du développement (Halberda & Feigenson, 2008; Piazza, Pica, Izard, Spelke, & Dehaene, 2013). En effet, si les nourrissons de quelques heures discriminent les quantités avec un ratio de 1/3 (Izard, Sann, Spelke, & Streri, 2009), à 9 mois, le ratio passe à 2/3 (Lipton & Spelke, 2003). A 3 ans, les enfants discriminent 3 de 4 objets (ratio de 3/4) et 5 de 6 (ratio de 5/6) à 6 ans pour parvenir à

⁴ Boucle intellectuelle permettant un autoapprentissage à partir de déductions depuis les éléments de l'environnement.

⁵ Rapport de deux quantités qui caractérise les aptitudes de comparaison de collections. Par exemple, un ratio de 1/2 (ou 0,5) illustre la capacité à distinguer une collection d'1 élément par rapport à 2 éléments.

différencier 9 de 10, voire 10 de 11 quantités à l'âge adulte (Halberda & Feigenson, 2008). Ce ratio peut être utilisé comme un indice fiable de la précision du SNA (Mussolin, Nys, Leybaert, & Content, 2014).

1.3.2.2 La ligne numérique mentale

Ces caractéristiques peuvent être modélisées sous la forme d'une ligne numérique mentale amodale, c'est-à-dire qu'en situation de comparaison numérique, tout code initial, qu'il soit digital ou verbal, subit un transcodage pour être appréhendé sous sa forme analogique. Ce phénomène est perçu grâce à l'effet de distance (les comparaisons entre nombres éloignés sont plus rapides qu'entre nombres proches) (Dehaene, 1992).

L'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes, association spatio-numérique des codes de réponse) a été décrit alors que les adultes associent les petits nombres avec le côté gauche de l'espace et les grands nombres avec le côté droit (Dehaene, Dupoux, & Mehler, 1990; Gimbert, 2016). Cet effet révèle la cartographie du continuum numérique: horizontal et orienté dans le sens de la lecture, de gauche à droite en Occident (Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993).

Enfin, cette représentation numérique approximative obéit à la loi de Weber-Fechner et le processus d'imprécision croissant avec les quantités est mis au jour par l'effet de taille (la comparaison entre petits nombres est plus rapide qu'entre grands nombres, à distance équivalente entre les nombres). Ainsi, les quantités sont distribuées sous forme logarithmique le long de la ligne numérique mentale. Toutefois, cette compression logarithmique tend à se linéariser au cours du développement (Siegler & Opfer, 2003), et à gagner en précision (Booth & Siegler, 2008).

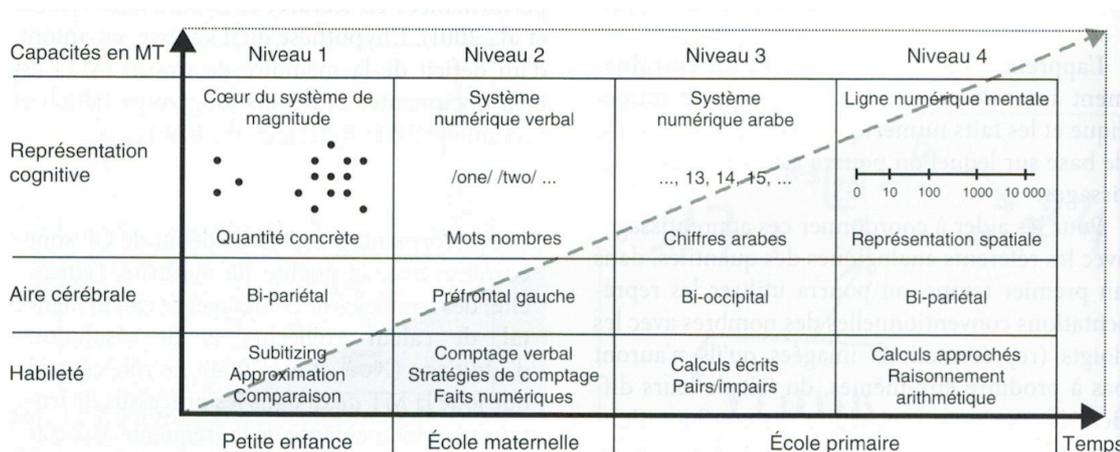
1.4 Le modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007)

Chez le jeune enfant, la représentation précoce de la quantité apporte la signification numérique aux mots-nombres et aux symboles arabes. Pour étoffer sa représentation des nombres ordinaux, comme distribués sur la ligne numérique mentale, il doit faire le lien entre la compréhension de la quantité et les propriétés symboliques et ordino-spatiales de chaque nombre (Von Aster & Shalev, 2007). Ce modèle développemental trouve ses fondements dans les travaux de Stanislas Dehaene, accordant une importance déterminante au sens du nombre. En décrivant les différentes étapes qui conduisent l'enfant à se représenter et à manipuler les grandeurs numériques non verbales sur une ligne mentale, les auteurs prennent soin de souligner le rôle des capacités préverbales et de la mémoire de travail.

1.4.1 Les 4 étapes

Ce modèle développemental d'acquisition du nombre de Von Aster et Shalev (2007) décrit quatre étapes (cf. figure 3).

Figure 3. Modèle développemental de cognition numérique à quatre étapes de Von Aster et Shalev (2007); Adaptation en français par Mazeau et Pouhet (2014).



Dans un premier temps, le système central, inné, de représentation de la grandeur cardinale non symbolique, apporte la compréhension basique du nombre. L'enfant est déjà capable de subitiser et de comparer des quantités concrètes. Grâce à ces premières capacités, il apprend ensuite à associer un nombre d'objets perçus à un symbole oral, le mot-nombre, puis lors d'une troisième étape, à un symbole écrit, le symbole arabe. Le processus de symbolisation conditionne la quatrième étape, à savoir le développement de représentations numériques matures sous forme de ligne numérique mentale qui intègre la propriété d'ordinalité du nombre.

L'imbrication des différentes étapes implique que tout dysfonctionnement dans une étape aura des conséquences en cascade sur le développement des acquisitions numériques de l'enfant.

Ce modèle voit se déployer dans le temps les différentes compétences de l'enfant selon différentes variables. Le patrimoine génétique conditionne l'accès au sens du nombre. La mémoire de travail permet l'association entre les quantités et les différents symboles, oraux puis arabes. Le langage permet de préciser les quantités et d'établir les relations entre les nombres. Les apprentissages permettent de formaliser les expériences et le raisonnement arithmétique.

1.4.2 De l'importance de l'acquisition des mots-nombres

Par définition, la différence majeure intervenant entre code non symbolique et code symbolique réside dans le langage qui intervient dès l'acquisition des mots-nombres.

L'organisation du lexique numérique, particulièrement en français, est telle que son apprentissage constitue un processus long et ardu comparativement à d'autres langues plus transparentes comme les langues asiatiques dont le mandarin, le japonais ou le coréen (Content, 2017). Les difficultés sont donc d'ordre lexical et syntaxique: le nombre de primitives à mémoriser est conséquent (seize particuliers et neuf dizaines, pour compter jusqu'à 100) et l'ensemble des numéraux relève d'une combinatoire additive et multiplicative.

Les premières études portant sur l'acquisition du nombre chez l'enfant montrent que ces derniers commettent différents types d'erreurs (Dehaene, 1992). Ils utilisent parfois un mot-nombre pour un autre. Par exemple, ils comptent inlassablement "un, deux, six" utilisant le six pour le trois (Gelman & Gallistel, 1978). Ce premier comportement témoigne d'erreurs lexicales. D'autres fois, certains inventent des mots-nombres comme "vingt-dix; cent-cent" (Fuson, Richards, & Briars, 1982; Siegler & Robinson, 1982). Ce second type d'erreurs illustre une surgénéralisation des règles inférées de la syntaxe du nombre (comme pour soixante-dix et deux cents). Enfin, certains enfants commettent des erreurs dans les mots-nombres sur la base de leur consonance, comme par exemple, *sizante* ou *douzante*. Ces erreurs lexicales de surgénéralisation, qui sont des erreurs dérivationnelles lexicophonologiques, peuvent être commises lorsque la connaissance de la chaîne numérique n'est pas suffisante et que l'enfant se fie aux propriétés linguistiques qui caractérisent le lexique numérique (Bertrand & Camos, 2011).

Dans le processus d'acquisition du langage oral, l'enfant reconnaît précocement la spécificité de fonctionnement du lexique numérique et il est en capacité de traiter les nombres arabes et verbaux de manière isolée (Mazeau & Pouhet, 2014).

2 LES TROUBLES DE LA COGNITION NUMERIQUE

2.1 Caractérisation des troubles des acquisitions numériques et arithmétiques

2.1.1 Terminologie et définition du trouble des acquisitions numériques et arithmétiques

La cognition *arithmétique* s'intéresse aux relations des nombres entre eux et rejoint en cela la cognition *numérique* intéressant le traitement du nombre (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, 2005). L'arithmétique n'est qu'une partie de la science *mathématique*. Toutefois, la littérature fait parfois l'économie de ces distinctions et relate une même réalité sous différentes appellations. A cela, s'ajoutent les effets de traductions de la terminologie anglo-saxonne (cf. tableau 1.), largement représentée dans les ressources littéraires, que la langue française ne restitue pas forcément.

Butterworth (2005b) a travaillé sur les différentes terminologies rencontrées et propose de définir comme une seule et même entité les troubles que nous avons retrouvés sous différentes expressions et regroupés dans le tableau 1.

Tableau 1. Relevé de différentes terminologies issues de la littérature (non exhaustif).

Version Française	Version Anglo-Saxonne	Auteurs Concernés
Dyscalculie développementale	<i>developmental dyscalculia</i>	Kosc (1974); Wilson & Dehaene (2007)
Troubles du calcul		Seron (1995)
Troubles arithmétiques	<i>arithmetical disorders</i>	Temple (1997)
Trouble d'apprentissage	<i>learning disability</i>	Geary, Hamson & Hoard (2000); Landerl, Fussenegger, Moll, & Willburger (2009)
Difficultés mathématiques spécifiques	<i>specific mathematics difficulties</i>	Jordan, Hanich & Kaplan (2003)
Déficience numérique	<i>numerical impairment</i>	Paterson, Girelli, Butterworth, & Karmiloff-Smith (2006)
Trouble d'apprentissage mathématique	<i>mathematical learning disability</i>	Desoete & Grégoire (2006); Mazzocco, Feigenson, & Halberda (2011a)
Difficulté dans le calcul et le traitement du nombre		Noël (2009)
Troubles cognitifs numériques		Lafay, Saint-Pierre & Macoir (2015).
Trouble mathématique	<i>mathematical disability</i>	Evans & Ullman (2016)

Malgré l'absence de consensus sur la terminologie du trouble des acquisitions numériques et arithmétiques, ses critères diagnostiques et les statistiques en découlant (Institut national de la santé et de la recherche médicale, Inserm, 2007), il nous importe de préciser l'objet de notre étude. Aussi, nous proposons, comme recommandé par l'Inserm, la définition relativement large du *UK Department for Education and Skills* qui décrit "un état qui affecte la capacité à acquérir des habiletés mathématiques" (Department for Education and Skills, 2001). Cette définition nous invite à nous intéresser tout autant aux manifestations du trouble qu'à ses origines.

2.1.2 Les critères internationaux

La Classification Internationale des Maladies, CIM 10 (Organisation mondiale de la santé, 1993) classe le *trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique* parmi les troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires, au sein des troubles du développement psychologique, impliquant que le trouble ait débuté dans l'enfance, qu'il soit en lien avec le déficit d'une fonction du système nerveux central et ait suivi une évolution constante. Dès les premières étapes du développement, l'apprentissage est altéré sans que cela soit la conséquence d'un défaut de scolarisation, d'un retard mental, ou d'une atteinte cérébrale acquise. Le trouble concerne les éléments de base du calcul, dont la maîtrise de l'addition, la soustraction, la multiplication et la division.

Parmi les troubles neurodéveloppementaux, le Manuel Diagnostique et Statistique des Troubles Mentaux, DSM-5 (American Psychiatric Association, 2015) précise le trouble spécifique des apprentissages *avec déficit du calcul*, lorsqu'il concerne le sens des nombres, la

mémorisation de faits arithmétiques, l'exactitude ou la fluidité du calcul et le raisonnement mathématique.

Pour être qualifié, le trouble renvoie à des difficultés de mise en œuvre des compétences scolaires persistant au-delà de 6 mois alors que des mesures ont été prises pour y remédier. Les compétences sont nettement inférieures à ce qui est attendu pour la classe d'âge, les tâches demandées sont réalisables et les difficultés ne sont pas expliquées par un handicap intellectuel (*sic*), des troubles sensoriels non corrigés, des troubles neurologiques, mentaux ou psychosociaux, un défaut de scolarisation ou de maîtrise de la langue d'enseignement.

Les répercussions font partie intégrante du diagnostic, elles contribuent à qualifier le trouble. En effet, pour qu'elles constituent un handicap, les difficultés avec les nombres interfèrent de façon significative avec le travail scolaire et les activités du quotidien.

Pour résumer, selon les critères internationaux, les troubles numériques et arithmétiques seraient une incapacité précoce à acquérir l'utilisation des nombres et/ou des relations des nombres entre eux, entravant significativement la vie quotidienne malgré des conditions environnementales favorables. En fonction des critères retenus pour qualifier la gravité du trouble observé, selon les domaines investigués et/ou les seuils pathologiques, la population concernée varie entre 1,3% et 10,3%, avec une moyenne estimée entre 5 et 6% et un *sex-ratio* d'1/1 (Butterworth, 2005; Inserm, 2007).

2.2 Origines des troubles: hypothèses relatives à la dyscalculie primaire.

La littérature distingue la dyscalculie primaire de la dyscalculie secondaire. La dyscalculie secondaire concerne les cas où les dysfonctionnements numériques ou arithmétiques sont entièrement dus à des déficits non-numériques (Kaufmann et al., 2013). Le dysfonctionnement survient dans le cadre d'un trouble cognitif plus général, du fait, par exemple, d'un déficit de mémoire de travail, de troubles visuo-spatiaux ou de troubles du langage préexistants (Butterworth, 2005a).

La dyscalculie primaire relève de déficits individuels (cognitifs, neuronaux, se révélant par le comportement) dans le fonctionnement numérique ou arithmétique (Kaufmann et al., 2013). Deux hypothèses sont avancées pour définir l'origine de ce trouble cognitif spécifiquement numérique.

2.2.1 Déficit du sens du nombre

Selon Wilson et Dehaene (2007), l'aspect central de la cognition numérique est le "sens du nombre", à savoir l'habileté à rapidement comprendre, estimer et manipuler les quantités numériques. Ce "sens du nombre" repose sur les systèmes numériques de base,

SNA et SNP. Selon l'hypothèse du déficit du sens du nombre, le traitement numérique des quantités non symboliques et les représentations numériques mentales seraient des systèmes défaillants du fait d'un dysfonctionnement dans l'aire du segment horizontal du sillon intrapariétal ou hIPS.

Les travaux sur l'acalculie en tant que dyscalculie acquise et sur le fonctionnement intact des circuits de la cognition numérique chez l'adulte ont permis de révéler que le substrat neuronal du sens du nombre se trouve dans une région spécifique du cortex pariétal, supposé sous-tendre la représentation non verbale des quantités numériques, de façon analogue à la cartographie spatiale de la "ligne numérique". La dyscalculie "sens du nombre" serait liée à la perturbation (fonctionnelle ou structurelle) du hIPS.

Un déficit du sens du nombre, autrement dit de la représentation non symbolique du nombre, occasionne de fait, des difficultés dans les tâches non symboliques. Les données comportementales relatent des difficultés dans les comparaisons numériques d'ensembles de points, le repérage de quantités sur la ligne numérique, les calculs approximatifs et la subitisation. Ne sont donc préservés que les processus hautement verbaux du comptage et de la récupération des faits arithmétiques.

Par ailleurs, une activation neuronale réduite de la zone impliquée dans les quantités entraîne des difficultés à appréhender le sens des nombres y compris depuis les mots-nombres et les chiffres arabes. L'apprentissage des symboles de l'arithmétique s'appuie, en effet, sur ce sens précoce des nombres (Dehaene, 2008). Les difficultés d'apprentissage de stratégies d'addition simple ou de soustraction témoigneraient de capacités réduites à comprendre les nombres ou à les manipuler.

Pour Dehaene et Wilson (2007), il s'agit de distinguer le déficit du sens du nombre lié à un dysfonctionnement neuro-anatomique des problèmes de connexions entre les représentations symboliques et non symboliques du nombre. De plus, il est important de tenir compte du contexte pouvant être à l'origine de tels dysfonctionnements. Notamment, des difficultés de mémorisation des faits arithmétiques peuvent être dus à des déficits de la mémoire de travail, des fonctions exécutives ou de l'attention visuo-spatiale, du fait des liens existants entre subitisation et développement des capacités de calcul (Mazeau & Pouhet, 2014).

2.2.2 Déficit de l'accès au sens du nombre via les codes symboliques

Selon cette seconde hypothèse formulée par Noël et Rousselle (2011), dans la dyscalculie "d'accès", la représentation numérique mentale et le traitement des quantités non

symboliques ne sont pas altérés. C'est le truchement du symbole qui entrave l'accès à ces capacités.

Rousselle et Noël (2007) ont montré que certains enfants en difficulté mathématique sont moins précis et plus lents lorsqu'il s'agit de comparer des nombres arabes mais ont des résultats dans la norme lorsqu'ils traitent des quantités présentées sous forme non symbolique. Ces auteurs formulent donc l'hypothèse d'un déficit d'accès au sens du nombre quand celui-ci est soumis à une médiation symbolique. L'accès à l'information analogique est seulement lié à l'intermédiaire des symboles numériques, en l'absence de difficultés à traiter les numérosités.

Nous avons évoqué que, dès la naissance, l'enfant est doté notamment d'un SNA. Plus tard, il apprend la chaîne numérique. Les symboles prennent sens lorsque l'enfant fait le lien entre les deux (Noël & Rousselle, 2011). Si le lien ne se fait pas, ou pas correctement, l'enfant sera gêné par le symbole pour accéder à ses représentations numériques approximatives.

De plus, l'apprentissage des nombres symboliques conduit à l'émergence d'un système de représentation numérique pour les valeurs numériques exactes. Nous avons décrit précédemment la façon dont les représentations se précisent au fil du temps. Or, en l'absence d'influences positives réciproques des systèmes, l'enfant n'est pas en mesure de préciser ses représentations numériques. Le trouble cognitif numérique est ici décrit comme un dysfonctionnement dans le processus de construction de la représentation exacte.

2.3 Manifestations des troubles chez les plus jeunes

Dans cet exposé, nous nous intéressons aux premiers signes de la dyscalculie primaire, qui aurait pour origine un déficit du sens du nombre ou un déficit d'accès au sens de ce nombre via le symbole.

Ainsi, nous nous focalisons sur les dysfonctionnements spécifiques au traitement des nombres et écartons, pour la clarté de la démonstration, les aspects mnésiques, attentionnels, langagiers ou syndromiques dont il faudrait rendre compte dans le cadre des dyscalculies secondaires.

2.3.1 La matérialisation des deux formes de troubles spécifiques

La comptine se construit progressivement. Elle relève d'un apprentissage par cœur, de type sériel (Fuson et al., 1982). Son acquisition est lente, difficile et ne révèle que peu de différences interindividuelles. En apprenant le langage, les enfants distinguent très vite les mots-nombres des autres mots, et les entendant dans des contextes variés, les mémorisent. Toutefois, cette capacité retrouvée communément chez les enfants ne témoigne en rien de leur compréhension du concept de nombre (Siegel, 1982). Aussi, nous pouvons nous attendre

à ce que les enfants, quelle que soit leur difficulté numérique spécifique, soient en mesure de réciter la chaîne numérique verbale.

Les enfants entravés par la médiation du symbole seront, eux, moins performants dans l'ensemble des tâches symboliques, et notamment celles engageant le code arabe (Andersson & Östergren, 2012; Rousselle & Noël, 2007). Par conséquent, les tâches de décision numérique et de transcodage seront plus délicates pour ces enfants (Barrouillet & Camos, 2003).

De la même façon que la manipulation des nombres peut se passer d'un niveau analogique (Carey, 2001), le transcodage ne nécessite pas davantage l'intervention d'une représentation sémantique. De fait, la reconnaissance des chiffres arabes, la lecture et l'écriture de nombres arabes ne devraient pas poser problème aux enfants dont le sens du nombre serait déficitaire (Dehaene, 1992, 2001; Wilson & Dehaene, 2007). En revanche, ces enfants sont plus lents à réaliser ces tâches ainsi qu'à procéder à des comparaisons numériques ou des tâches de dénombrement (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004). La comparaison analogique reste la tâche la plus difficile pour ces enfants dont les performances chutent notamment pour les petites et moyennes quantités (Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2017). Ils montrent une précision plus faible du SNA (Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011) avec un effet de distance plus important (Mussolin, Mejias, & Noël, 2010). En effet, les difficultés sont plus importantes quand les nombres à comparer sont proches, nécessitant davantage de temps. Elles se retrouvent dans les tâches d'estimation des quantités perçues, notamment en subitisation et estimation de quantités réduites.

Ce défaut d'acuité du SNA se retrouve chez les enfants qui ont des difficultés d'accès au sens par les symboles et s'accompagne d'une abolition de l'effet de distance (Mazzocco et al., 2011a). Ces enfants récitent la comptine numérique entre deux nombres à comparer expliquant qu'il leur faut plus de temps pour la dérouler quand la distance est plus importante (Rousselle & Noël, 2007). Par ailleurs, ils échouent dans la construction de représentation exacte de la valeur numérique par le biais des codes symboliques ce qui entrave leur capacité à fournir une valeur d'estimation de quantités perçues.

Les effets de taille se retrouvent chez les enfants quelle que soit l'origine de leur difficulté (Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2014), tout comme la compression logarithmique de la ligne numérique qui tarde à se linéariser (Von Aster & Shalev, 2007).

Pour résumer, il apparaît de façon nette, que les tâches les moins accessibles aux enfants présentant un déficit du sens du nombre sont relatives à la comparaison et la modalité analogique, alors que les enfants entravés par la médiation symbolique ont plus de difficultés

dans les tâches de manipulation et de traitement engageant notamment les chiffres arabes. Le temps de réalisation des tâches vient compléter l'observation des aptitudes à les réaliser.

2.3.2 Les signes d'appel: les tâches révélant des compétences prédictives de troubles

L'acquisition de la chaîne numérique verbale et sa consolidation dans les activités de quantification sont des habiletés verbales déterminantes pour les apprentissages arithmétiques ultérieurs (Barrouillet & Camos, 2003).

Les habiletés symboliques, s'agissant des nombres arabes ou de la comptine orale, prédisent les capacités d'association entre les numéraux et les quantités (Kolkman, Kroesbergen, & Leseman, 2013). Les tâches d'identification des chiffres arabes et l'estimation de quantités ont été identifiées comme étant notamment prédictives de difficultés d'apprentissage mathématiques (Mazzocco & Thompson, 2005).

Il n'existe aucun consensus dans la littérature quant à la présence d'un effet de distance sur la réussite ultérieure en mathématiques. En revanche, cette dernière semble être corrélée à la linéarité des représentations (Booth & Siegler, 2008) ainsi qu'à la précision du SNA (Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011b). De ce fait, la tâche de comparaison numérique symbolique peut être considérée comme prédictive d'une future réussite dans le domaine (Nosworthy, Bugden, Archibald, Evans, & Ansari, 2013). La ligne numérique donne accès aux représentations numériques mentales des enfants. En ce sens, sa précision est prédictive de réussite arithmétique.

De manière générale, la compétence numérique précoce toutes tâches confondues prédit, dès la maternelle, le niveau de performance à la fin du cycle 2 (Jordan, Kaplan, Ramineni, & Locuniak, 2009).

Les différents signes d'appel sont regroupés dans l'encadré 1.

Encadré 1. Les signes d'appel.

Les modèles théoriques et études précitées permettent d'identifier différents signes d'appel, avant même qu'un diagnostic de dyscalculie primaire ne soit établi:

- Difficultés d'acquisition des habiletés symboliques:
 - Comptine numérique verbale
 - Acquisition et identification des nombres arabes
- Difficultés d'estimation des quantités
- Difficultés à discriminer les quantités relevant du SNA dans:
 - Tâche de comparaison symbolique
 - Ligne numérique (absence de linéarité des représentations numériques).

2.4 Fondements et enjeux de l'évaluation

2.4.1 Evaluation des performances vs évaluation des compétences

La mesure des *performances* ou des connaissances d'un sujet dans un domaine, à travers des scores permet l'analyse de ses réussites et de ses échecs afin d'identifier une cause, de dégager un profil et d'établir des objectifs (Grégoire, 2008).

Parallèlement, la démarche d'évaluation centrée sur les *compétences* définies comme l'utilisation de ces connaissances en situation, vise à saisir le mode de raisonnement du sujet pour proposer une remédiation spécifique à la difficulté identifiée. Il s'agit d'étudier le traitement de l'information entre le stimulus et la réponse pour comprendre la mise en œuvre des processus cognitifs d'une personne. Les compétences peuvent, par exemple, être mesurées par la vitesse de traitement d'une tâche, qui renseigne sur l'automatisation de la procédure.

En mathématiques, le postulat est fait d'une autonomie fonctionnelle des différentes composantes du système dont un dysfonctionnement occasionnerait un trouble observable. De fait, l'évaluation diagnostique doit nécessairement associer une analyse quantitative puis qualitative: cette évaluation consiste à objectiver par des scores et caractériser dans le cadre d'un modèle théorique, pour pouvoir adapter la prise en charge. Le but de l'évaluation diagnostique est d'adapter au mieux la remédiation pour aider l'individu dans son quotidien.

2.4.2 Perspectives pour une évaluation optimisée

Différents auteurs ont émis des recommandations à l'adresse de protocoles d'évaluation à venir. Noël (2007) par exemple, insiste sur l'importance d'outils ciblant des tranches d'âge précises pour que les compétences mesurées puissent être les mêmes chez l'ensemble des enfants.

D'autres, comme Wilson et Dehaene (2007) déplorent l'absence de tâches basiques qui auraient pour vocation de tester les processus cognitifs numériques centraux, par le biais d'items symboliques et non symboliques, tout en tenant compte des temps de réponse.

Selon Lafay et al. (2014), l'évaluation des habiletés numériques de base doit permettre de caractériser le profil cognitif numérique. Pour ce faire, il est nécessaire de couvrir l'ensemble des codes numériques et notamment le code analogique. L'intégrité des processus cognitifs doit être mesurée par différents items, par le croisement des résultats, et le temps de réponse doit faire l'objet d'une attention particulière. Les épreuves proposées doivent permettre d'identifier le déficit cognitif spécifique en prenant ses fondements sur les modèles théoriques actuels.

PROBLEMATIQUE & HYPOTHESES

II – PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

1 EMERGENCE DU SUJET

A l'heure actuelle, les tests disponibles ne répondent pas aux besoins des professionnels désireux d'identifier l'origine des difficultés que rencontrent certains enfants dès le début des apprentissages numériques, à 6 et 7 ans, avant qu'un diagnostic de dyscalculie primaire ne puisse être posé.

Il conviendrait donc de proposer des épreuves ciblant ces tranches d'âge précises, intégrant des tâches basiques dans les trois codes numériques permettant de caractériser le profil cognitif grâce à l'analyse des réponses fournies et les temps de réponse.

2 PROBLEMATIQUE

Nous proposons de créer des épreuves répondant aux modèles et exigences théoriques formulées et permettant de différencier les enfants qui ont des difficultés avec le sens du nombre de ceux qui ont des difficultés numériques consécutives à la médiation symbolique, en la précisant.

Notre démarche consiste à étudier dans quelle mesure des épreuves s'intéressant au sens du nombre et à son accès via les codes symboliques peuvent permettre de distinguer les différents types de troubles de la cognition numérique.

3 POSTULAT

Pour soumettre les enfants en difficulté à des épreuves permettant d'identifier l'origine de leur trouble, nous fondons notre expérimentation sur le postulat que ces enfants vont obtenir des scores définis comme faibles voire pathologiques à des épreuves issues de tests existants et normés.

4 HYPOTHESES

Ainsi, la première phase d'évaluation des performances par des tests étalonnés existants va faire apparaître des écarts entre les résultats des enfants en difficulté et ceux des enfants contrôles. De la même façon pour le Q.O.D.-N., nous formulons comme première hypothèse que les résultats des enfants en difficulté sont inférieurs à ceux des enfants sans trouble.

Nous considérons, dans le cadre de notre deuxième hypothèse générale, que, les résultats globaux des enfants sont en lien avec leur niveau de classe et d'âge mais ne sont pas dépendants des variables sociodémographiques.

Nous opérationnaliserons le fait que pour l'ensemble des enfants quel que soit leur statut, les résultats sont meilleurs quand les enfants ont bénéficié d'une année de scolarité supplémentaire (ensemble des scores supérieurs chez les enfants de CE1 par opposition aux enfants de CP), alors que les performances ne sont pas conditionnées par les variables sociodémographiques de sexe, âge, latéralité des enfants ou situation vis-à-vis du bilinguisme.

Une troisième hypothèse générale nous amène à considérer, chez les enfants montrant des performances plus faibles, que la réussite aux épreuves créées est différenciée et laisse apparaître une hétérogénéité dans la présentation des sous-scores.

D'un point de vue opérationnel, certains enfants en difficulté réussissent mieux les épreuves reposant sur des codes symboliques quand d'autres ont plus de facilités en modalité analogique, non symbolique.

Nous formulons la dernière hypothèse que l'analyse des résultats aux épreuves créées permet de déterminer le type de trouble caractéristique du fonctionnement cognitif numérique de l'enfant.

METHODOLOGIE

III - PARTIE METHODOLOGIQUE

Notre expérimentation s'est déroulée en deux phases. Dans un premier temps, nous avons évalué les enfants avec des tests étalonnés de sorte à dépister un trouble potentiel. Pour répondre à des contraintes temporelles, nous avons sélectionné un certain nombre d'épreuves que nous jugeons pertinentes en fonction des fondements théoriques décrits précédemment.

Ensuite, l'ensemble des enfants a été soumis aux épreuves que nous avons créées, et qui constituent l'outil Q.O.D.-N. qui va être décrit dans cette partie.

Les résultats des enfants sans difficulté ont été utilisés pour constituer un étalonnage auquel ont été comparés les résultats des enfants dépistés comme étant porteurs de trouble de la cognition numérique de sorte à identifier leurs difficultés.

1 LA POPULATION

Afin de pouvoir travailler avec des enfants identifiés comme étant en difficulté dans les apprentissages numériques, nous avons pris contact avec l'Inspection de l'Education Nationale de la Drôme pour obtenir l'autorisation d'entrer dans les écoles et travailler avec les enseignants (cf. exemple de convention signée entre l'IEN de la Drôme, l'école d'accueil et l'UPJV en annexe 1). Nous avons également proposé les épreuves à des enfants de notre entourage afin de compléter notre échantillon.

1.1 Définition de la population

1.1.1 Caractéristiques de la population

Nous avons fait passer les épreuves à 47 enfants, 27 filles et 20 garçons. Seulement 7 enfants sont gauchers et 8 sont bilingues⁶. Tous étaient âgés de 6 ans à 7 ans 11 mois et élèves des classes de CP ou de CE1 (cf. imprimé de recueil du consentement adressé aux parents en annexe 2, les courriers d'information en annexe 3 et 4 et la déclaration établie auprès de la CNIL en annexe 5).

1.1.2 Critères d'exclusion

Conformément à ce qu'établissent les instances internationales (*American Psychiatric Association* et *Organisation Mondiale de la Santé*), aucun des enfants n'était porteur de trouble sensoriel sévère, n'avait été diagnostiqué comme souffrant d'un trouble neurologique ou retard mental et tous ont pu bénéficier d'une scolarisation suffisante.

⁶ Nous avons majoritairement rencontré des cas de bilinguisme composé, les parents s'adressant à leur enfant indifféremment dans une langue (le français) ou l'autre (l'arabe ou le turc, selon les cas). Nous n'avons rencontré qu'une situation de bilinguisme consécutif (l'enfant n'avait connu que le turc avant son entrée à l'école), et qu'une situation de bilinguisme simultané (les échanges ne se font qu'en turc à la maison).

1.2 Création de deux sous-populations

Les résultats de la première phase de test ont permis de constituer deux sous-échantillons nécessaires à la seconde phase de notre travail.

1.2.1 Groupe contrôle

De sorte à pouvoir nous référer à une population témoin exempte de toute difficulté dans les tâches numériques, nous n'avons intégré dans le groupe contrôle que les enfants ayant un score brut total strictement supérieur au percentile 10 (selon l'étalonnage des épreuves proposées) et sans qu'aucun résultat d'épreuve isolée ne corresponde au percentile 5. Ce dernier point nous permet de contourner le biais de la compensation des scores entre les différentes épreuves.

1.2.2 Groupe test

Les enfants ayant un score brut total inférieur ou égal au percentile 10, ou obtenant un score pathologique à une épreuve (percentile 5), ont constitué le groupe test.

2 LE MATERIEL

2.1 Les épreuves existantes face aux objectifs de notre évaluation

L'ambition de ce travail n'est pas de dresser une liste exhaustive des tests existants⁷ mais de cibler les batteries destinées aux enfants de 6 et 7 ans, intégrant les épreuves qui nous paraissent révélatrices des troubles en lien avec les deux hypothèses de fonctionnement cognitif numérique que nous avons décrites.

2.1.1 Subitisation et estimation

Les deux tâches de subitisation et d'estimation des quantités permettent de tester l'intégrité de la représentation numérique analogique, et de ses liens avec les représentations arabe et orale, pour les petites et grandes quantités.

Trois batteries permettent de s'intéresser au SNP à travers une tâche de subitisation ou estimation précise de quantités: la batterie B-LM (Métral, 2008), le test MathEval (Heremans, 2011) et le test Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006).

Le SNA, via l'estimation de quantités plus importantes, est testé par l'épreuve d'estimation visuelle de quantités du test Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006).

⁷ Pour une revue, voir Lafay et al. (2014).

2.1.2 Comparaison

La tâche de comparaison permet de tester les trois types de représentation, en apportant des informations sur la précision du SNA.

Le test Tedi-Math (Van Nieuwenhoven, Grégoire, & Noël, 2001) propose une épreuve de comparaison de nombres oraux. Les tests Numerical (Gaillard, 2000) et Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006) comportent chacun une épreuve de comparaison de nombres oraux mais également une épreuve de comparaison de nombres écrits.

Seul le test Numeracy Screener (Nosworthy et al., 2013) offre à la fois une tâche de comparaison numérique symbolique et une tâche de comparaison numérique non symbolique, présentée sous forme d'ensemble de points. Dans les deux cas, l'enfant est contraint par le temps.

2.1.3 Placement sur une ligne numérique

Demander à l'enfant de situer des nombres sur une ligne numérique permet de mesurer si la qualité de ses représentations numériques sont matures.

Dans le test Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006), l'enfant doit placer des nombres entendus et des nombres arabes sur une échelle verticale. Le test Numerical (Gaillard, 2000) ne présente que des nombres énoncés oralement. Ce test propose également de graduer, sous les mêmes consignes, un compteur de vitesse, circulaire.

2.2 La sélection des outils

Notre première démarche est d'identifier, au sein d'un groupe d'enfants tout venant, un sous-groupe d'enfants exempts de toute difficulté numérique qui nous permettra de définir un étalonnage aux épreuves du Q.O.D.-N.. Secondairement, se formera un sous-groupe d'enfants en difficulté sur lequel le matériel créé sera éprouvé.

Ainsi, seront proposées les tâches de subitisation-estimation (testant purement le sens du nombre), de comparaison analogique (pour tester le sens du nombre) et symbolique (pour tester l'hypothèse du déficit d'accès) et de placement de nombres sur une ligne numérique (en lien avec les représentations numériques matures, et conditionné par la modalité de présentation). L'ensemble de ces épreuves se trouvent les tests Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006) et Numeracy Screener (Nosworthy et al., 2013) (cf. annexes 6 et 7).

2.2.1 Zareki-R

Le test Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006) est une batterie destinée au dépistage et à l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant âgé de 6 ans à 11 ans et 6

mois. Cette batterie adapte des épreuves inspirées de la batterie EC301 destinée aux adultes (Dellatolas, Deloche, Basso, & Claros-Salinas, 2001; Gérard Deloche, Dellatolas, Vendrell, & Bergego, 1996)

Le manuel fait référence aux modèles de McCloskey (McCloskey, 1992) et au Triple Code de Dehaene (Dehaene, 1992) pour les représentations numériques mais cite également Siegler sur la représentation des quantités (Siegler & Opfer, 2003) et Noël (2007, 2009) pour des précisions sur la mémoire de travail et les difficultés d'utilisation des codes symboliques.

La normalisation a été réalisée sur la base d'un échantillon de 249 sujets pour 5 tranches d'âge et les résultats sont fournis en déciles ainsi qu'en moyenne et écart type. Plus de la moitié de la population ayant permis d'étalonner ce test est issue de Zone d'Education Prioritaire avec, pour près d'un tiers, une situation de bilinguisme à la maison.

2.2.2 Numeracy Screener

Le test Numeracy Screener (Nosworthy et al., 2013) a été créé dans le but de mieux comprendre les réussites et les échecs dès les débuts des apprentissages mathématiques. Il a été développé en 2013 par Nosworthy et Ansari pour mesurer les compétences des enfants à appréhender les quantités. Cet outil de dépistage, et non de diagnostic, est destiné aux enfants à partir de la grande section de maternelle jusqu'au CE2. Il a été étalonné sur la base d'un échantillon de 658 enfants.

Les scores de performance à ce test seraient corrélés avec les aptitudes arithmétiques qui se révèlent à travers les différences interindividuelles, en termes de rapidité et de précision, à comparer deux nombres, présentés sous forme symbolique ou non symbolique (De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013).

Ce test, conçu dans le cadre d'une thèse, ne comporte que deux épreuves. La première consiste à comparer, en une minute, le plus possible de nombres arabes regroupés par paires afin de déterminer lequel est le plus grand. La seconde épreuve est identique, mais les quantités sont présentées sous forme d'ensembles de points. Il existe deux versions du test destinées à tester d'abord le format arabe puis le format analogique et la version inverse.

Les résultats sont saisis en ligne (nombre de paires correctement comparées en une minute dans chacune des modalités), et instantanément un score sous forme de percentile est fourni (Ansari, Nosworthy, Baobaid, & Mousa, 2013). Il n'existe pas à notre connaissance de téléchargement possible.

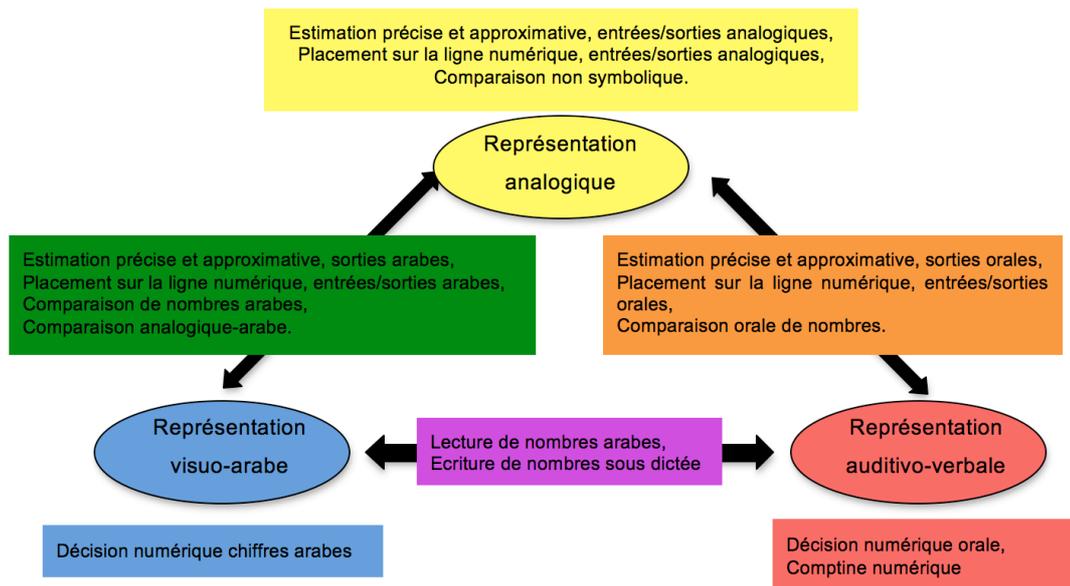
2.2.3 Les épreuves complémentaires

Nous n'avons pas manqué de souligner l'importance de la mémoire à court terme, de la mémoire de travail et de l'attention visuo-spatiale lors de la séquence développementale (Von Aster & Shalev, 2007) et dans les hypothèses relatives à l'origine des troubles de la cognition numérique (Butterworth, 2005a; Wilson & Dehaene, 2007). Aussi, il nous paraît judicieux de tester ces domaines pour pouvoir ensuite les mettre en relation avec les autres résultats et focaliser notre étude sur les troubles spécifiques du traitement numérique. A cette fin, nous utiliserons les épreuves de répétition de chiffres à l'endroit et répétition de chiffres à rebours proposées par le test Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006) (cf. annexe 8) ainsi que le test des cloches (Gauthier, Dehaut, & Joanne, 1989; Laboratoire Cogni-Sciences, 2002, 2003) (cf. annexe 9).

3 CREATION DU Q.O.D.-N., OUTIL D'EVALUATION REpondant AUX EXIGENCES THEORIQUES

Les schémas suivants (cf. figures 4 et 5, infra) situent chacune des épreuves proposées sur les modèles théoriques de référence.

Figure 4. Localisation des épreuves au sein du Triple Code.



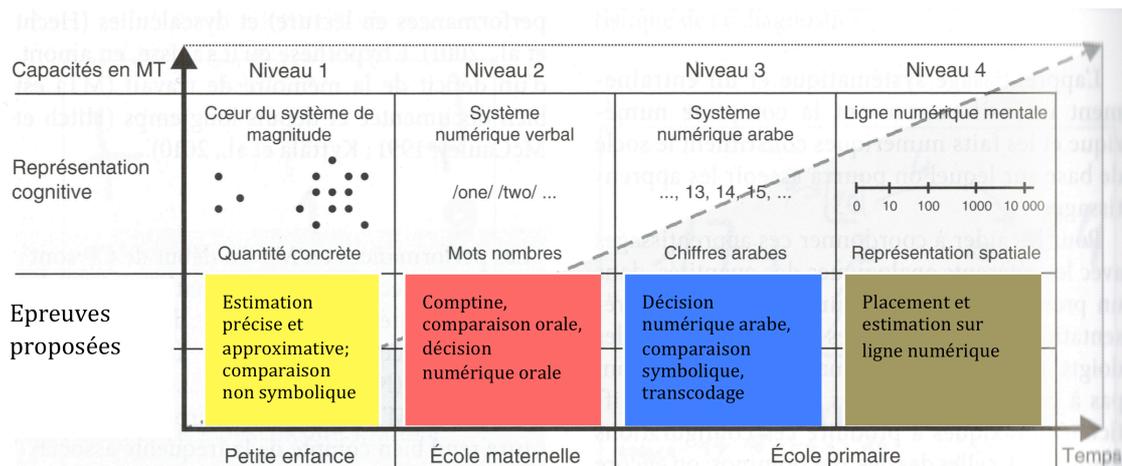
Le schéma issu du Triple Code fait apparaître que, dans la mesure du possible, nous avons doublé les épreuves pour chaque type de code⁸. En effet, la confirmation d'un échec entre deux codes par des résultats déficitaires à une autre épreuve permet d'envisager valablement un problème de connexion entre les codes. Dans le cas contraire, l'échec pourrait

⁸ La tâche de décision numérique arabe nous est apparue être la seule testant purement le code arabe.

n'être relatif qu'à la tâche. Ce doublon nous permet ainsi d'identifier précisément l'origine du dysfonctionnement et de distinguer les problèmes relatifs aux codes des problèmes relatifs à la tâche.

Le schéma du modèle à 4 étapes (cf. figure 5) nous permet de visualiser un retard éventuel dans les acquisitions de l'enfant voire des perturbations intervenues précocement dans la chronologie du développement.

Figure 5. Localisation des épreuves dans le modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007); d'après Mazeau et Pouhet (2014).



3.1 La comptine numérique

Préalablement, il nous semble intéressant de tester la connaissance de la comptine numérique chez l'enfant qui sera soumis au Q.O.D.-N.. Directement sous-tendue par le code auditif verbal (ou code oral), elle témoigne de la connaissance de la séquence ordonnée des mots-nombres.

Nous demandons à l'enfant de compter "le plus loin possible" à haute voix (cf. extrait du cahier de passation, annexe 10). Une réussite dans cette tâche n'apporte pas d'élément sur la compréhension numérique. L'enfant montre simplement qu'il est dans la fourchette de compétences attendues pour son âge. Toutefois, un échec dans cette tâche nous permettrait de relativiser la passation des autres épreuves.

Pour les tranches d'âge qui nous intéressent, l'enfant est capable de compter jusqu'à 30 à la fin de la grande section de maternelle (Ministère de l'Éducation Nationale, 2015b), et jusqu'à 100 en fin du CP (Ministère de l'Éducation Nationale, 2015a).

Le score attribué est égal au dernier numéral correct, dans l'ordre de la comptine, avec un maximum de 30. De cette façon, l'épreuve peut être proposée dès l'entrée au CP.

3.2 La décision numérique

Le traitement spécifique du lexique arithmétique doit être testé pour évaluer les capacités isolées de reconnaissance des numéraux oraux et arabes. De nombreuses analogies ont été faites entre le stockage des informations arithmétiques et le stockage lexical. La reconnaissance des mots-nombres, comme celle des faits arithmétiques serait soumise à un effet de fréquence et sensible à un effet d'amorçage⁹ (Ashcraft & Battaglia, 1978; Atkinson & Juola, 1973; Dehaene, 1992). Aussi, nous proposons une tâche de décision numérique, comparable aux tâches de décisions lexicales.

En ce qui concerne le code arabe, l'enfant observe des caractères, édités en Times New Roman, taille 200, pour être différents des nombres présentés dans les autres épreuves. Il doit dire si les symboles présentés sont des chiffres ou non. L'ordre de présentation est aléatoire.

La consigne est: "Je vais te montrer différents symboles. Pour chacun d'eux, tu devras me dire s'il s'agit d'un chiffre ou non" (cf. extrait du cahier de passation, annexe 11).

Tableau 2. Symboles présentés à l'enfant lors de l'épreuve de décision numérique écrite.

Dans l'ordre de présentation														
ñ	ø	4	∞	¶	6	ε	π	2	¢	3	∫	8	P	λ

En modalité orale, l'examineur proposera différentes expressions revêtant les propriétés linguistiques des nombres. L'enfant devra dire si le nombre existe ou non.

La consigne est: "Je vais te dire des mots. Certains sont des nombres mais d'autres n'en sont pas. Tu dois me dire lesquels" (cf. extrait du cahier de passation, annexe 12).

Tableau 3. Items proposés oralement à l'enfant dans l'épreuve de décision numérique orale (présentation aléatoire).

Nombres existants	Pseudo-nombre (détournement lexical)	Pseudo-nombre (détournement grammatical)
treize	quartinze	dix-cinq
dix-sept	treizante	quarante-douze
vingt-quatre	dizante	vingt-seize
soixante-douze	trenteize	trente-onze
Quatre-vingt-dix-neuf	deuxorze	cinquante-dix

L'ordre de présentation est aléatoire. Chaque bonne réponse est gratifiée d'un point.

⁹ La récupération en mémoire à long terme se fait sous l'influence de la présentation d'un stimulus (amorçage) qui est associé ou identique.

3.3 Le transcodage

Le transcodage permet d'évaluer les capacités de l'enfant de passer d'un code à un autre. Après avoir mesuré la connaissance respective des codes arabe et oral, nous souhaitons évaluer la connexion entre les deux.

Dans un premier temps, l'enfant est amené à lire à haute voix des nombres présentés en code arabe. Dans un second temps, l'examineur dicte des nombres à l'enfant qui doit les écrire, sous leur forme arabe sur une feuille blanche.

La consigne est: "Je vais te présenter des nombres. Tu vas les lire à haute voix". Puis, "Je vais te dicter des nombres, tu dois les écrire en chiffres sur la feuille que je te donne" (cf. extrait du cahier de passation, annexes 13 et 14).

Les nombres sont édités en Arial, taille 200.

Tableau 4. Items présentés à l'enfant lors des épreuves de transcodage.

Nombres lus à voix haute	3	4	6	7	8	9	14	15	21	22	23
Nombres écrits sous dictée	2	5	6	7	8	9	10	12	16	18	20

Les nombres écrits sous dictée sont les nombres qui seront à gauche dans la tâche de comparaison. Les nombres lus sont ceux qui seront présentés à droite.

Dans ces épreuves, chaque item est noté sur un point.

3.4 La comparaison numérique

En partie théorique, nous avons rappelé que la précision avec laquelle les enfants discriminent les quantités s'affine au cours du développement et que ce phénomène est observable à partir de ratios (cf. page 13, paragraphes 4 et 5).

Nous souhaitons maintenant mesurer l'impact de la modalité de présentation des quantités. Nous proposons de soumettre les enfants à des tâches de comparaisons numériques dans les différents codes mais sur la base des mêmes quantités, selon des ratios contrôlés.

Les nombres arabes sont présentés dans deux cases accolées mesurant 10,5 cm x 9,1 cm, de manière comparable à un domino. Nous avons utilisé la police Arial, taille 200.

En modalité analogique, les ensembles sont formés par des points noirs de diamètre 1,5 cm, les cases mesurent 18 cm x 12 cm.

En comparaisons analogique, arabe et analogique-arabe, l'enfant devra montrer la case qui comporte la plus grande quantité. Le côté de présentation dans la tâche analogique-arabe sera inversé.

Nous soumettons oralement les comparaisons de mots-nombres à l'enfant, en prenant soin de laisser un intervalle équivalent à une seconde en les deux items. L'enfant citera le mot-nombre qui est le plus grand.

En modalités analogique et arabe, la consigne est: " Je vais te présenter des ensembles de points (ou des nombres) deux par deux. Chaque fois, tu vas devoir me montrer quel est le côté où il y en a le plus (lequel est le plus grand)". La même consigne est donnée pour l'épreuve de comparaison analogique-arabe. Dès que des ensembles de points sont présentés, l'examineur ne manque pas de préciser que l'enfant n'a "*pas le droit de compter les points*" (cf. extrait du cahier de passation, annexes 15, 16 et 17).

En modalité orale, l'examineur explique à l'enfant: "Je vais te dire deux nombres. Tu devras me dire lequel est le plus grand" (cf. extrait du cahier de passation, annexe 18).

L'ordre de présentation des paires varie en fonction des modalités de façon semi-aléatoire de sorte que deux nombres identiques ne soient jamais présentés successivement. Enfin, une attention particulière a été portée à ne pas toujours placer le plus grand nombre du même côté.

Dans cette tâche, nous ne testons pas de nombres au-delà de 30. En effet, matériellement, il nous était difficile de conserver la taille des points si la quantité devenait trop importante. Cela ne prête pas à conséquence dans la mesure où d'un point de vue théorique, les nombres sont réputés représenter une grande quantité à partir de 10 (Lafay, 2016) et être régis par le même système numérique approximatif (Clements, 1999).

Enfin, il sera intéressant de mesurer le temps de réponse pour mettre en évidence un effet de distance (le temps de réponse s'allonge quand la distance entre les nombres diminue) ou un effet de taille (la comparaison est plus rapide pour les nombres représentant de petites quantités).

Etant donné que notre épreuve vise notamment des enfants de CP, la fourchette des nombres maîtrisés est relativement restreinte (jusqu'à 30), et cette borne supérieure ne nous a pas laissé la latitude de proposer des modifications d'ordre des mots (comme dans "cent trois/trois cents", le phénomène étant inexistant avant trente) ou phonologiques (opposer des finales en "ze" comme onze ou douze en regard des finales en "ante" comme quarante ou cinquante).

En revanche, nous avons pu contrôler le nombre de mots (dans "vingt-cinq<trente", "vingt>dix-huit" par opposition à "vingt-deux>vingt" ou "vingt-trois>quatre"), le nombre de syllabes ("quatorze<seize", "quatorze" étant le seul particulier de deux syllabes s'oppose aux

autres particuliers d'une seule syllabe), la proximité phonologique ("sept>cinq"), et la congruence à l'ordre de la comptine numérique ("quatre<cinq" mais "six>cinq").

Visuellement, une seule inversion a été possible en comparaison de chiffres arabes (12<21) et nous avons proposé des comparaisons de nombres à un ou deux chiffres, ayant ou non la même dizaine (cf. tableau 5).

Dans toutes les épreuves de comparaison, chaque paire correctement comparée rapporte un point.

Tableau 5. Items proposés à l'enfant lors des épreuves de comparaison numérique et leurs caractéristiques dans les 3 codes.

Âge d'acquisition	Ratio	Ratio décimal	Nombre présenté à gauche	Nombre présenté à droite	Intérêt de la paire		
					Code Analogique	Code Arabe	Code Oral
Naissance	<1/5	0,174	23	4	Utilisation du SNA	Visuellement, dans l'ordre de la comptine	1 mot < 2 mots
	<1/2	0,571	21	12	Utilisation du SNA	Inversion visuelle	1 mot < 2 mots
6 mois	1/2	0,500	3	6	Intègre une valeur subitivée	Nombres à 1 chiffre	Mots-nombres simples
		0,500	4	2	Intègre une valeur subitivée	Nombres à 1 chiffre	Mots-nombres simples
9 mois	2/3	0,667	6	9	Utilisation du SNA	Inversion spatiale	Mots-nombres simples
		0,667	3	2	Intègre deux valeurs subitivées	Nombres à 1 chiffre	Mots-nombres simples
		0,667	18	27	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres, dizaine différente et unité non consistante	Mots-nombres composés
	<3/4	0,714	7	5	Utilisation du SNA	Nombres à 1 chiffre	Nombres phonologiquement proches
3 ans	3/4	0,750	6	8	Utilisation du SNA	Nombres à 1 chiffre	Nombres phonologiquement proches
		0,750	9	12	Utilisation du SNA	1 chiffre < 2 chiffres	Mots-nombres simples
	4/5	0,800	8	10	Utilisation du SNA	1 chiffre < 2 chiffres	Nombres phonologiquement proches
		0,800	4	5	Utilisation du SNA	Nombres à 1 chiffre	Dans l'ordre de la comptine
	<5/6	0,826	23	19	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres, dizaine différente	Mots-nombres composés
6 ans	5/6	0,833	6	5	Utilisation du SNA	Nombres à 1 chiffre	Dans l'ordre inverse de la comptine
		0,833	25	30	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres, dizaine différente	2 mots < 1 mot
	<6/7	0,852	27	23	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres	Mots-nombres composés
	6/7	0,857	6	7	Utilisation du SNA	Nombres à 1 chiffre	Dans l'ordre de la comptine
		0,857	18	21	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres, dizaine différente	Mots-nombres composés
	7/8	0,875	14	16	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres	2 syllabes < 1 syllabe
	<8/9	0,882	17	15	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres	1 mot < 2 mots
Âge adulte	9/10	0,900	9	10	Utilisation du SNA	1 chiffre < 2 chiffres	Mots-nombres simples
		0,900	20	18	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres, dizaine différente	2 mots < 1 mot
	10/11	0,909	22	20	Utilisation du SNA	Nombres à 2 chiffres	2 mots < 1 mot

3.5 La subitisation et l'estimation de quantités

Nous avons choisi de regrouper ces épreuves dans la mesure où elles se matérialisent sous une même forme: l'enfant doit, sans avoir recours au comptage, estimer l'ensemble qui lui est présenté. Comme vu précédemment, la subitisation ne concerne que les quantités jusqu'à 3; au-delà, nous parlerons d'estimation.

Pour éviter le recours au comptage, les temps de présentation seront très brefs: 2 secondes jusqu'à 7 items et 5 secondes au-delà (Kaufman et al., 1949; Mandler & Shebo, 1982; Piazza, Giacomini, Le Bihan, & Dehaene, 2003). Les avancés technologiques n'ont pas démenti les conclusions des premiers travaux réalisés en la matière.

L'enfant visionne brièvement des planches d'ensembles de points et doit, en modalité analogique, entourer sans les compter, un ensemble de points correspondant à ce qu'il juge être la même quantité, sur une feuille de même dimension comportant 80 points identiques.

Les points sont pleins et noirs, de diamètre 1,5 cm. Ils sont disposés en dehors de toute configuration canonique.

En modalité arabe, sur le même mode de présentation, l'enfant forme le nombre qu'il estime être correspondant à partir de cartons sur lesquels se trouvent des chiffres de 1 à 9. Les chiffres sont édités en police Arial, taille 160.

Pour tester la production du code verbal, l'enfant répond oralement à l'examineur.

Les quantités sont présentées de façon aléatoire.

Tableau 6. Items proposés à l'enfant lors de l'épreuve de subitisation et estimation de quantités.

Code de sortie	Subitisation	Reconnaissance	Estimation
Code oral	2		
		4	
			7
Code arabe	1		
		5	
			8
			12
Code analogique	3		
			24
			30

La consigne est: " Tu vas voir une planche sur laquelle il y aura un ensemble de points. Je ne te la montrerai pas longtemps. Quand je l'aurai cachée, tu devras (1) me dire le nombre de points que tu penses qu'il y avait sur la planche (en réponse orale), (2) écrire grâce à ces chiffres (présenter les petits cartons) le nombre de points que tu penses qu'il y avait sur la planche (en réponse arabe) ou (3) entourer sur cette feuille le même nombre, la

même quantité, que tu penses qu'il y en avait sur la planche (en réponse analogique)". La consigne sera réitérée pour étayer la compréhension de la proposition subordonnée relative (cf. extrait du cahier de passation, annexe 19).

Chaque item est noté sur un point. Pour les ensembles de points qui peuvent être subitisés ou reconnus (de 1 à 5), l'estimation doit être exacte. Pour les quantités que nous avons définies comme moyennes (jusqu'à 9), l'estimation est recevable à +/- 2, et à +/- 3 pour les grandes quantités (à partir de 10).

3.6 La ligne numérique

Conformément à la description théorique qui en a été faite, nous proposons dans cette épreuve une ligne numérique horizontale et orientée de gauche à droite. La ligne mesure 21,4 cm (1 cm = 5 unités) et se présente comme une flèche. Elle porte trois graduations: la première à 0, la deuxième à 30 pour que la ligne soit utilisable par des enfants de début de CP, et la troisième à 100. Ces graduations sont indiquées en code arabe.

L'épreuve se déroule en deux temps et chaque code est testé.

L'enfant va d'abord devoir placer différentes valeurs, chaque nouvelle valeur étant portée sur une nouvelle ligne. Le nombre de lignes vierges correspondant se trouve sur la même feuille, alignées à la verticale. Ainsi, l'enfant qui est en capacité de le faire, peut se référer à sa réponse précédente pour relativiser les positions des items cibles alors que l'enfant qui ne relativise pas les positions renseignera la ligne vierge, sans être entravé par sa réponse précédente. En modalité analogique, reprenant les paramètres précédents, une planche comportant un ensemble de points est brièvement présentée à l'enfant. En modalité arabe, c'est un nombre qui est présenté et en modalité orale, le nombre est énoncé à l'enfant.

La consigne est: " Tu vois cette ligne (la montrer). Elle va de 0 (montrer) à 100 (montrer). Cela veut dire lorsque j'avance sur la ligne, c'est comme si je comptais (faire avancer son doigt lentement). Tu vois, là, j'ai dessiné un petit trait qui signifie que je suis à 30. Est-ce que maintenant tu pourrais dessiner le petit trait qui correspond à...". L'examineur dira ou montrera le nombre ou l'ensemble de points en fonction de la modalité d'entrée (orale, arabe et analogique). L'examineur s'assurera de la bonne compréhension de la consigne et de l'utilisation du matériel (cf. extrait du cahier de passation, annexe 20).

Chaque item est noté sur deux, avec une décote d'un demi-point par demi-centimètre d'écart (cf. tableau 7).

Tableau 7. Items proposés à l'enfant lors de l'épreuve de placement sur la ligne numérique.

Entrée orale	Entrée arabe	Entrée analogique
31		
81		
	29	
	97	
		1
		24
		70

Dans le second temps de l'épreuve, l'examineur présente une ligne qui porte déjà une graduation et l'enfant doit restituer la valeur de cette graduation.

La consigne est: " Maintenant, nous allons faire le contraire. Tu vois, j'ai déjà tracé un trait sur la ligne. Tu vas devoir trouver à quel nombre il correspond. Peux-tu me (1) le dire, (2) l'écrire avec les petits cartons ou (3) entourer le nombre de points correspondants" (cf. extrait du cahier de passation, annexe 21).

Tableau 8. Items proposés à l'enfant lors de l'épreuve d'interprétation des graduations de la ligne numérique.

Réponse orale	Réponse arabe	Réponse orale
15		
	25	
		5

Deux points sont attribués par réponse correcte, avec une décote d'un demi-point par unité d'écart.

La chronologie de l'expérimentation est reprise dans l'encadré 2.

Encadré 2. Chronologie de l'expérimentation.

<p>Notre expérimentation auprès des enfants s'est donc déroulée en deux temps:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Screening du trouble de la cognition numérique par des épreuves normées: <ul style="list-style-type: none"> • estimation approximative et estimation précise de quantités • comparaison non symbolique (analogique) • comparaison symbolique (arabe) • placement de nombres sur une ligne numérique verticale • épreuves complémentaires (pour identifier les troubles spécifiques) - Démarche d'identification de l'origine du trouble par des épreuves originales: <ul style="list-style-type: none"> • comptine numérique • décision numérique • subitisation, estimation • comparaisons (symbolique et non symbolique; croisement des 3 codes) • placement de nombres sur une ligne numérique horizontale
--

RESULTATS

IV - PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats recueillis dans les différentes phases de tests vont être statistiquement analysés et présentés dans cette partie. Le screening réalisé dans un premier temps nous a permis de faire émerger un groupe d'enfants témoins à partir duquel nous avons pu réaliser l'étalonnage du Q.O.D.-N., dans un second temps.

1 ANALYSE DES RESULTATS AUX EPREUVES NORMEES

Les calculs de statistiques, descriptives (moyennes et écarts-types) et inférentielles, ont été réalisés à l'aide du logiciel Gnumeric. Les tests de normalité et d'indépendance des données sont cités au fur et à mesure de la présentation des résultats que nous proposons dans cette partie.

1.1 Justification statistique à la constitution des sous-échantillons

Comme nous l'indiquions en méthodologie, lors des premières épreuves, les enfants dont le score au test Zareki correspondait à un score égal ou inférieur aux 10% de scores les plus faibles (percentile 10, P10) intégraient le groupe d'enfants considérés comme étant en difficulté et donc potentiellement porteurs d'un trouble de la cognition numérique. Dans notre développement, nous désignerons ces enfants sous le terme générique d'enfants *en difficulté*.

Parallèlement, nous avons constaté que, bien qu'ayant un score total au Zareki supérieur aux 10% les plus faibles de la population, certains enfants obtenaient au moins un sous-score correspondant aux scores obtenus par les 5% les plus faibles de la population (percentile 5, P5). Cela concerne 9 enfants.

Nous avons procédé au calcul d'une table des fréquences (cf. tableau 9) qui nous a permis d'établir que chez les enfants de 6 ans dont le score est strictement supérieur à ce qui est attendu, la majorité (F=58.82%) n'avait pas de score correspondant au percentile 5 alors que 100% des enfants de 6 ans, strictement en difficulté, en avaient au moins un. Il en va de même chez les enfants de 7 ans: plus de 80% de ceux qui n'ont pas du tout de difficulté n'ont aucun score correspondant au percentile 5 quand les deux tiers des enfants les plus en difficulté en ont au moins un.

Tableau 9. Fréquence des scores correspondant au percentile 5 (P5) en fonction des résultats.

	Score Zareki < P10		Score Zareki > P10	
	Absence de résultat P5	Au moins 1 résultat P5	Absence de résultat P5	Au moins 1 résultat P5
6 ans	0%	100%	58,82%	41,18%
7 ans	33,33%	66,67%	85,71%	14,29%

Nous en concluons que la présence d'un score correspondant au percentile 5 traduit une fragilité.

En outre, nous ne retrouvons pas forcément un score correspondant au percentile 5 dans les résultats d'un enfant dont le score global est faible, inférieur au percentile 10. En effet, son trouble peut être diffus, ses faiblesses peuvent être homogènes.

La présence d'un score correspondant à un percentile 5 malgré un score total dans la norme, montre l'existence d'une faiblesse dans un type d'épreuve précis. Dans la mesure où notre outil a vocation à identifier l'origine des troubles, il nous paraît pertinent de ne pas intégrer ces enfants au groupe témoin de sorte à pouvoir comparer leur score à un étalonnage de performances plus homogènes.

Ainsi, nous pouvons décrire la composition des deux sous-groupes (cf. encadré 3).

Encadré 3. Composition des deux sous-échantillons.

Les deux sous-échantillons sont ainsi constitués:	
- Enfants en difficulté:	<ul style="list-style-type: none"> • Score Zareki inférieur ou égal au P10; • Présence d'un sous-score au moins correspondant au P5.
- Enfants témoins:	<ul style="list-style-type: none"> • Scores Zareki et Numeracy Screener strictement supérieurs au P10.

1.2 Présentation des résultats aux épreuves normées, Zareki et Numeracy Screener

Selon le manuel du test Zareki (épreuves d'aptitudes analogiques et verbales orales), le score total brut correspondant au percentile 10 se situe à 17 pour les enfants de 6 ans, et à 22 pour les enfants de 7 ans (cf. tableau 10).

Tableau 10. Détail par âge des résultats aux épreuves normées (Zareki et Numeracy Screener).

Effectifs	Score Zareki ≤ P10		Score Zareki > P10		Effectifs globaux
	Au moins 1 résultat P5	Absence P5	Au moins 1 résultat P5	Absence P5	
6 ans Zareki (P10=17)	6	0	6	10	22
Numeracy screener: P5 isolé			1		1
7 ans Zareki (P10=22)	10	0	2	12	24
Numeracy screener: P5 isolé					0
Effectifs globaux	Enfants en difficulté			Enfants témoins	47
	16	0	9	22	

Au test Zareki, parmi les enfants de 6 ans, 6 obtiennent un score total inférieur ou égal à 17, alors que 6 ont un score supérieur à 17 avec au moins un score correspondant au percentile 5 et 10 ont un score supérieur à 17 en ayant réussi l'ensemble des épreuves. Un seul enfant échoue de façon isolée au Numeracy Screener malgré un score satisfaisant au Zareki.

En ce qui concerne les enfants de 7 ans, 10 ont un score total inférieur ou égal à 22, quand 2 ont un score légèrement supérieur mais avec un résultat d'épreuve correspondant au percentile 5, et 12 ont un score total supérieur à 22.

En ce qui concerne le test Numeracy Screener, nous notons que nous trouvons peu d'enfants obtenant des scores correspondant au maximum au percentile 5 (cf. tableau 11), qu'il s'agisse de la modalité non symbolique analogique ou symbolique arabe. Cette situation concerne 8 enfants, 5 de 6 ans et 3 de 7 ans.

Tableau 11. Détail par âge et par modalité des difficultés rencontrées au Numeracy Screener.

	Effectif	Score \leq P5 au Numeracy Screener Symbolique (code arabe)	Score \leq P5 au Numeracy Screener non Symbolique (code analogique)	Nombre d'enfants concernés
6 ans	Échec dans les 2 modalités		2	5
	Échec dans une seule modalité	2	1	
7 ans	Échec dans les 2 modalités		0	3
	Échec dans une seule modalité	3	0	

Globalement, la modalité analogique est davantage réussie par l'ensemble des enfants.

Comme l'illustre le tableau 12, à 6 ans, 10 enfants feront partie du groupe témoin quand 13 constitueront le groupe présentant au moins une difficulté. A 7 ans, 12 enfants constitueront le groupe témoin et 12 enfants seront considérés comme étant en difficulté. Les effectifs seront notés N dans la suite de notre développement.

Tableau 12. Effectif des sous-échantillons.

	Groupe Témoin	Groupe en difficulté	Total
6 ans	10	13	23
7 ans	12	12	24
Total	22	25	47

2 CREATION DE L'ETALONNAGE DU Q.O.D.-N. A PARTIR DU GROUPE TEMOIN

2.1 Les populations suivent une loi normale: tests et conséquences

Pour pouvoir exploiter les résultats que nous avons obtenus en utilisant les tests statistiques appropriés, nous avons préalablement caractérisé d'un point de vue statistique les deux sous-échantillons, en procédant à un test de normalité, le test de Shapiro-Francia.

L'objet de notre travail étant de dégager un étalonnage à partir d'une population témoin, la réalisation du test de Shapiro-Francia nous permet d'affirmer que les sous-échantillons témoins (N témoins 6 ans = 10; N témoins 7 ans = 12), constitués sur la base des scores et répartis par âge, sont distribués selon une loi normale avec répartition gaussienne, leur p-value étant supérieur à 0,05 (p-value des 6 ans témoins = 0.181; p-value des 7 ans témoins = 0.988).

Nous avons également réalisé le test de normalité de Shapiro-Francia sur le groupe d'enfants en difficulté, par tranche d'âge. Ces groupes d'enfants en difficulté (N en difficulté 6

ans = 13; N en difficulté 7 ans = 12) sont également distribués selon une loi normale (p-value des 6 ans en difficulté = 0.555; p-value des 7 ans en difficulté = 0.123).

Ces distributions de populations nous autorisent à procéder aux calculs des moyennes et écarts-types pour les différents sous-échantillons. En revanche, dans la mesure où la taille de nos sous-échantillons est relativement modeste (Nmin=10 et Nmax=13), nous utiliserons des tests statistiques dits non paramétriques, les tests de Wilcoxon-Mann-Whitney et du Khi-deux, lorsqu'il s'agira d'étudier l'indépendance des variables.

2.2 L'étalonnage à partir des enfants témoins

Nous avons calculé les différentes moyennes et écarts-types pour les sous-échantillons témoins des deux groupes d'âge. Ces calculs ont été respectivement réalisés pour les scores totaux, les sous-scores relatifs aux différents types d'épreuves ainsi que pour les temps de réponse. Dans un objectif de clarté, nous présentons ces différents éléments sous la forme de tableaux (cf. tableaux 13 & 14).

Tableau 13. Etalonnage réalisé à partir des enfants témoins de 6 ans.

Etalonnage 6 ans	Scores			Temps		
	Moyenne	écart-type	Seuil Pathologique	Temps Moyen	Temps écart-type	Temps Pathologique
Score Total	159,85	14,76	135,50	12'21"32	2'17"66	16'08"47
<i>Sens du nombre:</i>	23,40	2,22	19,74	2'32"09	53"95	4'01"10
Traitement analogique pur	23,40	2,22	19,74	2'32"09	53"95	4'01"10
Comparaison analogique	20,30	1,77	17,38	1'07"12	11"87	1'26"71
LNM analogique	1,60	0,81	0,26	32"26	22"54	1'09"45
LNM Sortie analogique	0,40	0,39	0,00	cf. dernière ligne		
Subitisation et estimation analogique	1,10	0,32	0,58	52"72	19"53	1'24"95
Traitement analogique pur hors LNM	21,40	1,78	18,47	1'59"84	31"41	2'51"65
<i>Traitement du symbole:</i>	71,70	8,10	58,34	3'35"53	1'01"93	5'07"72
Traitement verbal oral pur	40,90	5,47	31,88	1'14"12	17"58	1'43"13
Comptine numérique	28,40	3,75	22,22	22"31	4"97	30"50
Décision numérique orale	12,50	2,37	8,59	51"81	12"62	1'12"63
Traitement verbal écrit pur	12,30	1,89	9,18	39"42	5"82	49"02
Décision numérique écrite	12,30	1,89	9,18	39"42	5"82	49"02
Transcodage verbal écrit/oral	18,30	3,92	11,84	1'31"99	38"53	2'35"57
Lecture de NVA	9,60	1,90	6,47	32"37	17"74	1'01"64
Ecriture de NVO	8,70	2,45	4,65	59"62	20"79	1'33"93
<i>Accès sens du nombre via le code:</i>	64,95	9,70	48,94	6'23"70	1'45"52	9'17"81
Correspondance analogique-arabe	40,45	6,73	29,35	3'20"47	52"80	4'47"59
Comparaison analogique-arabe	16,10	2,73	11,60	1'10"96	12"25	1'31"17
Comparaison arabe	19,70	3,97	13,14	1'18"14	25"43	2'00"09
LNM arabe	0,95	0,83	0,00	19"64	7"37	31"80
LNM sortie arabe	0,10	0,32	0,00	cf. dernière ligne		
Subitisation et estimation arabe	3,60	0,70	2,45	31"74	7"75	44"53
Correspondance analogique-orale	24,50	4,14	17,66	2'19"26	39"29	3'24"09
Comparaison orale	20,40	3,13	15,23	1'38"94	19"38	2'10"92
LNM orale	1,65	1,13	0,00	24"44	16"88	52"29
LNM sortie orale	0,10	0,32	0,00	cf. dernière ligne		
Subitisation et estimation orale	2,35	0,67	1,25	15"88	3"03	20"88
LNM: 3 modalités de sortie	-	-	-	43"97	13"43	1'06"12

Les 6 lignes colorées correspondent aux domaines précédemment définis dans la partie théorique et positionnés sur les schémas au sein de la partie méthodologique, à savoir les 3 codes et les liens entre chacun d'eux (cf. figure 4, page 32).

Le tableau 13 illustre que le score total moyen des enfants témoins de 6 ans est de 159,85 pour une durée cumulée d'épreuves de 12 minutes 21 secondes et 32 centièmes.

En utilisant les écarts-types pour chacune des épreuves, en sous-scores et en temps, nous avons pu calculer des seuils définis comme *pathologiques*.

Les seuils pathologiques pour les scores (S.P.S.) sont calculés selon la formule:

$$\text{S.P.S.} = \text{Moyenne} - (1,65 \text{ écart-type}).$$

Les seuils pathologiques pour le temps (S.P.T.) sont définis de sorte que:

$$\text{S.P.T.} = \text{Moyenne} + (1,65 \text{ écart-type}).$$

Ainsi, à 6 ans, un score total inférieur à 135,50 et/ou un temps total de réalisation des épreuves supérieur à 16 minutes 8 secondes et 47 centièmes pourront être considérés comme *pathologiques* en regard de l'étalonnage que nous avons réalisé. Ce tableau permet également de procéder à une comparaison épreuve par épreuve.

Tableau 14. Etalonnage réalisé à partir des enfants témoins de 7 ans.

Etalonnage 7 ans	Scores			Temps		
	Moyenne	écart-type	Seuil Pathologique	Temps Moyen	Temps écart-type	Temps Pathologique
Score Total	166,96	8,47	152,99	11'46"01	1'57"18	14'58"26
<i>Sens du nombre:</i>	23,58	2,00	20,29	2'26"59	1'05"85	4'15"24
Traitement analogique pur	23,58	2,00	20,29	2'26"59	1'05"85	4'15"24
Comparaison analogique	19,50	1,83	16,47	1'03"32	8"04	1'16"59
LNM analogique	1,96	0,72	0,77	26"76	12"43	47"27
LNM Sortie analogique	0,46	0,54	0,00	cf. dernière ligne		
Subitisation et estimation analogique	1,67	0,49	0,85	56"51	45"38	2'11"38
Traitement analogique pur hors LNM	21,17	1,64	18,46	1'59"83	53"42	3'27"97
<i>Traitement du symbole:</i>	76,42	5,05	68,08	3'00"52	46"81	4'17"76
Traitement verbal oral pur	42,83	1,90	39,70	1'09"26	16"45	1'36"41
Comptine numérique	29,92	0,29	29,44	20"86	7"90	33"90
Décision numérique orale	12,92	1,73	10,06	48"40	8"55	1'02"51
Traitement verbal écrit pur	12,17	1,34	9,96	41"50	7"49	53"85
Décision numérique écrite	12,17	1,34	9,96	41"50	7"49	53"85
Transcodage verbal écrit/oral	20,67	2,42	16,67	1'09"76	22"87	1'47"50
Lecture de NVA	10,17	1,40	7,85	28"76	10"55	46"17
Ecriture de NVO	10,50	1,17	8,57	41"01	12"32	1'01"34
<i>Accès sens du nombre via le code</i>	67,71	4,43	60,40	5'40"89	1'44"19	8'16"31
Correspondance analogique-arabe	42,67	3,73	36,51	3'19"64	57"14	4'53"93
Comparaison analogique-arabe	16,42	1,62	13,74	1'10"34	9"15	1'25"43
Comparaison arabe	21,67	1,44	19,30	1'07"15	11"87	1'26"74
LNM arabe	1,08	1,33	0,00	19"92	8"20	33"44
LNM sortie arabe	0,00	0,00	0,00	cf. dernière ligne		
Subitisation et estimation arabe	3,50	0,80	2,18	42"23	27"93	1'28"31
Correspondance analogique-orale	25,04	2,24	21,34	2'21"24	37"05	3'22"38
Comparaison orale	20,67	1,78	17,74	1'48"49	26"91	2'32"88
LNM orale	1,54	0,94	0,00	17"71	6"80	28"93
LNM sortie orale	0,00	0,00	0,00	cf. dernière ligne		
Subitisation et estimation orale	2,83	0,39	2,19	15"04	3"35	20"57
LNM: 3 modalités de sortie	0,46	0,54	0	38"02	11"52	57"03

A 7 ans, le score total moyen des enfants témoins est de 166,96 pour des épreuves réalisées en 11 minutes 46 secondes et 01 centième, avec un seuil pathologique calculé à 152,99 pour le score et à 14 minutes 58 secondes et 26 centièmes pour le temps cumulé de réalisation des épreuves.

2.3 Prérequis à l'utilisation de l'étalonnage

Afin de comparer les groupes témoins et les groupes d'enfants en difficulté de même âge, nous avons réalisé un test d'indépendance de Wilcoxon-Mann-Whitney. Il en ressort que les différences sont statistiquement significatives (avec un p -value $< 0,05$) entre les sous-groupes témoins vs en difficulté à 6 ans (p -value = 0.002 donc $p < 0,05$) et à 7 ans (p -value = 0.005 donc $p < 0,05$). Ces résultats nous autorisent à réaliser des comparaisons statistiques entre les sous-groupes de même âge.

3 RESULTATS AU Q.O.D.-N.

3.1 Résultats généraux concernant la population dans son ensemble

Les tableaux de saisie des scores avant traitement statistique sont rassemblés en annexe 22.

3.1.1 Résultats au Q.O.D.-N. issus de la constitution des sous-échantillons

La réalisation des étalonnages du Q.O.D.-N. par âge nous a permis de calculer la moyenne des enfants témoins (MoyT6=159,85; MoyT7=166,96).

Lorsque nous procédons au calcul de la moyenne des scores obtenus au Q.O.D.-N. par les enfants en difficulté, nous établissons qu'à 6 ans, ces enfants ont un score moyen de 128,50. Les enfants en difficulté de 7 ans obtiennent un score moyen de 143,29.

Ainsi, la moyenne des enfants témoins est supérieure à celle des enfants en difficulté, à âge comparable.

Il nous a paru intéressant de tester une éventuelle corrélation entre le score obtenu au Zareki et celui obtenu au Q.O.D.-N. pour l'ensemble des enfants. Pour ce faire, nous avons réalisé une analyse de régression linéaire qui nous permet d'obtenir un coefficient de régression. Le coefficient obtenu (coefficient $R=0,708$) témoigne d'une forte corrélation entre les deux séries de scores obtenus, au Zareki et au Q.O.D.-N., par l'ensemble des enfants.

3.1.2 Résultats au Q.O.D.-N. par âge et par classe pour l'ensemble des enfants

En ce qui concerne la seule réussite au Q.O.D.-N., il conviendrait de penser que plus l'enfant est avancé en âge, meilleurs sont ses résultats. A minima, il serait couramment admis que les résultats à des tests identiques sont meilleurs dans les classes plus élevées.

A l'aide du test d'indépendance de Wilcoxon-Mann-Whitney, nous notons qu'il existe une différence statistique significative entre les résultats des enfants de 6 ans et ceux de 7 ans, dans l'ensemble (p -value = 0.033 donc $p < 0.05$). Cela nous permet de comparer ces deux échantillons. En revanche, la population de l'ensemble des 7 ans n'est pas distribuée selon une loi normale contrairement à celle des enfants de 6 ans. Aussi, même si la moyenne de l'ensemble des enfants de 7 ans (Moy7=155,13) est supérieure à celle de l'ensemble des enfants de 6 ans (Moy6=142,13), nous conforterons nos observations à partir des paramètres de position et de dispersion pour avancer que les résultats sont meilleurs à 7 ans (Min7=101,5; Médiane7=160; Max7=181) qu'à 6 ans (Min6=84; Médiane6=144,5; Max6=179).

Ce constat se retrouve lorsque nous comparons les moyennes des sous-échantillons témoins qui servent à notre étalonnage. La moyenne des enfants témoins de 7 ans (MoyT7=166,96) est plus élevée que la moyenne des enfants témoins de 6 ans (MoyT6=159,85). En revanche, ces résultats sont à accueillir avec la plus grande prudence dans la mesure où il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les deux sous-échantillons d'enfants ($p=0,262$). Il ne faut pas écarter la possibilité d'une différence de moyenne qui serait liée aux aléas de la composition des échantillons. De la même façon pour les enfants en difficulté, nous retrouvons des scores à 6 ans inférieurs aux scores à 7 ans, sans que cela ne soit statistiquement significatif ($p=0,077$).

Comme nous avons rencontré davantage d'enfants de 6 ans en classe de CP et davantage d'enfants de 7 ans en classe de CE1, nous avons confirmé, à l'aide d'un test d'indépendance de khi-deux, la relation existante entre l'âge des enfants et leur niveau de classe, le khi deux calculé (= 25,851) étant largement supérieur à la valeur seuil du khi-deux (valeur seuil du khi-deux = 3,841; risque = 5%; degré de liberté = 1).

Pour faire le lien entre les différents résultats obtenus, nous avons calculé une moyenne des enfants témoins du CE1 supérieure à celle des témoins du CP (MoyTCE1=165,33 > MoyTCP=160,29) mais sans différence statistiquement significative entre les deux échantillons ($p=0,378$).

Parallèlement, les résultats obtenus en termes de niveaux de classe sont statistiquement significatifs chez les enfants en difficulté ($p=0,008$), avec des scores inférieurs pour les enfants de CP en difficulté comparativement à ceux de CE1 (MoyDCP=119,67 < MoyDCE1=144,56).

Dans l'ensemble, les résultats des enfants de CP et de CE1 sont statistiquement comparables (p -value significatif = 0,01) et nous observons une meilleure moyenne en CE1 (MoyCE1=154,61; MoyCP=137,44).

L'ensemble de ces résultats est repris dans le tableau 15.

Tableau 15. Ensemble des résultats obtenus au Q.O.D.-N. par sous-échantillon et indication du p-value.

Résultats obtenus	p-value *si significatif (>0,05)
6 ans Témoin > 6 ans Difficulté	0,002*
7 ans Témoin > 7 ans Difficulté	0,005*
7 ans ensemble > 6 ans ensemble	0,033*
7 ans Témoin > 6 ans Témoin	0,262
7 ans Difficulté > 6 ans Difficulté	0,077
CE1 Témoin > CP Témoin	0,378
CE1 Difficulté > CP Difficulté	0,008*
CE1 ensemble > CP ensemble	0,01*

3.1.3 Influence des variables sociodémographiques testée par des tests du khi-deux

Nous avons réalisé différents tests de Khi-deux afin de nous assurer qu'il n'y avait pas de lien entre les difficultés que pouvaient éprouver les enfants dans le domaine de la cognition numérique et leurs caractéristiques sociodémographiques, en l'occurrence leur âge, sexe, latéralité ou bilinguisme.

Pour être précise, nous questionnons ici la possibilité de résultats conditionnés par les variables sociodémographiques. Nous recherchons si, par exemple, la seule observation de résultats supérieurs à un âge supérieur signifie que l'âge détermine le résultat.

Pour ce faire, nous avons calculé une valeur seuil du khi-deux (ou χ^2) avec le risque de 5% habituellement retenu et un degré de liberté égal à 1, étant donné que nous ne comparons que deux effectifs.

Avec une valeur seuil d'influence significative du χ^2 de 3,841, nous ne retrouvons aucune relation entre les difficultés éprouvées par les enfants et leur âge (χ^2 calculé = 0,205 < valeur seuil), leur genre (χ^2 calculé = 0,552 < valeur seuil), la latéralité (χ^2 calculé = 0,088 < valeur seuil) ou le bilinguisme (χ^2 calculé = 2,746).

Pour reprendre notre exemple, ces résultats indiquent que même si nous observons des résultats supérieurs à un âge plus élevé, ce n'est pas l'âge qui conditionne les résultats obtenus.

3.2 **Résultats des enfants en difficulté au Q.O.D.-N.**

Les résultats des enfants en difficulté vont donc ici être analysés en regard de l'étalonnage par âge que nous avons établi (cf. tableaux 13 & 14, pages 45 & 46).

3.2.1 Les corrélations entre les résultats obtenus au Zareki et ceux du Q.O.D.-N

Que ce soit pour les enfants en difficulté de 6 ans ou pour ceux de 7 ans, l'analyse de régression linéaire révèle une corrélation moindre entre le score obtenu au Zareki et le score

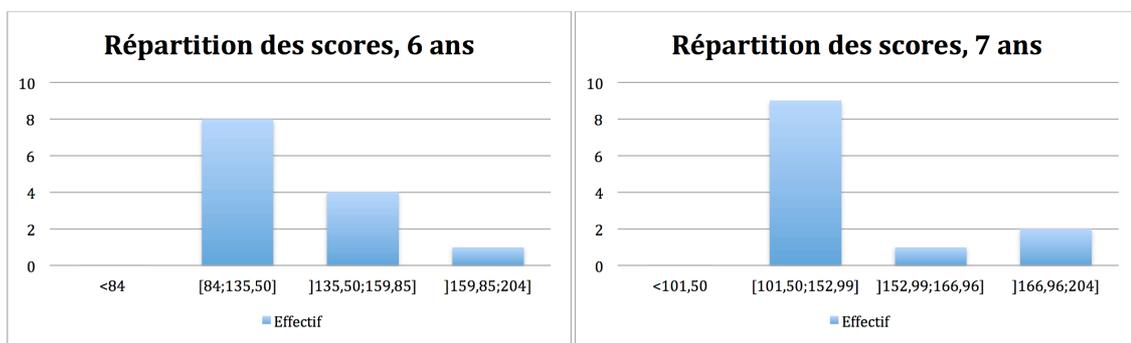
obtenu au Q.O.D.-N. (coefficient $R = 0,458$), par comparaison à la corrélation observée entre les deux scores lorsque nous avons considéré l'ensemble de la population ($R=0,708$).

De la même façon, lorsque nous comparons, chez les enfants en difficulté quel que soit leur âge, les résultats des épreuves entre elles, regroupées par thème, aucun lien ne peut être établi entre les résultats obtenus aux épreuves du Zareki et les résultats obtenus au Q.O.D.-N..

3.2.2 Résultats globaux des enfants en difficulté

Nous observons en figure 6 la répartition des scores au Q.O.D.-N. par tranche d'âge.

Figure 6. Fréquences de distribution des scores des groupes en difficulté, à 6 ans et à 7 ans.



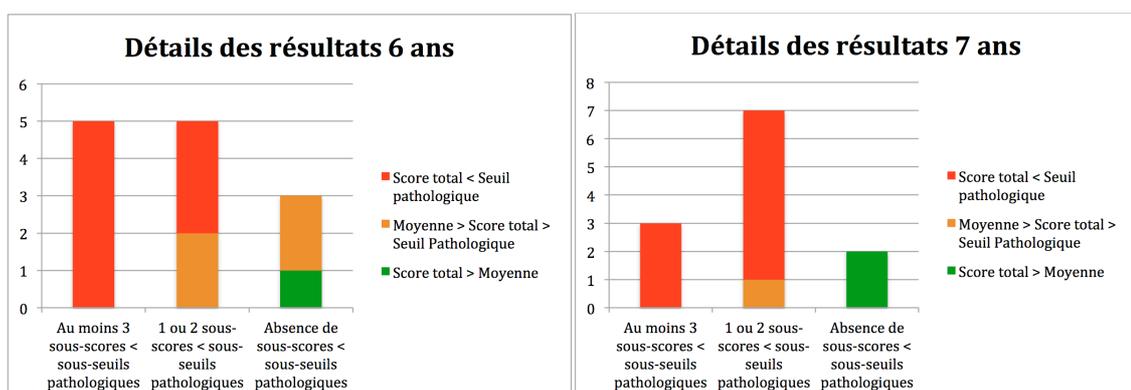
Sur 13 enfants de 6 ans en difficulté, 8 ont obtenu un score total inférieur à la moyenne pathologique telle que nous l'avons définie, 4 ont un score qui se situent entre cette zone de faiblesse et la moyenne et 1 seul enfant parvient à un score supérieur à la moyenne des enfants témoins appariés en âge.

Sur 12 enfants de 7 ans en difficulté, 9 ont obtenu un score total inférieur au score défini comme pathologique, 1 enfant obtient un score entre ce seuil et la moyenne et 2 enfants obtiennent un score supérieur à la moyenne.

3.2.3 Résultats aux différents sous-scores des enfants en difficulté

Nous examinons en figure 7, le détail des résultats obtenus en fonction de l'âge.

Figure 7. Répartitions des sous-scores, pour les enfants en difficulté de 6 ans et de 7 ans.



Si nous nous intéressons aux 8 enfants de 6 ans les plus en difficulté, 5 obtiennent au moins 3 sous-scores en-dessous du seuil pathologique sur les 6 sous-scores principaux (reprenant les sous-scores des trois codes et les sous-scores des connexions entre ces trois codes), les 3 autres obtiennent un voire deux sous-scores pathologiques.

En ce qui concerne les autres enfants de 6 ans, 5 enfants obtiennent un score supérieur à la moyenne pathologique: 2 enfants obtiennent des sous-scores inférieurs aux sous-scores moyens pathologiques, alors que les 3 autres enfants n'obtiennent aucun résultat pointant une faiblesse particulière.

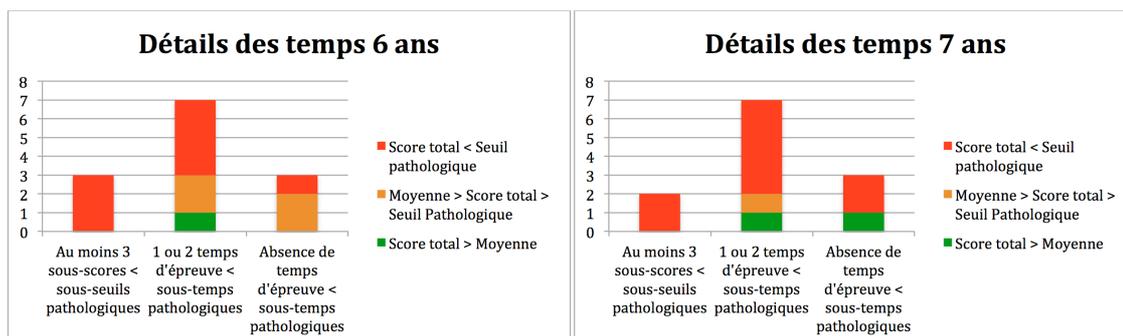
Parmi les 9 enfants de 7 ans les plus faibles, 3 obtiennent au moins trois sous-scores dits pathologiques sur les 6 sous-scores principaux, quand 6 en montrent un ou deux.

S'agissant des autres enfants de 7 ans, 3 obtiennent un score supérieur au score total pathologique dont un seul présentant un sous-score inférieur au seuil critique.

3.2.4 Résultats en temps, enfants en difficulté

Nous nous intéressons en figure 8, aux temps de passation, selon l'âge des enfants.

Figure 8. Répartitions des temps par épreuve, enfants en difficulté de 6 ans et de 7 ans.



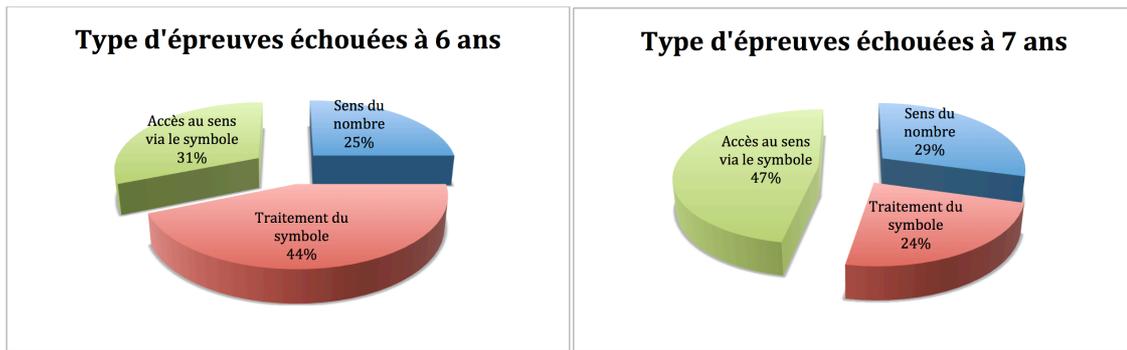
Seuls 3 enfants sur les 13 enfants de 6 ans en difficulté ne franchissent jamais la limite de temps définie comme pathologique, la majorité la franchissant au moins deux fois, et cinq fois maximum.

A 7 ans, également 3 enfants en difficulté sur les 12 ne franchissent jamais la limite de temps dite pathologique, 4 enfants ne la franchissent qu'une fois et les 5 la franchissent au moins deux fois, pouvant aller jusqu'à cinq.

3.2.5 Résultats par origine potentielle du trouble, enfants en difficulté

A 6 ans, nous retrouvons des épreuves de traitement du symbole dans les difficultés des enfants les plus faibles (cf. figure 9) alors que ces épreuves ne sont pas échouées chez les enfants qui obtiennent un meilleur score (cf. annexe 22).

Figure 9. Nature des épreuves échouées par les enfants en difficulté de 6 ans et de 7 ans.



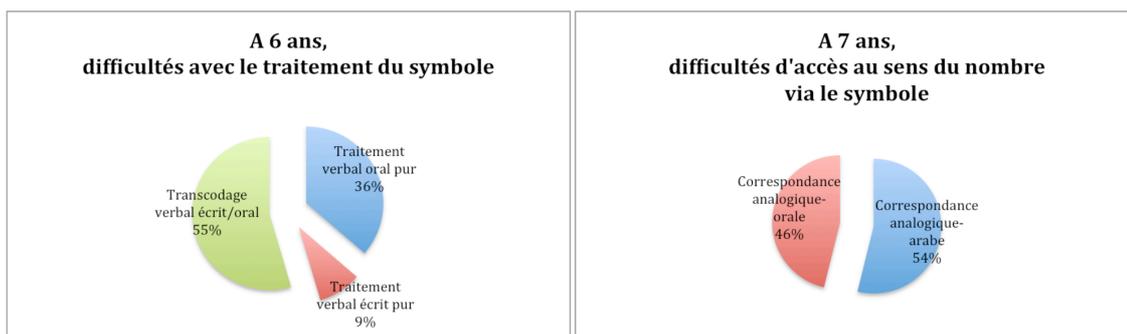
A 7 ans, le poids du traitement du symbole dans les difficultés rencontrées dans les épreuves s'atténue. En revanche, nous notons davantage de résultats échoués dans les épreuves faisant appel à l'accès au sens du nombre par l'intermédiaire du symbole.

En examinant le détail des sous-scores bruts (cf. annexe 22), nous n'observons plus aucun enfant montrant de sous-score pathologique en traitement verbal écrit pur (code arabe).

En outre, quel que soit l'âge des enfants, les difficultés rencontrées avec le sens du nombre restent dans des proportions assez équivalentes.

Enfin, de sorte à spécifier encore l'origine des difficultés des enfants, nous avons calculé comme l'illustre la figure 10, que 55% des échecs en traitement des nombres dans les difficultés à 6 ans étaient en lien avec le transcodage (NVO \Leftrightarrow NVE) et que 54% des difficultés d'accès au sens via le symbole des enfants de 7 ans viennent de la correspondance analogique-arabe.

Figure 10. Nature des difficultés selon la modalité la plus échouée à 6 ans et à 7 ans.



L'ensemble de ces résultats va être repris et commenté dans la partie suivante.

DISCUSSION

V - DISCUSSION

A la suite de cette présentation sérielle des résultats, il convient de procéder à une analyse de notre travail. Aussi, après avoir vérifié la validation des hypothèses formulées, nous ferons la démonstration du fonctionnement de l'outil Q.O.D.-N. dans l'optique où il a été créé. Enfin, nous tâcherons de situer la création de ce matériel dans le contexte des recherches actuelles en la matière.

1 RETOUR SUR LES HYPOTHESES

Nous avons créé cet outil sur la base du modèle de Stanislas Dehaene, le Triple Code, qui s'inscrit dans un contexte cognitiviste, modélisant de façon modulaire le fonctionnement cognitif du traitement du nombre. Cela implique que le dysfonctionnement d'un processus et/ou du traitement d'un code puisse se répercuter sur le fonctionnement général du traitement de l'information, occasionnant, en l'occurrence, des difficultés d'ordre numérique.

Nous avons supposé que, grâce à des tests étalonnés, nous pourrions faire la différence entre les enfants donnant à voir un fonctionnement cognitif typique et ceux qui éprouvent des difficultés quand il s'agit de traiter et de manipuler des nombres dans différentes modalités.

Pour l'ensemble de ces épreuves qui testent les aptitudes analogiques et verbales (orales et écrites), nous avons pu montrer que certains enfants, identifiés par leur enseignant comme étant en difficulté, obtenaient des scores totaux qui correspondaient aux 10% d'enfants les plus faibles et/ou des sous-scores définis comme pathologiques. Ces résultats étaient bien inférieurs à ceux d'autres enfants dont les scores gravitaient autour de la moyenne définie par les tests.

Les enfants sans difficulté ont constitué un groupe témoin et le traitement de leurs résultats nous a permis de déterminer un étalonnage pour un ensemble d'épreuves que nous avons créées. Ces épreuves testent isolément les trois différents codes et les connexions qui existent entre eux.

Nous avons pu observer, conformément à ce que nous avons supposé (première hypothèse), que les enfants dépistés comme étant en difficulté par les tests existants, obtenaient au Q.O.D.-N., un score moyen inférieur à celui des enfants dont les scores étaient dans la norme et qui ont constitué le groupe témoin de la tranche d'âge correspondante.

De façon plus générale, nous avons pu établir que les scores des enfants de 7 ans dans leur ensemble sont plus élevés que ceux de 6 ans et que les résultats des enfants de CE1 sont globalement supérieurs à ceux des enfants de CP.

Validant notre deuxième hypothèse, nous avons également déterminé que la réussite à ces épreuves n'était pas influencée par les variables sociodémographiques que sont le sexe, la latéralité, le statut face au bilinguisme ou l'âge. Nous précisons dans ce dernier cas, que si l'âge ne détermine pas la réussite aux différentes épreuves (score supérieur à la moyenne déterminée par l'étalonnage), il peut être mis en rapport avec le niveau de réussite (le score tend à s'élever avec l'âge).

Chez les enfants en difficulté, nous avons montré des différences de fonctionnement grâce aux scores obtenus dans les épreuves de différentes natures. Nous avons fait émerger des différences quantitatives, via le nombre d'épreuves échouées (en termes de score brut et de temps), et des différences qualitatives, fondées sur le type d'épreuves échouées.

Nous avons établi que les difficultés les plus fréquentes à 6 ans se rencontrent dans le traitement du symbole et plus précisément dans les transcodages entre numéraux verbaux écrits et oraux, révélés par les tâches de lecture à voix haute de nombres arabes et d'écriture sous dictée de nombres arabes. A 7 ans, les difficultés viennent davantage de l'accès au sens du nombre via le symbole, légèrement majorées en modalité orale.

A partir des tests existants, nous avons pu observer l'homogénéité des scores obtenus par les enfants qui ont constitué la population témoin. En revanche, ces mêmes tests ne nous ont pas permis d'observer précisément le comportement de ces enfants en termes de temps de réponse. En ce qui concerne les enfants en difficulté dont le score est inférieur au seuil de pathologie, l'analyse des sous-scores au Q.O.D.-N. nous permet d'établir une différenciation de réussite aux épreuves. Nous pouvons ainsi valider l'hypothèse d'une hétérogénéité dans la présentation des sous-scores chez les enfants aux performances les plus faibles qui, par définition, ne se retrouve pas chez les enfants témoins.

Enfin, d'une manière générale, nous avons pu isoler les tâches les moins accessibles pour les enfants en difficulté. Il s'agit du traitement du symbole, dont le transcodage verbal entre oral et écrit, à 6 ans et de l'accès au sens du nombre via le symbole, et notamment la correspondance entre les codes arabe et analogique, à 7 ans.

L'utilisation du Q.O.D.-N. permet ainsi de déterminer le type de trouble caractéristique du fonctionnement cognitif numérique de l'enfant, conformément à la quatrième hypothèse que nous avons formulée.

Nous proposons de confirmer ce dernier point par l'étude d'un cas qui illustre qu'il nous a été possible d'identifier l'origine des difficultés d'un enfant favorisant, en ce qui le concerne, l'hypothèse d'un déficit d'accès au sens du nombre via le code symbolique. En effet, cette analyse nous a permis d'établir le fonctionnement cognitif d'Enzo en matière de traitement numérique.

2 ILLUSTRATION DE L'UTILISATION DE L'OUTIL PAR L'ETUDE D'UN CAS

Enzo est un garçon de 7 ans 8 mois, né en début d'année, 5 semaines avant terme, scolarisé en CE1. Il est droitier et sa langue maternelle est le français. L'enseignante a identifié Enzo comme étant particulièrement faible en mathématiques (il est suivi en orthophonie depuis quelques mois). Elle dresse le portrait d'un élève assez turbulent. Aucun problème de santé particulier n'est évoqué par la famille.

En relation duelle, Enzo est particulièrement réjoui de se prêter aux tests proposés. Il montre une attitude réfléchie et formule des observations pertinentes. A plusieurs reprises, il infère des consignes (comportement suffisamment rare parmi ses pairs pour être souligné), témoignant d'une bonne compréhension générale.

Comme le montre le tableau 16, aux épreuves issues du test Zareki, Enzo obtient un score total de 13, ce qui le place dans les 10% d'enfants les plus faibles.

Au Numeracy Screener, il se situe dans le 25^{ème} percentile en modalité symbolique et fait partie des 95% d'enfants ayant le mieux réussi en modalité analogique.

Tableau 16. Résultats d'Enzo aux épreuves normées.

	Scores bruts	Percentile	Moyenne	Ecart-types	Z-score
Zareki (P10=22)	13	P5-P10	33,7	10	-2,07
Esti visuelle de quantités	2	P10	3,14	1,0	-1,13
Dénombrement de points	5	P25-50	5,23	0,92	-0,25
Comparaison orale	6	P5-10	10,95	3,27	-1,51
LNLM	0	<P5	14,21	4,83	-2,94
Numeracy Screener					
Symbolique	28	P25	Non disponibles		
Non symbolique	43	P95	Non disponibles		
Zareki, Répétition de chiffres, Mémoire CT auditivo-verbale					
Empan endroit	3	P10-25	14,2	4,8	-0,80
Empan envers	3				
Test de barrage des Cloches, Attention Visuo-spatiale					
Cloches barrées en 2 minutes	23	P20-P30	26,8	4,2	-0,90
Stratégie	Sens de lecture: "Je fais ligne par ligne; comme ça, je sais!"				

Dès les premiers résultats, nous pouvons nous attendre à des performances hétérogènes chez Enzo. Ses facilités en comparaison analogique au Numeracy Screener témoignent d'une absence de déficit pur du sens du nombre et sont à opposer à une moindre

réussite à la même épreuve de comparaison faisant appel au code arabe. Ces résultats, combinés à la faiblesse du score général au Zareki, nous alertent sur la présence de difficultés en lien avec une présentation symbolique des quantités.

Toujours à partir des résultats obtenus au Zareki, nous notons qu'Enzo est en grande difficulté quand il s'agit de positionner des nombres énoncés oralement sur une ligne verticale (épreuve LNM). Il obtient également un score faible en estimation visuelle de quantités exprimées à l'oral et lorsqu'il s'agit de comparer des numéraux verbaux oraux. L'ensemble de ces épreuves fait appel au code oral, aux représentations analogiques des nombres ainsi qu'aux connexions pouvant exister entre les deux.

Nous nous proposons donc de préciser l'origine des difficultés éprouvées par Enzo en analysant les résultats obtenus aux épreuves du Q.O.D.-N. (cf. tableau 17).

Tableau 17. Résultats d'Enzo aux épreuves du Q.O.D.-N.

Scores max.	Scores ENZO*	Scores bruts	Seuil Pathologique	Scores Moyens	Temps	Temps Pathologique	Temps Moyen
Outil de spécification							
204	Score Total	151	152,99	166,96	14'54"95	14'58"26	11'46"01
Sens du nombre:							
34	Traitement analogique pur	22	20,29	23,58	2'19"08	4'15"24	2'26"59
23	Comparaison analogique	19	16,47	19,50	1'11"00	1'16"59	1'03"32
6	LNM analogique	1	0,77	1,96	29"53	47"27	26"76
2	LNM Sortie analogique	0	0	0,46	<i>cf. dernière ligne</i>		
3	Subitisation et estimation analogique	2	0,85	1,67	38"55	2'11"38	56"51
26	Traitement analogique pur hors LNM	21	18,46	21,17	1'49"55	3'27"97	1'59"83
Traitement du symbole:							
45	Traitement verbal oral pur	43	39,70	42,83	59"94	1'36"41	1'09"26
30	Comptine numérique	30	29,44	29,92	13"02	33"90	20"86
15	Décision numérique orale	13	10,06	12,92	46"92	1'02"51	48"40
15	Traitement verbal écrit pur	13	9,96	12,17	39"80	53"85	41"50
15	Décision numérique écrite	13	9,96	12,17	39"80	53"85	41"50
22	Transcodage verbal écrit/oral	21	16,67	20,67	1'21"27	1'47"50	1'09"76
11	Lecture de NVA	11	7,85	10,17	27"97	46"17	28"76
11	Ecriture de NVO	10	8,57	10,50	53"30	1'01"34	41"01
Accès sens du nombre via le code							
56	Correspondance analogique-arabe	31	36,51	42,67	8'54"23	8'16"31	5'40"89
23	Comparaison analogique-arabe	14	13,74	16,42	1'28"97	1'25"43	1'10"34
23	Comparaison arabe	16	19,30	21,67	1'54"00	1'26"74	1'07"15
4	LNM arabe	0	0	1,08	25"68	33"44	19"92
2	LNM sortie arabe	0	0	0	<i>cf. dernière ligne</i>		
4	Subitisation et estimation arabe	1	2,18	3,50	1'13"00	1'28"31	42"23
32	Correspondance analogique-orale	21	21,34	25,04	3'52"58	3'22"38	2'21"24
23	Comparaison orale	17	17,74	20,67	3'07"00	2'32"88	1'48"49
4	LNM orale	2	0	1,54	28"85	28"93	17"71
2	LNM sortie orale	0	0	0	<i>cf. dernière ligne</i>		
3	Subitisation et estimation orale	2	2,19	2,83	16"73	20"57	15"04
6	LNM 3 Sorties	0	0	0,46	40"63	57"03	38"02
Autres							
	Nombre de changements de réponse	5	11,59	4,33			

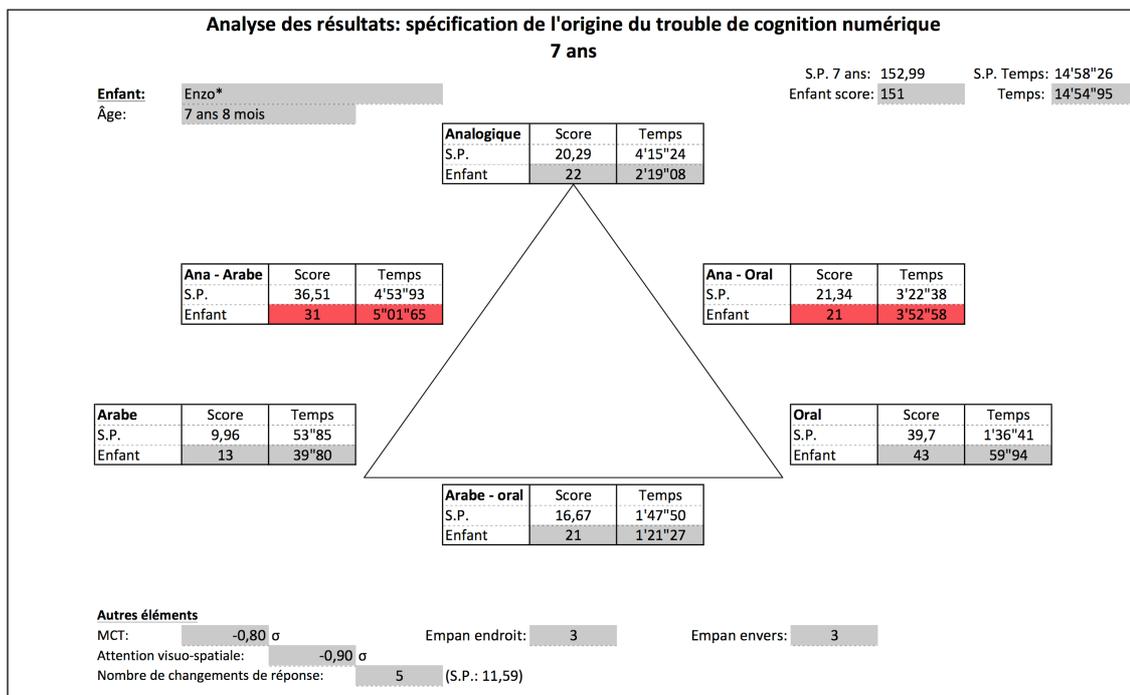
A l'ensemble des épreuves proposées, Enzo obtient un score total à ce que nous avons défini comme étant le seuil pathologique (indiqué par le code couleur rouge). A l'observation du tableau, le profil des troubles apparaît assez nettement. Nous notons une bonne maîtrise du

traitement symbolique à l'oral comme à l'écrit (scores supérieurs à la moyenne) qui contraste avec des difficultés massives d'accès au sens du nombre via le code symbolique (scores inférieurs au seuil pathologique). Puisque nous avons observé que le symbole ne constitue pas un obstacle pour Enzo et que nous constatons que le traitement analogique n'est pas spécifiquement affecté (scores dans la moyenne basse), nous pouvons en déduire que les difficultés d'Enzo tiennent pour origine les connexions existant entre les deux codes. Elles se traduisent par l'impossibilité de se représenter la quantité inhérente au nombre lorsque celui-ci est présenté sous sa forme symbolique, qu'elle soit orale ou écrite.

Les mêmes résultats se retrouvent dans l'analyse des temps de passation. En comparaison numérique orale, nous avons observé plusieurs fois, qu'Enzo récitait mentalement la comptine numérique. Ce comportement se traduit par une lenteur pathologique aux épreuves concernées.

Nous proposons en figure 11, pour une utilisation rapide et simplifiée de notre outil, une représentation visuelle destinée à recueillir les résultats de l'enfant (parties grisées) et à les comparer immédiatement avec les seuils dits pathologiques (S.P.). Cette présentation des résultats permet d'immédiatement visualiser l'origine du trouble (ici, en rouge) et d'investiguer plus précisément en analysant ensuite le tableau des sous-scores étalonnés (cf. tableaux 13 & 14, pages 45 & 46) en ayant une première idée de l'origine du trouble.

Figure 11. Fiche de report des résultats permettant la visualisation de l'origine du trouble.



Enfin, dans la mesure où l'accès au sens du nombre, par l'intermédiaire ou non du symbole, intéresse le système numérique approximatif (SNA), il nous apparaît intéressant

d'en déterminer la précision en analysant la nature des erreurs commises en termes de discrimination des quantités, en fonction de la modalité de présentation.

En modalité analogique pure, Enzo discrimine sans erreur toutes les quantités jusqu'à 5/6 (cf. tableau 18). En revanche, pour distinguer 5 de 6 et d'autres ensembles de plus en plus proches, il échoue quasiment une fois sur deux mais est aidé lorsque les quantités sont démultipliées (s'il échoue à différencier 5 de 6, il y parvient quand 25 est présenté face à 30). Ce comportement démontre une faiblesse légère car cette distinction n'est opérée par les enfants qu'à partir de 6 ans et nous pouvons émettre une hypothèse développementale quant aux erreurs commises sur les comparaisons les plus fines.

Tableau 18. Représentation des ratios de discrimination d'Enzo en fonction des modalités de comparaison.

Âge d'acquisition	Ratio	Ratio décimal	Nombre présenté à gauche	Nombre présenté à droite	Comparaison Analogique	Résultats /23 Enfant: ENZO*			Autres Remarques
						Comparaison Arabe	Comparaison Analogique-Arabe	Comparaison Orale	
Naissance	<1/5	0,174	23	4					Lecture: s'autocorrige 50=>15 Ecriture: pas le 12
	<1/2	0,571	21	12		"pareil": inversion visuelle		12: particulier 1 syllabe	
6 mois	1/2	0,500	3	6					
		0,500	4	2					
9 mois	2/3	0,667	6	9		6: inversion spatiale	6	compte dans sa tête	
		0,667	3	2					
3 ans		0,667	18	27			18		
	<3/4	0,714	7	5					
	3/4	0,750	6	8			6	6: phonologie proche	
		0,750	9	12			9		
6 ans	4/5	0,800	8	10			8	compte	
		0,800	4	5		4			
	<5/6	0,826	23	19		19: unité inconsistante			
	5/6	0,833	6	5	"c'est pareil"				
6 ans		0,833	25	30		25: unité inconsistante	25		
	<6/7	0,852	27	23	"c'est pareil"			23	
	6/7	0,857	6	7					
		0,857	18	21	"c'est pareil"	18: unité inconsistante	18		
Âge adulte	7/8	0,875	14	16		"pareil"	14	FE particulier 1 syllabe	
	<8/9	0,882	17	15				15: particulier 1 syllabe	
	9/10	0,900	9	10	"c'est pareil"		9		
		0,900	20	18					
	10/11	0,909	22	20				20: 1 syllabe	
					19	16	14	17	

Cette observation permet d'analyser un certain nombre d'échecs de comparaisons analogiques-arabes comme la conséquence du déficit d'accès à la représentation analogique directement occasionné par la présence du symbole arabe. En effet, les comparaisons d'ensembles de points, davantage différenciables, sont réalisées correctement en l'absence de symbole alors qu'elles occasionnent une réponse erronée dans environ un tiers des cas (5 erreurs sur 13 items¹⁰ en comparaison analogique-arabe et 4 erreurs sur 13 en comparaison arabe). La remarque est également applicable aux difficultés causées par la médiation du symbole oral sur l'accès à la représentation du nombre, bien que moindre (2 erreurs sur 13).

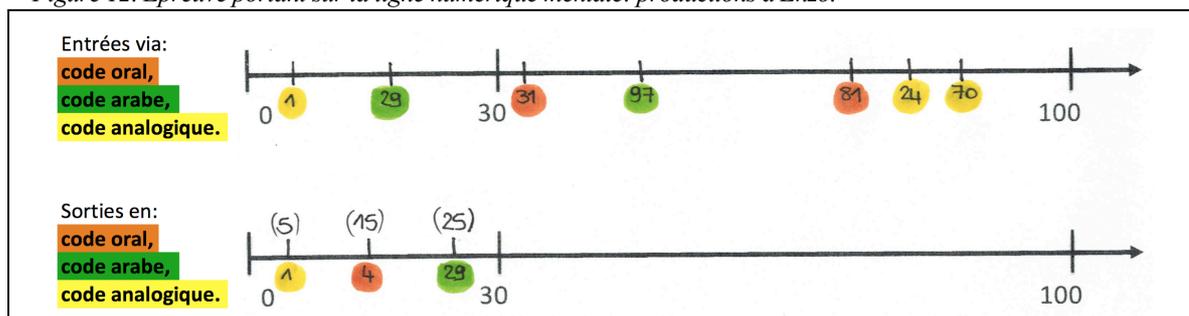
¹⁰ Pour ces observations, nous ne considérons que les réponses aux 13 premières questions, ayant établi qu'au-delà d'un ratio de 5/6, Enzo éprouvait des difficultés analogiques (éventuellement développementales) qui se répercutent en cascade, comme nous l'avons vu sur le modèle enrichi de Von Aster et Shalev en page 33, sur les autres systèmes numériques.

A ce stade, il s'impose donc de suspecter, pour Enzo un déficit d'accès au sens du nombre via la modalité symbolique, le traitement des quantités non symboliques n'étant pas altéré. Comme nous l'avions décrit en partie théorique, Enzo est moins précis et plus lent en comparaison de nombres arabes alors que ces difficultés ne se retrouvent pas en modalité analogique pure, non symbolique. Selon l'hypothèse de Noël et Rousselle (2011), le lien ne s'est pas fait entre le SNA, inné, et les symboles, acquis, issus de la chaîne numérique, donnant un sens aux quantités. Ces difficultés ne sont pas sans conséquence sur la construction des représentations numériques exactes.

En effet, la ligne numérique mentale en cours de développement chez Enzo obéit à la loi de Weber-Fechner en montrant une imprécision croissant avec l'importance des quantités présentées. Nous observons également une compression logarithmique sur les parties cohérentes des lignes numériques, de 0 à 97 et de 0 à 30 (cf. figure 12).

Nous notons également que les représentations ne sont pas contradictoires entre elles, quelles que soient les modalités de présentation.

Figure 12. Epreuve portant sur la ligne numérique mentale: productions d'Enzo.



Si nous nous référons aux signes d'appel que nous avons énoncés, nous pouvons identifier des difficultés à discriminer les quantités relevant du SNA dans les tâches de comparaison symbolique ainsi qu'à linéariser les représentations numériques sur la ligne. Ces éléments confirment la suspicion de déficit d'accès au sens du nombre du fait de la médiation symbolique.

Ainsi, pour Enzo comme pour tout jeune enfant, la connaissance de l'origine du trouble et de l'étendue de l'atteinte numérique, permettra de construire un projet thérapeutique adapté et de conseiller aux enseignants des mesures compensatoires pertinentes.

3 BIAIS ET LIMITES DU TRAVAIL

La cognition numérique est un domaine en plein essor et les études sur le sujet se font de plus en plus récentes. Elles spécifient des aspects précis tels que la discrimination visuelle des quantités (Guillaume, Mejias, Rossion, Dzhelyova, & Schiltz, 2018), les difficultés de

traitement du nombre arabe ou oral (Lafay, Macoir, & St-Pierre, 2018), le développement cérébral comparé des enfants avec ou sans difficultés (McCaskey et al., 2018) ou l'évaluation du Triple Code (Siemann & Petermann, 2018). Si nous avons pointé dans un premier temps l'absence de consensus en ce domaine, nous reconnaissons que les modélisations théoriques du fonctionnement cognitif numérique de référence demeurent les mêmes et permettent une base de travail commune à l'ensemble des recherches.

Pour la partie expérimentation de notre étude, nous sommes majoritairement intervenue dans les écoles primaires lors des mois de septembre et octobre, de sorte à pouvoir répondre aux exigences calendaires de traitement des données recueillies. Or, la rentrée 2017 a vu s'instaurer de nouvelles évaluations dans les classes de CP, rendant certains enseignants quelque peu réticents à imposer à des élèves, dont ils n'avaient fait la connaissance que trois semaines auparavant, deux séances d'évaluation "orthophoniques" supplémentaires. Notre sous-échantillon témoin d'enfants de 6 ans ne compte donc que 10 enfants.

Toujours d'un point de vue méthodologique, nous avons choisi le test des cloches pour évaluer l'attention visuo-spatiale. Puisqu'il n'existe pas d'étalonnage pour le CP, nous avons utilisé celui du second semestre de grande section de maternelle, les épreuves s'étant déroulées au plus tard le 30 octobre (première moitié du premier trimestre de CP).

Ensuite, lors de nos traitements, un certain nombre de données comparées n'apparaissent pas comme significativement différentes d'un point de vue statistique. Certains de nos résultats, signalés au fur et à mesure, peuvent être le fait du hasard dans la composition des échantillons.

Par ailleurs, nous avons pointé pour les enfants dans leur ensemble, la corrélation entre la réussite au Zareki et la réussite au Q.O.D.-N., alors que nous ne retrouvons pas de lien chez les enfants en difficulté. Il nous paraît donc juste de mettre en avant le biais induit par la recherche elle-même: les enfants sans difficulté, au profil homogène, sont capables de réaliser tout type de tâche numérique alors que la réussite des enfants en difficulté est conditionnée par le type d'épreuve, du fait d'un profil plus hétérogène.

Dans l'étude de cas, nous n'avons pas été en mesure de mettre en évidence un effet de distance ou de taille dans la mesure où nous ne disposions pas des moyens techniques pour chronométrer le temps de réponse de l'enfant paire par paire dans les épreuves de comparaison.

Enfin, nous évoquons ici l'émergence d'un outil. En effet, l'outil Q.O.D.-N. n'est pas finalisé comme nous l'aurions souhaité. Il nous aurait semblé pertinent de pouvoir procéder à

une validation externe pour appréhender la cohérence de notre proposition avec la littérature existante et une validation interne appréciant la cohérence des épreuves entre elles.

Dans une autre mesure, nous aurions également trouvé intéressant de procéder à un suivi longitudinal pour appréhender plus finement la valeur de dépistage de notre outil. Idéalement, il conviendrait de suivre les enfants en difficulté que nous avons testés pour prendre connaissance d'un éventuel diagnostic de dyscalculie et son type.

4 INTERETS ET PERSPECTIVES

De fait, il serait opportun de poursuivre ce travail qui n'est qu'une amorce dans l'identification précoce de l'origine des troubles de la cognition numérique. L'enjeu est de taille. Il s'agit, avant qu'un diagnostic de dyscalculie ne puisse être posé du fait du jeune âge de l'enfant, d'identifier l'origine de ses difficultés pour pouvoir travailler en partenariat avec son entourage à proposer des solutions concrètes de compensation. Le but est ici de proposer une intervention ciblée.

Dans le cadre de ce mémoire, pour répondre à la demande des enseignants, nous sommes retournée dans les écoles vers la fin du deuxième trimestre, afin d'apporter un retour sur les résultats aux épreuves passées par les enfants, évoquer des éléments de réponse et envisager des solutions pour alléger le quotidien des enfants les plus en difficulté. Nous en avons reçu un retour très positif. Les enseignants ont été satisfaits de visualiser *en théorie* ce qu'eux-mêmes ressentaient *en pratique*.

L'intérêt du Q.O.D.-N. est, qu'utilisé précocement, il permet la mise en place de mesures qui auraient vocation à pallier les déficits et éviter à l'enfant d'atteindre un seuil de pathologie. Cette mise en place mériterait également d'être testée dans le cadre d'une expérimentation dédiée.

A titre d'exemple, dans le cas de difficultés d'accès au sens du nombre via le symbole, nous aurions pu, dès le CP, conseiller aux enseignants d'Enzo et à ses parents, de toujours compléter la proposition d'un nombre oral ou écrit par une représentation concrète (non symbolique mais analogique) de la quantité évoquée et, quelle que soit l'activité proposée, de toujours faire le lien entre le symbole et ce qu'il représente.

Ainsi, nous pourrions même envisager l'utilisation de cet outil dès la grande section de maternelle dans la mesure où nous savons de la littérature (Fischer, Moeller, Cress, & Nuerk, 2013), et pas seulement dans le domaine de la cognition numérique, que la précocité des interventions sert leur efficacité.

CONCLUSION

CONCLUSION

Le modèle du Triple Code, proposé par Stanislas Dehaene en 1992, donne la possibilité de comprendre l'origine d'une difficulté numérique à partir des tâches qui sont réalisables ou non par un sujet et ainsi, de révéler la présence d'un éventuel type de dyscalculie. Nous avons choisi de nous intéresser aux enfants de 6 et 7 ans qui ne peuvent pas encore être concernés par un tel diagnostic mais qui sont toutefois entravés dans leurs acquisitions numériques précoces.

Le matériel existant à l'heure actuelle ne le proposant pas, nous avons cherché à créer un outil permettant d'identifier l'origine des difficultés potentielles dès l'entrée dans les apprentissages: déficit du sens du nombre porté par la modalité analogique ou accès au sens du nombre par l'intermédiaire du symbole, oral ou plus fréquemment arabe.

Après avoir établi les difficultés des enfants à partir de leurs différents scores et montré que ceux-ci ne dépendaient d'aucune variable sociodémographique mais davantage de leur exposition aux apprentissages, nous avons exploité l'hétérogénéité des sous-scores et sommes parvenue à déterminer l'origine de certaines difficultés d'entrée dans les apprentissages numériques. Nous avons illustré cette possibilité par l'étude d'un cas précis.

Aussi, partant du fait que les enfants au développement typique montrent un profil de résultats homogènes, nous considérons que le Q.O.D.-N., en révélant les irrégularités des sous-scores, peut également être utilisé comme outil de dépistage.

L'identification précoce de l'origine des difficultés numériques d'un enfant nous paraît essentielle de sorte à en limiter les répercussions par une intervention, elle aussi, précoce. L'environnement de l'enfant doit être investi: parents, enseignants, entourage proche doivent prendre en compte l'émergence de cette difficulté et proposer, sous les conseils d'un professionnel orthophoniste, des aménagements lui permettant de comprendre le nombre, de le traiter et le manipuler. Le nombre, sous toutes ses formes, doit pouvoir faire sens pour l'enfant.

A l'avenir, il conviendrait de pouvoir agrémenter cet outil, voire l'adapter à une tranche d'âge encore inférieure et proposer un suivi longitudinal des enfants pour évaluer l'effet des mesures d'accompagnement mises en œuvre.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5, Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5e éd.). Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- Andersson, U., & Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences, 22*(6), 701–714. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004>
- Ansari, D., Nosworthy, N., Baobaid, W., & Mousa, A. (2013). Numeracy Screener - Get Your Score. Consulté 7 août 2017, à l'adresse <http://numeracyscreener.org/take-the-test-1.html>
- Ashcraft, M. H., & Battaglia, J. (1978). Cognitive arithmetic: Evidence for retrieval and decision processes in mental addition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 4*(5), 527.
- Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1973). Factors influencing speed and accuracy of word recognition. *Attention and performance IV*, 583–612.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2003). Chapitre 7. Savoirs, savoir-faire arithmétiques et leurs déficiences. In M. Kail & M. Fayol, *Les sciences cognitives et l'école* (p. 305). Presses Universitaires de France. Consulté à l'adresse <http://www.cairn.info/les-sciences-cognitives-et-l-ecole--9782130534976-page-305.htm>
- Bertrand, R., & Camos, V. (2011). Impact des troubles langagiers et visuo-moteurs sur les capacités numériques : Emergence de patterns distincts au TEDI-MATH. *Développements, 7*(1), 5. <https://doi.org/10.3917/devel.007.0005>
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child development, 79*(4), 1016–1031.
- Butterworth, B. (2005a). *Developmental dyscalculia. Handbook of Mathematical Cognition*. Edited by: Campbell J. 2005. New York: Psychology Press.

- Butterworth, B. (2005b). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3–18.
- Campbell, J. I., & Clark, J. M. (1988). An encoding-complex view of cognitive number processing: Comment on McCloskey, Sokol, and Goodman (1986).
- Carey, S. (2001). Cognitive foundations of arithmetic: Evolution and ontogenesis. *Mind & Language*, 16(1), 37–55.
- Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus*, 133(1), 59–68.
<https://doi.org/10.1162/001152604772746701>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2005). Consulté 29 mars 2018, à l'adresse <http://www.cnrtl.fr/definition/>
- Clements, D. H. (1999). Subitizing: What is it? Why teach it? *Teaching children mathematics*, 5(7), 400.
- Content, A. (2017). L'acquisition du nombre - perspectives actuelles. *Rééducation Orthophonique*, (269), 125–143.
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.001>
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(Issues 1-2), 1–42.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-N](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N)
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind & language*, 16(1), 16–36.
- Dehaene, S. (2008). *Annuaire du collège de France. résumé des cours et travaux 108e année, 108e année.* (Collège de France, Éd.). Paris: Collège de France.

- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*(3), 371.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical cognition*, *1*(1), 83–120.
- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*(3), 626.
- Dellatolas, G., Deloche, G., Basso, A., & Claros-Salinas, D. (2001). Assessment of calculation and number processing using the EC301 battery: Cross-cultural normative data and application to left-and right-brain damaged patients. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *7*, 840–859.
- Dellatolas, G., & Von Aster, M. (2006). Zareki-R, Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant. ECPA.
- Deloche, G., Seron, X., Larroque, C., Magnien, C., Metz-lutz, M. N., Noel, M. N., ... Pradat-diehl, P. (1994). Calculation and number processing: Assessment battery; role of demographic factors. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *16*(2), 195–208. <https://doi.org/10.1080/01688639408402631>
- Deloche, Gérard, Dellatolas, G., Vendrell, J., & Bergego, C. (1996). Calculation and number processing: Neuropsychological assessment and daily life difficulties. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *2*(2), 177–180.
- Department for Education and Skills (Éd.). (2001). Guidance to support pupils with dyslexia and dyscalculia.
- Fayol, M., Perros, H., & Seron, X. (2004). *Les représentations numériques: caractéristiques, troubles, développement*. Marseille: SOLAL.

- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>
- Fischer, U., Moeller, K., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2013). Interventions Supporting Children's Mathematics School Success: A Meta-Analytic Review. *European Psychologist*, 18(2), 89–113. <https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000141>
- Fuson, K., Richards, J., & Briars, D. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In C. J. Brainerd (Éd.), *Children's Logical and Mathematical Cognition*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2>
- Gaillard, F. (2000). Numerical. *Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Université de Lausanne, Laussane: Institut de.
- Gauthier, L., Dehaut, F., & Joanette, Y. (1989). The bells test: a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International journal of clinical neuropsychology*.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard University Press.
- Gimbert, F. (2016). *L'appréhension des quantités par la vision ou le toucher: son développement et son rôle dans les apprentissages numériques chez l'enfant*. Université Grenoble Alpes; Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01466063/>
- Grégoire, J. (2008). *Évaluer les apprentissages les apports de la psychologie cognitive*. Bruxelles: De Boeck. Consulté à l'adresse <http://www.cairn.info/evaluer-les-apprentissages--9782804157173.htm>
- Guillaume, M., Mejias, S., Rossion, B., Dzhelyova, M., & Schiltz, C. (2018). A rapid, objective and implicit measure of visual quantity discrimination. *Neuropsychologia*, 111, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.044>

- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the « number sense »: The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44*(5), 1457–1465. <https://doi.org/10.1037/a0012682>
- Heremans, M. (2011). Test MathEval. Consulté 5 août 2017, à l'adresse <https://sites.google.com/site/testmatheval/>
- Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie: bilan des données scientifiques*. Les éditions Inserm.
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(25), 10382–10385.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters: Kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology, 45*(3), 850–867. <https://doi.org/10.1037/a0014939>
- Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W., & Volkman, J. (1949). The Discrimination of Visual Number. *The American Journal of Psychology, 62*(4), 498. <https://doi.org/10.2307/1418556>
- Kaufmann, L., Mazzocco, M. M., Dowker, A., von Aster, M., Göbel, S. M., Grabner, R. H., ... Nuerk, H.-C. (2013). Dyscalculia from a developmental and differential perspective. *Frontiers in Psychology, 4*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00516>
- Kolkman, M. E., Kroesbergen, E. H., & Leseman, P. P. M. (2013). Early numerical development and the role of non-symbolic and symbolic skills. *Learning and Instruction, 25*, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.12.001>
- Laboratoire Cogni-Sciences. (2002, mars). Odédys, Outils de Dépistage des Dyslexies. Académie de Grenoble.
- Laboratoire Cogni-Sciences. (2003, octobre). BSEDS 5-6. Bilan de Santé, Evaluation du Développement pour la Scolarité, 5 à 6 ans. Version 3. Académie de Grenoble.

- Lafay, A. (2016). *Déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale*. Université Laval.
- Lafay, A., Macoir, J., & St-Pierre, M.-C. (2018). Impairment of Arabic- and spoken-number processing in children with mathematical learning disability. *Journal of Numerical Cognition*, 3(3), 620–641. <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i3.123>
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2014). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant: inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, (116), 33–58.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2017). Déficiences cognitives numériques impliquées dans la dyscalculie développementale. *Rééducation Orthophonique*, (269), 79–96.
- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93(2), 99–125. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.11.004>
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of Number Sense: Large-Number Discrimination in Human Infants. *Psychological Science*, 14(5), 396–401. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01453>
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(1), 1.
- Mazeau, M., & Pouhet, A. (2014). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant: du développement typique aux « dys- »*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- Mazzocco, M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011a). Impaired Acuity of the Approximate Number System Underlies Mathematical Learning Disability (Dyscalculia): Impaired

- Numerical Acuity Contributes to MLD. *Child Development*, 82(4), 1224–1237.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01608.x>
- Mazzocco, M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011b). Preschoolers' Precision of the Approximate Number System Predicts Later School Mathematics Performance. *PLoS ONE*, 6(9), e23749. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023749>
- Mazzocco, M., & Thompson, R. E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities Research & Practice*, 20(3), 142–155.
- McCaskey, U., von Aster, M., Maurer, U., Martin, E., O'Gorman Tuura, R., & Kucian, K. (2018). Longitudinal Brain Development of Numerical Skills in Typically Developing Children and Children with Developmental Dyscalculia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00629>
- McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44(Issues 1-2), 107–157.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90052-J](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90052-J)
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and cognition*, 4(2), 171–196.
- Métral, E. (2008). Mallette B-LM Cycle 2. Chavanod: Orthopratic.
- Ministère de l'Éducation Nationale. Annexe 1 Programme d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), Pub. L. No. BOS n°11, Bulletin Officiel Spécial (2015). Consulté à l'adresse http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?cid_bo=94753
- Ministère de l'Éducation Nationale. Programme d'enseignement de l'école maternelle, Pub. L. No. BOS n°2, Bulletin Officiel Spécial (2015). Consulté à l'adresse http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=86940

- Mussolin, C., Mejias, S., & Noël, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition*, *115*(1), 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.10.006>
- Mussolin, C., Nys, J., Leybaert, J., & Content, A. (2014). How approximate and exact number skills are related to each other across development: A review*. *Developmental Review*, *39*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2014.11.001>
- Noël, M.-P. (2007). *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Wavre: Mardaga. Consulté à l'adresse <http://www.cairn.info/bilan-neuropsychologique-de-l-enfant--9782870099643.htm>
- Noël, M.-P. (2009). La dyscalculie de l'enfant. In *Traité de Neuropsychologie de l'enfant*. Marseille: Solal.
- 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*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00165>
- 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067918>
- Organisation mondiale de la santé. (1993). *CIM-10 Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes* (Dixième Révision). Genève: OMS.
- Piazza, M., Giacomini, E., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2003). Single-trial classification of parallel pre-attentive and serial attentive processes using functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *270*(1521), 1237–1245. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2356>

- Piazza, Manuela, Pica, P., Izard, V., Spelke, E. S., & Dehaene, S. (2013). Education Enhances the Acuity of the Nonverbal Approximate Number System. *Psychological Science*, *24*(6), 1037–1043. <https://doi.org/10.1177/0956797612464057>
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, *102*(3), 361–395. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>
- Siegel, L. (1982). The development of quantity concepts: perceptual and linguistic factors. In C. J. Brainerd (Éd.), *Children's Logical and Mathematical Cognition*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2>
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological science*, *14*(3), 237–250.
- Siegler, R. S., & Robinson, M. (1982). The development of numerical understandings. *Advances in child development and behavior*, *16*, 241–312.
- Siemann, J., & Petermann, F. (2018). Evaluation of the Triple Code Model of numerical processing—Reviewing past neuroimaging and clinical findings. *Research in Developmental Disabilities*, *72*, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.11.001>
- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, *210*(4473), 1033–1035.
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). *TEDI-Math: test diagnostique des compétences de base en mathématiques: manuel*. les Éd. du Centre de psychologie appliquée.
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(11), 868–873.

- Wilson, A. J., & Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. In *Human behavior, learning and the developing brain: atypical development* (p. 212-238). New-York: Guilford Press. Consulté à l'adresse <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.80.9592&rep=rep1&type=pdf>
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.

INDEX DES TABLES, FIGURES ET ENCADRES

<i>Figure 1. Modèle de McCloskey (1985); d'après Heremans (2011).</i>	9
<i>Figure 2. Modèle du Triple Code de Dehaene (1992); d'après Heremans (2011).</i>	11
<i>Figure 3. Modèle développemental de cognition numérique à quatre étapes de Von Aster et Shalev (2007); Adaptation en français par Mazeau et Pouhet (2014).</i>	15
<i>Tableau 1. Relevé de différentes terminologies issues de la littérature (non exhaustif).</i>	17
<i>Encadré 1. Les signes d'appel</i>	22
<i>Figure 4. Localisation des épreuves au sein du Triple Code.</i>	32
<i>Figure 5. Localisation des épreuves dans le modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007); d'après Mazeau et Pouhet (2014).</i>	33
<i>Tableau 2. Symboles présentés à l'enfant lors de l'épreuve de décision numérique écrite.</i>	34
<i>Tableau 3. Items proposés oralement à l'enfant dans l'épreuve de décision numérique orale (présentation aléatoire).</i>	34
<i>Tableau 4. Items présentés à l'enfant lors des épreuves de transcodage.</i>	35
<i>Tableau 5. Items proposés à l'enfant lors des épreuves de comparaison numérique et leurs caractéristiques dans les 3 codes.</i>	37
<i>Tableau 6. Items proposés à l'enfant lors de l'épreuve de subitisation et estimation de quantités.</i>	38
<i>Tableau 7. Items proposés à l'enfant lors de l'épreuve de placement sur la ligne numérique.</i>	40
<i>Tableau 8. Items proposés à l'enfant lors de l'épreuve d'interprétation des graduations de la ligne numérique.</i>	40
<i>Encadré 2. Chronologie de l'expérimentation</i>	40
<i>Tableau 9. Fréquence des scores correspondant au percentile 5 (P5) en fonction des résultats.</i>	42
<i>Encadré 3. Composition des deux sous-échantillons.</i>	43
<i>Tableau 10. Détail par âge des résultats aux épreuves normées (Zareki et Numeracy Screener).</i>	43
<i>Tableau 11. Détail par âge et par modalité des difficultés rencontrées au Numeracy Screener.</i>	44
<i>Tableau 12. Effectif des sous-échantillons.</i>	44
<i>Tableau 13. Etalonnage réalisé à partir des enfants témoins de 6 ans.</i>	45
<i>Tableau 14. Etalonnage réalisé à partir des enfants témoins de 7 ans.</i>	46
<i>Tableau 15. Ensemble des résultats obtenus au Q.O.D.-N. par sous-échantillon et indication du p-value.</i>	49
<i>Figure 6. Fréquences de distribution des scores des groupes en difficulté, à 6 ans et à 7 ans.</i>	50
<i>Figure 7. Répartitions des sous-scores, pour les enfants en difficulté de 6 ans et de 7 ans.</i>	50
<i>Figure 8. Répartitions des temps par épreuve, enfants en difficulté de 6 ans et de 7 ans.</i>	51
<i>Figure 9. Nature des épreuves échouées par les enfants en difficulté de 6 ans et de 7 ans.</i>	52
<i>Figure 10. Nature des difficultés selon la modalité la plus échouée à 6 ans et à 7 ans.</i>	52
<i>Tableau 16. Résultats d'Enzo aux épreuves normées.</i>	56
<i>Tableau 17. Résultats d'Enzo aux épreuves du Q.O.D.-N.</i>	57
<i>Figure 11. Fiche de report des résultats permettant la visualisation de l'origine du trouble.</i>	58
<i>Tableau 18. Représentation des ratios de discrimination d'Enzo en fonction des modalités de comparaison.</i>	59
<i>Figure 12. Epreuve portant sur la ligne numérique mentale: productions d'Enzo.</i>	60

ANNEXES

Table des annexes

<i>Annexe 1. Convention signée par l'Inspection de l'Education Nationale de la Drôme, par l'école d'accueil et par l'UPJV.</i>	79
<i>Annexe 2. Document vierge de recueil du consentement des parents.</i>	83
<i>Annexe 3. Courrier d'information aux parents des enfants en difficulté.</i>	85
<i>Annexe 4. Courrier d'information aux parents des enfants témoins.</i>	86
<i>Annexe 5. Récépissé de déclaration des données auprès de la CNIL.</i>	87
<i>Annexe 6. Extrait des épreuves proposées à partir du Zareki-R.</i>	88
<i>Annexe 7. Extrait des épreuves proposées à partir du Numeracy Screener.</i>	90
<i>Annexe 8. Extrait de l'épreuve de répétition de chiffres issue du Zareki-R.</i>	91
<i>Annexe 9. Extrait du test des cloches.</i>	92
<i>Annexe 10. Extrait du cahier de passation, épreuve de la comptine numérique.</i>	92
<i>Annexe 11. Extrait du cahier de passation, épreuve de décision numérique écrite.</i>	92
<i>Annexe 12. Extrait du cahier de passation, épreuve de décision numérique orale.</i>	93
<i>Annexe 13. Extrait du cahier de passation, épreuve de transcodage, lecture à voix haute.</i>	93
<i>Annexe 14. Extrait du cahier de passation, épreuve de transcodage, écriture sous dictée.</i>	93
<i>Annexe 15. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique analogique.</i>	93
<i>Annexe 16. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique arabe.</i>	94
<i>Annexe 17. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique analogique-arabe.</i>	94
<i>Annexe 18. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique orale.</i>	94
<i>Annexe 19. Extrait du cahier de passation, épreuve de subitisation et estimation des quantités.</i>	95
<i>Annexe 20. Extrait du cahier de passation, épreuve de la ligne numérique, versant production.</i>	95
<i>Annexe 21. Extrait du cahier de passation, épreuve de la ligne numérique, versant compréhension.</i>	96
<i>Annexe 22. Tableaux des scores et temps, par âge et par statut, nécessaires au traitement statistique.</i>	97

Annexe 1. Convention signée par l'Inspection de l'Éducation Nationale de la Drôme, par l'école d'accueil et par l'UPJV.



CONVENTION DE STAGE
EN ECOLE PUBLIQUE DU 1ER DEGRE
Année scolaire 2017.2018

Pour le (la) stagiaire désigné(e) ci-après :

NOM, Prénom : CHAQUET, Charlotte
Date de naissance : Elève en classe de : 5^{ème} année Orthophonie
NB : joindre obligatoirement la copie d'une pièce d'identité recto-verso

Une convention de stage est mise en œuvre entre :

- l'établissement d'enseignement secondaire ou l'organisme de formation désigné ci-dessous (dénommé « établissement d'origine » dans la présente convention) :

Nom de l'établissement d'origine : Département d'Orthophonie UPJV UR Nord
Adresse : Bât D, 3 Rue des Louvels, 80 036 AMIENS Cedex 01
N° téléphone : 03 22 82 54 69 N° télécopie :
Représenté par : Madame Corinne ADAMKIEWICZ
En qualité de : Directrice
Nom et qualité du référent de l'établissement d'origine chargé de suivre le déroulement du stage :
Madame Dominique CORNET, Directrice de mémoire
Assurance responsabilité civile de l'établissement d'origine (nom de la compagnie et numéro de contrat) : Responsabilité Civile Indivis

- l'école publique du premier degré désignée ci-dessous (dénommée « école d'accueil ») :

Nom de l'école :
Adresse :
N° téléphone : N° télécopieur :
Directeur-trice :
Représentée par Viviane HENRY, inspectrice d'académie, directrice académique des services de l'éducation nationale de la Drôme, par délégation du recteur de l'académie de Grenoble.
NOM et qualité du tuteur du stagiaire dans l'école :

Le (la) stagiaire, l'établissement d'origine et l'école d'accueil désignés ensemble « les parties ».

Article 1 - Objet de la convention.

La présente convention a pour objet de fixer les conditions du stage effectué par le stagiaire désigné supra, dans le cadre de sa formation scolaire, universitaire ou professionnelle, dans l'école publique du premier degré désignée.

Formation : <u>Masters Orthophonie ; Passations d'un protocole dans le cadre de la rédaction du mémoire</u>
Période de stage (maximum de huit semaines cumulées) :
- du <u>11.09.17</u> au <u>10.10.17</u>
- du au
- du au

Article 2 - Objectifs du stage, activités confiées au stagiaire.

- mettre en œuvre des compétences et mobiliser les savoirs étudiés en formation,
- acquérir des compétences en situation professionnelle et en présence d'usagers,
- développer des compétences de communication,
- s'insérer dans des équipes de travail pluri-professionnelles,
- découvrir le milieu professionnel du service public d'enseignement.

Article 3 - Conditions d'exécution du stage.

Le stagiaire âgé de moins de 18 ans ne peut effectuer plus de 8 heures par jour. Au-delà de quatre heures et demie d'activité de stage, le stagiaire mineur doit bénéficier d'une pause d'au moins 30 minutes, hors temps d'activité de stage.

Le stagiaire âgé de 15 ans révolus au premier jour du stage à moins de 18 ans ne pourra effectuer plus de 35 heures par semaine.

Le stagiaire de moins de 15 ans au premier jour du stage ne pourra effectuer plus de 30 heures par semaine.

Volume horaire hebdomadaire du stage objet de la présente convention : Présence Ponchell
sur deux - journées - cochées

Horaires	Lundi	Mardi	Mercredi	jeudi	Vendredi
Matin					X
Après-midi	X			X	X

Article 4 - Obligations du stagiaire.

- Durant son stage, le stagiaire doit se conformer strictement au règlement intérieur en vigueur et aux consignes du tuteur et du directeur au sein de l'école d'accueil, notamment en ce qui concerne le respect du règlement intérieur, des normes de sécurité et des horaires.
- Le stagiaire, ou son représentant légal, s'engage à avertir immédiatement l'école d'accueil et l'établissement d'origine en cas d'absence.
- Le stagiaire s'engage à respecter les exigences de confidentialité fixées par le directeur de l'école d'accueil.

Article 5 - Responsabilités et assurances.

- L'enseignant est toujours responsable de l'ensemble des élèves de sa classe ; le stagiaire ne doit jamais se trouver seul avec un ou plusieurs élèves.
- Durant la période de stage, le stagiaire reste sous l'autorité et la responsabilité du responsable de l'établissement d'origine.
- En cas d'absence du stagiaire, le directeur de l'école d'accueil s'engage à en informer immédiatement l'établissement d'origine.
- Le stagiaire conserve entier le bénéfice de la protection sociale dans le cadre de l'assurance maladie dont il est bénéficiaire à titre personnel ou comme ayant-droit.
- Le stagiaire bénéficie de la protection accident du travail dans les conditions définies à l'article L412-8 du code de la sécurité sociale.
- En cas d'accident survenu au stagiaire, soit dans les locaux de l'école d'accueil, soit sur le trajet, le directeur de l'école d'accueil s'engage à en informer dans les plus brefs délais l'établissement d'origine auquel il incombe d'établir la déclaration d'accident du travail.
- L'établissement d'origine et/ou le stagiaire ou son représentant légal contracte(nt) une assurance couvrant la responsabilité civile du stagiaire pour les dommages qu'il pourrait causer pendant la durée du stage ou à l'occasion du stage.

Article 6 - Conditions financières.

- Ce stage ne donne pas droit à rémunération et ne fait l'objet d'aucune gratification financière.
- Les frais de transport, de restauration et d'hébergement sont à la charge du stagiaire, aucune prise en charge n'est assurée par l'Etat, représentant l'école d'accueil.
- Le stage ne donne droit à aucune indemnité, de quelque nature que ce soit.

Article 7 - Résolution de problèmes, litiges et interruption du stage.

Le chef d'établissement d'origine et le directeur de l'école d'accueil se tiendront mutuellement informés des difficultés (notamment liées aux absences du stagiaire) qui pourraient naître de l'application de la présente convention. Ils prendront, d'un commun accord et en lien avec l'équipe pédagogique, les dispositions propres à les résoudre, notamment en cas de manquement à la discipline.

En cas de litige avec l'école d'accueil, les responsables légaux du stagiaire mineur ont pour seul interlocuteur l'établissement d'origine.

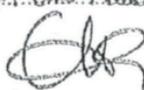
Il peut être mis fin à la présente convention d'une manière concertée entre les parties ou de manière unilatérale. Dans ce dernier cas, le responsable de la résiliation adresse aux autres parties une explication motivée écrite.

Article 8 - Validité de la présente convention.

Le stage ne peut commencer, ni le stagiaire se présenter dans l'école d'accueil, avant que la présente convention ait été validée par l'inspectrice d'académie, directrice académique des services de l'éducation nationale, en tant que représentant de l'Etat, responsable de l'école d'accueil.

Le présent imprimé est à compléter en 3 exemplaires : un pour le stagiaire, ou son représentant légal, un pour l'établissement d'origine et un pour l'école d'accueil.

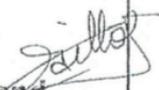
Visas et signatures :

Signature du stagiaire majeur ou de son représentant légal s'il est mineur.	Date : <u>11/09/2017</u> Signature 
---	--



Signature du responsable de l'établissement d'enseignement ou de l'organisme de formation d'origine	Date : <u>06/09/2017</u> Tampon et signature : DÉPARTEMENT ORTHOPHONIE UFR de Médecine - Bât D 3 rue des Louvels 80036 AMIENS Cedex 01 Tél. : 03 22 84 54 69
---	---



Avis du directeur de l'école d'accueil ; NOM : <u>Favorable</u> - Défavorable	Date : <u>12/09/2017</u> Tampon et signature : Ecole Jean Rostand 
---	--

26100 - ROMANS

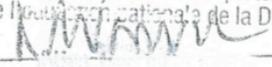


Visa du maire de la commune (seulement si tutorat par personnel ATSEM et/ou activités sur le temps périscolaire ; sinon, transmission directe à l'IEEN de circonscription par le directeur de l'école d'accueil)	Date : Tampon et signature :
---	---------------------------------------



Avis de l'IEEN de circonscription : NOM : <u>Favorable</u> - Défavorable	Date : <u>15/09/2017</u> Tampon et signature : Ministère de l'Éducation Nationale Inspection Circonscription Pédagogique de Romans 
--	---



VALIDATION DE LA CONVENTION	A Valence, le <u>15/09/17</u> Pour le recteur et par délégation, la directrice académique des services de l'éducation nationale de la Drôme Le secrétaire général de la direction des services départementaux de l'éducation nationale de la Drôme 
------------------------------------	--

Annexe 2. Document vierge de recueil du consentement des parents.



DOSSIER N° :
INITIALES DU PARTICIPANT :
MOIS ET ANNEE DE NAISSANCE :
EXAMINATEUR
.....

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT
(Participant mineur)

Article 1. IDENTIFICATION

Titre du mémoire à orientation professionnelle* de recherche* :
Traitement de différents codes numériques sous
l'évaluation des troubles de la cognition mathématique.

Etudiant(e) s : CHAQUET Charlotte
Nom, Prénom :
Email :@.....
Nom, Prénom :
Email :@.....

Directeur(s) de mémoire : DR CORNET Dominique (Orthophoniste)
Nom, Prénom :
Nom, Prénom :

Université :
UPJV - UFR de Médecine
Département d'Orthophonie
3 rue des Louvels
80036 Amiens Cédex 01
Tél : 03 22 82 54 69

Article 2. OBJECTIFS

Votre enfant est invité(e) à prendre part à ce projet visant à identifier l'origine
d'éventuels troubles de la cognition mathématique

Article 3. TÂCHES DEMANDEES - DATES - DUREE - LIEU - FREQUENCE

Sa participation consiste à répondre à des questions courtes,
portant sur des éléments numériques, à l'oral et à l'écrit.

Article 4. AVANTAGES - INCONVENIENTS ET RISQUES

Sa participation contribuera à l'avancement des connaissances scientifiques et vous permettra, si vous le souhaitez, d'être informé des résultats de la recherche.
Dans ce cas précis, merci de cocher la case
Sa participation à la recherche ne devrait comporter d'inconvénients significatifs, si ce n'est le fait de donner de son, et votre temps.

* Cocher la case correspondante

Article 5. DROIT DE RETRAIT SANS PREJUDICE DE LA PARTICIPATION

La participation à ce projet étant basé sur le volontariat, vous restez libre, à tout moment d'y mettre fin. Aucune justification ne vous sera demandée et aucune conséquence n'en découlera.

Article 6. COMPENSATIONS FINANCIERES

Sa participation ne fera l'objet d'aucune rémunération

Article 7. ETUDES ULTERIEURES – DROIT D'OPPOSITION

Les résultats obtenus à la suite de cette étude peuvent donner lieu à une autre recherche. Dans cette éventualité, autorisez-vous les responsables de ce projet à :

- Utiliser ces résultats pour d'autres recherches OUI NON
- A vous contacter à nouveau si besoin OUI NON

Article 8. CONFIDENTIALITE, PARTAGE, SURVEILLANCE ET PUBLICATION

Toutes les données recueillies seront anonymisées et utilisées à des fins de recherche dans le but de répondre aux objectifs du mémoire (Cf. Article 2).

Les données du projet de recherche pourront être publiées ou partagées dans le cadre de manifestations internes et externes (congrès, forum, cours...). Dans tous les cas, votre anonymat sera préservé.

Article 9. ENREGISTREMENT VIDEO ET/OU PRISE DE PHOTOGRAPHIE (A barrer si non concerné)

Les séances pourront être enregistrées sur support audio et/ou vidéo. Des photographies pourront être également prises. Nous aimerions que vous nous autorisiez la reproduction, l'utilisation et la diffusion des enregistrements et photographies dans un cadre pédagogique et/ou scientifique. Les éventuels commentaires ou légendes accompagnant la reproduction de ces images vidéo ne devront pas porter atteinte à votre vie privée.

Nous autorisez-vous à utiliser les photographies ou enregistrements de votre enfant à des fins de formations, de présentations scientifiques, de création de matériel orthophonique... ? (Cocher la bonne réponse)

- OUI NON

Acceptez-vous que les photographies ou enregistrements de votre enfant destiné aux professionnels de santé soient diffusées par supports multimédia (DVD) et accessibles sur les sites du DUEFO et de l'UPJV ? (Cocher la bonne réponse)

- OUI NON

Nous autorisez-vous à utiliser les photographies ou enregistrements de votre enfant sur grand écran dans le cadre de manifestations internes et externes (congrès, forums, cours...). (Cocher la bonne réponse)

- OUI NON

Cette autorisation, valable sans limitation de durée, à dater de la présente, ne concerne que les utilisations dites de formation, de promotion et de communication interne et externe.

La présente autorisation est personnelle, incessible et ne s'applique qu'aux supports explicitement mentionnés.

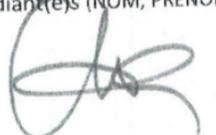
Article 10. CONSENTEMENT LIBRE ET ECLAIRE

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à ce que mon enfant participe à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le ou les étudiant(e)s a (ont) répondu à mes questions de manière satisfaisante et que j'ai disposé suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de laisser mon enfant y participer. Je comprends que sa participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il me suffit d'en informer le ou les étudiant(e)s.

Fait àle.....
(Fait en 2 exemplaires)

Signature Christelle CHAQUET
Le(s) étudiant(e)s (NOM, PRENOM)

Signature (précédée de la mention « Lu et approuvé »)
Le(s) représentant(s) légal (aux) (NOM, PRENOM)



Annexe 3. Courrier d'information aux parents des enfants en difficulté.

Madame, Monsieur, chers parents,

Dans le cadre de mon mémoire de fin d'études en Orthophonie, je travaille sur les différentes origines des difficultés en mathématiques.

Mon objectif est de réussir à les préciser le plus finement possible pour pouvoir, dans un second temps, proposer des prises en charge orthophoniques les plus adaptées et efficaces possible.

Votre enfant a été identifié par son enseignant comme étant potentiellement concerné par une gêne en mathématiques et, dans un cadre théorique très précis, je souhaiterais pouvoir lui faire passer quelques épreuves qui permettraient d'éventuellement dépister son trouble et, le cas échéant, le préciser.

Je me tiens, après cela, à votre entière disposition pour vous faire part des résultats de mes recherches. Le traitement statistique sera ensuite tout à fait anonyme et aucun renseignement concernant votre enfant ne sera communiqué à quiconque. Le détail de mes recherches reste confidentiel, et seuls les résultats globaux de la cohorte d'enfants seront répertoriés dans mon mémoire.

Une convention est établie entre l'école de votre enfant et mon université et votre consentement est recueilli dans un document officiel émanant également de mon université.

Afin de m'assurer qu'il est pertinent que votre enfant passe les différentes épreuves, je vous remercie de bien vouloir répondre aux questions ci-dessous.

Je vous remercie vivement de contribuer à l'obtention de mon diplôme d'orthophoniste et vous adresse toute ma gratitude.

Charlotte CHAQUET, étudiante en 5^e année d'orthophonie

Questions préalables

NOM: Prénom:

Date de naissance: Classe (entourer): CP CE1

Réponse à cocher	Non	Si Oui, merci de préciser
Votre enfant est-il né avant terme?	<input type="checkbox"/>
Votre enfant a-t-il déjà consulté un(e) orthophoniste?	<input type="checkbox"/>
Votre enfant a-t-il déjà été hospitalisé (hors accidents bénins)?	<input type="checkbox"/>
Votre enfant est-il porteur d'un syndrome ou d'une maladie nécessitant des prises en charge médicales ou paramédicales?	<input type="checkbox"/>
Votre enfant souffre-t-il de troubles sensoriels invalidants (surdité, cécité...)	<input type="checkbox"/>
Votre enfant parle-t-il une autre langue que le français à la maison?	<input type="checkbox"/>

Je soussigné(e) Madame / Monsieur autorise mon enfant à participer aux épreuves de recherche en orthophonie.

Signature d'un des représentants légaux:

Annexe 4. Courrier d'information aux parents des enfants témoins.

Madame, Monsieur, chers parents,

Dans le cadre de mon mémoire de fin d'études en Orthophonie, je travaille sur les différentes origines des difficultés en mathématiques.

Mon objectif est de réussir à les préciser le plus finement possible pour pouvoir, dans un second temps, proposer des prises en charge orthophoniques les plus adaptées et efficaces possible.

Votre enfant a été identifié par son enseignant comme n'étant pas concerné par une gêne en mathématiques et, afin de constituer un groupe de référence, je souhaiterais pouvoir lui faire passer quelques épreuves qui permettraient de dépister et préciser les troubles dont sont porteurs certains enfants.

Je me tiens, après cela, à votre entière disposition pour vous faire part des résultats de mes recherches. Le traitement statistique sera ensuite tout à fait anonyme et aucun renseignement concernant votre enfant ne sera communiqué à quiconque. Le détail de mes recherches reste confidentiel, et seuls les résultats globaux de la cohorte d'enfants seront répertoriés dans mon mémoire.

Une convention est établie entre l'école de votre enfant et mon université et votre consentement est recueilli dans un document officiel émanant également de mon université.

Afin de m'assurer qu'il est pertinent que votre enfant passe les différentes épreuves, je vous remercie de bien vouloir répondre aux questions ci-dessous.

Je vous remercie vivement de contribuer à l'obtention de mon diplôme d'orthophoniste et vous adresse toute ma gratitude.

Charlotte CHAQUET, étudiante en 5^e année d'orthophonie

Questions préalables

NOM: Prénom:

Date de naissance: Classe (entourer): CP CE1

Réponse à cocher	Non	Si Oui, merci de préciser
Votre enfant est-il né avant terme?	
Votre enfant a-t-il déjà consulté un(e) orthophoniste?	
Votre enfant a-t-il déjà été hospitalisé (hors accidents bénins)?	
Votre enfant est-il porteur d'un syndrome ou d'une maladie nécessitant des prises en charge médicales ou paramédicales?	
Votre enfant souffre-t-il de troubles sensoriels invalidants (surdité, cécité...)	
Votre enfant parle-t-il une autre langue que le français à la maison?	

Je soussigné(e) Madame / Monsieur autorise mon enfant à participer aux épreuves de recherche en orthophonie.

Signature d'un des représentants légaux:

Annexe 5. Récépissé de déclaration des données auprès de la CNIL.

RÉCÉPISSÉ

DÉCLARATION NORMALE

Numéro de déclaration

2102475 v 0

du 04 octobre 2017

Madame CHAQUET Charlotte
UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE
AMIENS
CHEMIN DU THIL
80090 AMIENS

A LIRE IMPÉRATIVEMENT

La délivrance de ce récépissé atteste que vous avez transmis à la CNIL un dossier de déclaration formellement complet. Vous pouvez désormais mettre en oeuvre traitement de données à caractère personnel.

La CNIL peut à tout moment vérifier, par courrier, par la voie d'un contrôle sur place ou en ligne, que ce traitement respecte l'ensemble des dispositions de la loi du 6 jan 1978 modifiée en 2004. Afin d'être conforme à la loi, vous êtes tenu de respecter tout au long de votre traitement les obligations prévues et notamment :

- 1) La définition et le respect de la finalité du traitement,
- 2) La pertinence des données traitées,
- 3) La conservation pendant une durée limitée des données,
- 4) La sécurité et la confidentialité des données,
- 5) Le respect des droits des intéressés : information sur leur droit d'accès, de rectification et d'opposition.

Pour plus de détails sur les obligations prévues par la loi « informatique et libertés », consultez le site internet de la CNIL : www.cnil.fr

Organisme déclarant

Nom : UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE AMIENS

Service :

Adresse : CHEMIN DU THIL

Code postal : 80090

Ville : AMIENS

N° SIREN ou SIRET :

198013443 00017

Code NAF ou APE :

8542Z

Tél. : 0322825469

Fax. :

Traitement déclaré

Finalité : MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES (MASTER ORTHOPHONIE) VISANT À DÉFINIR L'ORIGINE DES TROUBLES DE LA COGNITION NUMÉRIQUE CHEZ LES ENFANTS DE CP ET CE1 PAR L'ANALYSE DE LEURS PERFORMANCES À DIVERS TESTS PAPIER-CRAYON (MONOCENTRIQUE)

Fait à Paris, le 04 octobre 2017
Par délégation de la commission



Isabelle FALQUE PIERROTIN
Présidente

Annexe 6. Extraits des épreuves proposées à partir du Zareki-R.

① 9. ESTIMATION VISUELLE DE QUANTITES

Livret de stimuli (pages 23 à 26)

"Je vais te montrer des feuilles sur lesquelles il y a des points, des balles de tennis, des verres. J'aimerais que tu me dises combien, à peu près, il y a d'objets dessinés sur chaque feuille. Tu pourras regarder ces feuilles seulement un petit moment et tu n'auras pas le temps de compter les objets un à un. Tu es prêt ? Regarde bien et dis moi combien il y en a, à peu près."

- Noter ce que l'enfant fait et dit dans le cadre *Observations*.
- **COTATION** : 1 point si la réponse de l'enfant est comprise dans l'intervalle indiqué pour chaque item ; 0 point si la réponse est en dehors de cet intervalle.

Pour chaque item, retirer le Livret de stimuli de la vue de l'enfant après le temps indiqué.

- 9.1 : Montrer le Livret de stimuli, item 9.1 (p. 23) pendant 2 secondes et dire :
"Combien y a-t-il de points?"
- 9.2 : Montrer le Livret de stimuli, item 9.2 (p. 24) pendant 2 secondes et dire :
"Combien y a-t-il de points?"
- 9.3 : Montrer le Livret de stimuli, item 9.3 (p. 25) pendant 5 secondes et dire :
"Combien y a-t-il de balles ?"
- 9.4 : Montrer le Livret de stimuli, item 9.4 (p. 26) pendant 5 secondes et dire :
"Combien y a-t-il de verres ?"
- 9.5 : Fermer le Livret de stimuli et poser la question :
"Y avait-il plus de balles ou plus de verres ?"

② 1. DENOMBREMENT DE POINTS

PREMIERE PARTIE : Livret de stimuli, pages 1 à 3

ORAL

"Sur cette feuille, il y a des points noirs. J'aimerais que tu les comptes. Quand tu as fini de les compter, dis-moi combien il y a de points".

- Si l'enfant utilise son doigt, indiquer X dans la colonne *Doigt*.
- Si l'enfant compte oralement, indiquer X dans la colonne *Comptage oral*.

CHRONO!

Item	Stimulus	Temps (secondes)	Réponse	Doigt	Comptage oral	Noter ce que l'enfant fait et dit
1.1	13 points					
1.2	5 points					

3 8. COMPARAISON DE DEUX NOMBRES PRESENTES ORALEMENT

"Je vais te dire deux nombres et tu dois trouver lequel est le plus grand. Chacune de mes mains tient un nombre. Par exemple, ici je te dis "1" (L'examineur montre sa main gauche en la fermant) et ici je te dis "100" (L'examineur montre sa main droite en la fermant). Le plus grand nombre des deux se trouve ici (Montrer la main droite fermée). Touche la main qui tient le nombre le plus grand. On commence ? A toi maintenant". Pour les enfants les plus jeunes, ajouter : "s'il y a des nombres que tu ne connais pas, essaye quand même de deviner lequel est le plus grand".

- Une répétition par item est possible mais les deux nombres doivent être répétés. Dans ce cas, noter X dans la colonne R.
- Entourer la réponse de l'enfant dans la colonne Réponse (la réponse correcte est grisée).
- Noter ce que l'enfant fait et dit dans le cadre Observations.
- COTATION : 2 points pour chaque réponse correcte ; 1 point pour une réponse correcte après répétition ; 0 point pour une réponse incorrecte.

Item.	Stimulus		Réponse		R	Note		
	Main gauche	Main droite						
8.1	51 cinquante et un	49 quarante neuf	G	D		0	1	2
8.2	465 quatre cent soixante-cinq	546 cinq cent quarante-six	G	D		0	1	2

4 6. POSITIONNEMENT DE NOMBRES SUR UNE ECHELLE VERTICALE

Lignes marquées

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION ORALE (Livret de stimuli, pages 16 à 19)

"Sur cette feuille (Montrer p. 16 (6.0) du Livret du stimuli) il y a une ligne droite avec des petits traits. C'est ce qu'on appelle une échelle de nombres. Montre-moi, s'il te plaît, le trait tout en bas qui correspond à zéro. (Attendre la réponse de l'enfant). Maintenant montre-moi le trait tout en haut qui correspond à 100. (Attendre la réponse de l'enfant). Cette échelle de nombres va donc de 0 à 100. (Montrer). Le nombre que je vais te dire correspond à un des traits que tu vois entre 0 (Montrer) et 100 (Montrer). J'aimerais que tu me montres le trait qui correspond à 56. (Si la réponse est incorrecte, montrer le trait qui correspond à 56)".

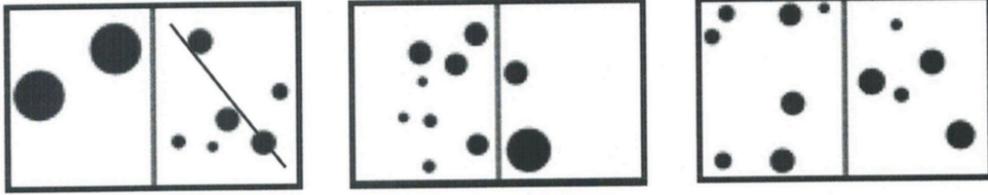
Présenter les Items 6.1 à 6.3, l'un après l'autre et, à chaque fois, répéter la consigne suivante : "Sur cette échelle de nombres, qui va de 0 à 100, j'aimerais que tu me montres le trait qui correspond au nombre (86, 48, 5)".

- COTATION : 2 points pour chaque réponse correcte ; 0 point pour chaque réponse incorrecte.

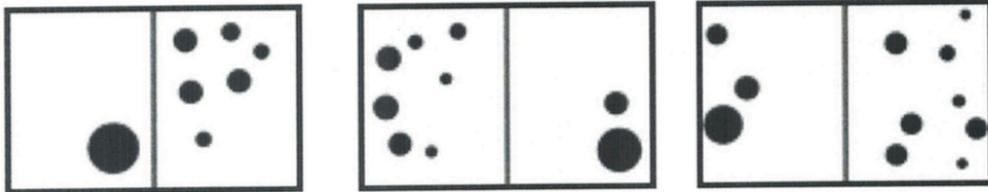
Item	Exemple				6.1				6.2				6.3			
Stimulus	56				86				48				5			
Réponse de l'enfant : trait n° (en partant de 0)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Annexe 7. Extrait des épreuves proposées à partir du Numeracy Screener.

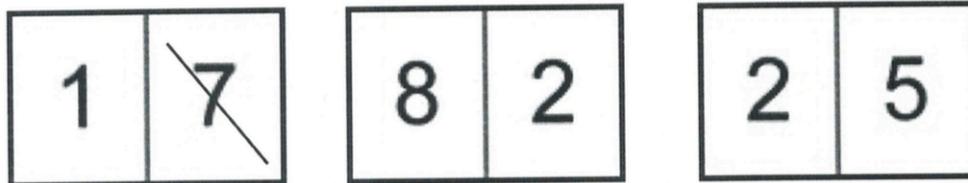
Sample Items:



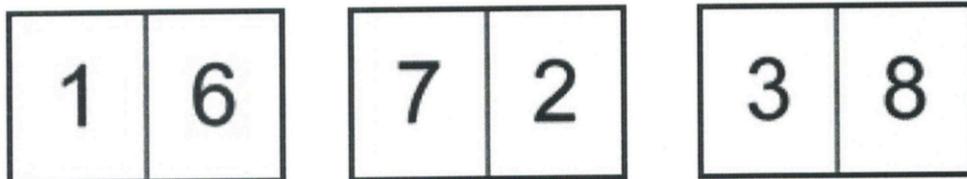
Practice Items:



Sample Items:



Practice Items:



Annexe 8. Extrait de l'épreuve de répétition de chiffres issue du Zareki-R.

⑤ 7. REPETITION DE CHIFFRES

A L'ENDROIT

"Je vais te dire quelques nombres. J'aimerais que tu écoutes en faisant très attention et que tu les répètes tous dans l'ordre, quand je te fais signe. Voici un exemple : 2-3 ; maintenant répète ces nombres."

- Prononcer un nombre par seconde.
- Arrêt après échec aux trois essais d'un même item.
- Noter ce que l'enfant fait et dit dans le cadre *Observations*.
- **COTATION** : 1 point par essai correct ; 0 point si incorrect.

Item	Essais	Réponse	Note	
	6 - 3 - 2		0	1
7.1	4 - 1 - 7		0	1

A REBOURS

"Je vais encore te dire quelques nombres. Cette fois je voudrais que tu les répètes à l'envers. Ecoute bien, voici un exemple : si je te dis 4-9, qu'est ce que tu dois dire ? Si la réponse est correcte (9-4). Commencer l'épreuve ; sinon, dire : "Non, la réponse correcte est 9-4. Tu dois répéter les nombres à l'envers. Voici un autre exemple : 2-7, qu'est-ce que tu dois dire?" Si la réponse est encore incorrecte, donner la réponse correcte, répéter la consigne "à rebours" et commencer l'épreuve.

- Prononcer un nombre par seconde.
- Noter la réussite/échec après le premier et éventuellement le second exemple.
- Arrêt après échec aux trois essais d'un même item.
- Noter ce que l'enfant fait et dit dans le cadre *Observations*.
- **COTATION** : 1 point par essai correct ; 0 point si incorrect.

Item	Essais	Réponse	Note	
Ex. 1	4 - 9		-	-
Ex. 2	2 - 7		-	-

Annexe 9. Extrait du test des cloches.



Annexe 10. Extrait du cahier de passation, épreuve de la comptine numérique.

Comptine numérique: "Je te demande de compter à haute voix, le plus loin possible".

Score / 30:

Temps:

Score attribué égal au dernier numéral correct, dans l'ordre de la comptine.

Annexe 11. Extrait du cahier de passation, épreuve de décision numérique écrite.

Décision numérique écrite

Temps:

"Je vais te montrer différents symboles. Pour chacun d'eux, tu devras me dire s'il s'agit d'un chiffre ou non".

	Est un chiffre	Pas un chiffre	Cotation
\hbar			
∂			
4			

Annexe 12. Extrait du cahier de passation, épreuve de décision numérique orale.

Décision numérique orale

Temps:

"Je vais te dire des nombres. Certains existent mais d'autres n'existent pas. Tu dois me dire lesquels".

	Est un nombre	Pas un nombre	Cotation
vingt-quatre	.		
quartinze		.	
dix-cinq		.	

Annexe 13. Extrait du cahier de passation, épreuve de transcodage, lecture à voix haute.

Transcodage: lecture

Temps:

"Je vais te présenter des nombres. Tu vas les lire à haute voix"

	Transcription API	Cotation
3		
14		
21		

Annexe 14. Extrait du cahier de passation, épreuve de transcodage, écriture sous dictée.

Transcodage: écriture

Temps:

"Je vais te dicter des nombres, tu dois les écrire en chiffres sur la feuille que je te donne"

	Production	Cotation
dix		
cinq		
deux		

Annexe 15. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique arabe.

Comparaison de nombres arabes

Temps:

"Je vais te présenter des nombres deux par deux.

Tu vas devoir me montrer lequel est le plus grand."

Gauche	Droite	Cotation		Particularité
23	4		<1/5	Visuellement, dans l'ordre de la comptine
21	12		<1/2	Inversion visuelle
3	6		1/2	Nombres à 1 chiffre

Annexe 16. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique analogique.

Comparaisons analogiques

Temps:

"Je vais te présenter des nombres deux par deux. Tu vas devoir me montrer

quel est le côté où il y a le plus de points. Tu n'as pas le droit de les compter"

Gauche	Droite	Cotation		Particularité
vingt-trois	quatre		<1/5	Utilisation du SNA
six	neuf		2/3	Utilisation du SNA
trois	six		1/2	Intègre une valeur subitisée

Annexe 17. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique analogique-arabe.

Comparaison analogique-arabe de nombres

Temps:

"Je vais te présenter des nombres et des ensembles de points.

Tu vas devoir me montrer le côté qui est le plus grand, le côté où il y en a le plus."

Gauche	Droite	Cotation	
quatre	vingt-trois		<1/5
douze	vingt-un		<1/2
six	trois		1/2

Annexe 18. Extrait du cahier de passation, épreuve de comparaison numérique orale.

Comparaison orale de nombres

Temps:

"Je vais te dire deux nombres. Tu devras me dire lequel est le plus grand."

1er nombre	2e nombre	Cotation		Particularité
six	cinq		5/6	Dans l'ordre inverse de la comptine
vingt	dix-huit		9/10	2 mots < 1 mot
six	neuf		2/3	Mots-nombres simples

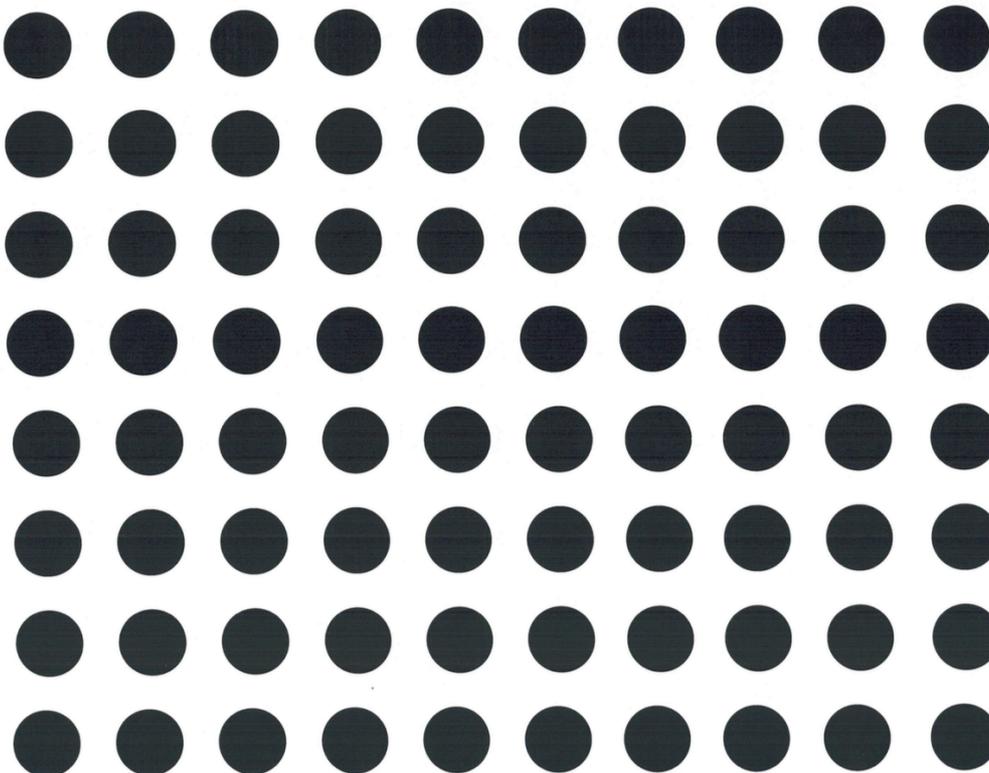
Annexe 19. Extrait du cahier de passation, épreuve de subitisation et estimation des quantités.

Subitisation et estimation de quantités

! Chiffres arabes

"Tu vois voir une planche sur laquelle il y aura un ensemble de points. Je ne te la montrerai pas longtemps. Quand je l'aurai cachée, tu devras me dire le nombre de points que tu penses qu'il y avait sur la planche; ... Tu devras écrire grâce à ces chiffres, le nombre de points que tu penses qu'il y en avait...
... tu devras entourer sur cette feuille le même nombre, la même quantité, que tu penses qu'il y en avait ...".

Temps prés.	Esti. Orale	Production	Esti. arabe	Production	Esti. Ana	Production	Cotation
2s	sept		Etaler les nombres arabes		Donner les planches de points		*
2s	deux						
2s	quatre						
2s	Temps:		cinq				
2s	Score/3:		un				
5s			douze				*
5s			huit				*
2s			Temps:			trois	
5s			Score/4:			vingt-quatre	*
5s						trente	*
					Temps:		
					Score/3		
Score/10		Subi et Reco/5:		*Esti/5:			



Annexe 20. Extrait du cahier de passation, épreuve de la ligne numérique, versant production.

Placement sur la ligne numérique

! 7 LNM

"Tu vois cette ligne (la montrer). Elle va de 0 (montrer) à 100 (montrer). Cela veut dire que lorsque j'avance sur la ligne, c'est comme si je comptais (faire avancer son doigt lentement). Tiens, là, je suis arrivée à 30 et je peux continuer à compter encore si je connais des grands nombres. Cela va jusqu'à 100.

Je vais te dire un nombre...

Je vais te présenter une planche avec un nombre ...

Je vais te présenter une planche avec un ensemble de points...

... et tu devras tracer un trait sur cette ligne à l'endroit où tu penses qu'il se situe."

Entrée orale		Entrée arabe		Entrée analogique		Cotation
trente-un						
quatre-vingt-un						
Temps:		vingt-neuf				
Score/4:		quatre-vingt-dix-sept				
		Temps:		un		
		Score/4:		vingt-quatre		
				soixante-dix		
				Temps:		
				Score/6:		
Score / 14						



Annexe 21. Extrait du cahier de passation, épreuve de la ligne numérique, versant compréhension.

Estimation de quantité sur LNM

! chiffres arabes, 1 planche

Temps:

"Maintenant, on va faire le contraire. Tu vois, j'ai déjà tracé un trait sur la ligne.

Tu vas devoir trouver à quel nombre il correspond.

Tu dois me dire à voix haute le nombre auquel tu penses

Tu dois écrire ce nombre avec les petits cartons

Tu dois entourer sans les compter le nombre de points correspondants"

Réponse orale	Production	Réponse arabe	Production	Réponse analogique	Production	Cotation
15						
		25				
				5		
Score / 6; -0,5 par unité d'écart						

Cotation

15 => 2

25 => 2

5 => 2

14 ou 16 => 1,5

24 ou 26 => 1,5

4 ou 6 => 1,5

13 ou 17 => 1

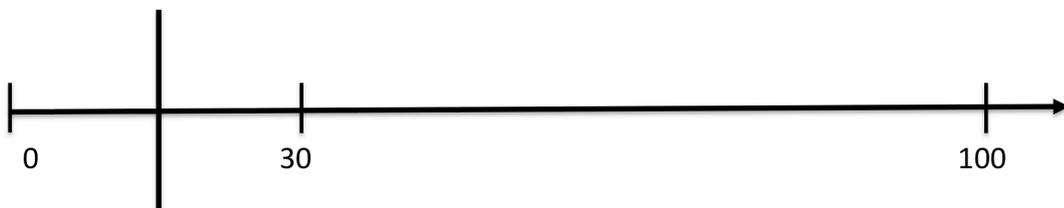
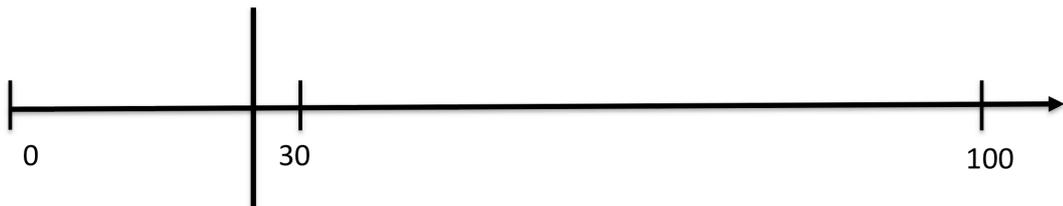
23 ou 27 => 1

3 ou 7 => 1

12 ou 18 => 0,5

22 ou 28 => 0,5

2 ou 8 => 0,5



Annexe 22. Tableaux des scores et temps, par âge et par statut, nécessaires au traitement statistique.

S.P.	Score maxi. possible	Enfants (N° Anonymat)	En difficulté: 6 ans											
			601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612
		Zareki (P10=17)	11	11,5	13	15,5	16	17	18	20	20,5	21	22	30
	5	Esti visuelle de quantités	0	1	2	4	1	1	3	3	1 1 (P5; -1,90)	1	1	2
	6	Dénombrement de points	1	2 3 (P5; -2,19)	3	5	5	2	1	3 3 (P5; -2,19)	6	3	5	
	16	Comparaison orale	6	6	4	6	8	8	14	8	8	10	10	
	24	LNM	4	2,5	4	2,5	2	3	5	2	8	8,5	4	
		Nombre P5 (dont Num Screener)	4	2	1	3	4	2	1	1	2	2	1	
		Outil de spécification												
135,50	204	Score Total	84	88	131,5	117	144,5	146,5	168,5	139	126,5	123	151	
		Sens du nombre:												
19,74	34	Traitement analogique pur	18	16	21,5	21	18,5	26	24	22	22	20	21	
17,38	23	Comparaison analogique	15	15	20	20	16	22	20	19	21	18	18	
0,26	6	LNM analogique	1,5	0	0	0	1	1,5	2	1,5	0	1	1	
0	2	LNM Sortie analogique	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0,5	
0,58	3	Subtitisation et estimation analogique	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	
18,47	26	Traitement analogique pur hors LNM	16	16	21	21	17	24	22	20	22	19	20	
58,34	45	Traitement du symbole:	28	39	54	56	80	65	75	64	52	56	76	
31,88	30	Traitement verbal oral pur	17	24	31	38	45	39	43	37	34	35	41	
22,22	30	Comptine numérique	12	15	20	30	30	30	30	24	24	24	26	
8,59	15	Décision numérique orale	5	9	11	8	15	9	13	13	10	11	15	
9,18	15	Traitement verbal écrit pur	5	12	13	11	15	12	12	14	10	14	12	
9,18	15	Décision numérique écrite	5	12	13	11	15	12	12	14	10	14	12	
11,84	22	Transcodage verbal écrit/oral	6	6	12	10	20	17	19	14	8	10	20	
6,47	11	Lecture de NVA	5	4	7	5	11	10	11	7	5	6	11	
4,65	11	Ecriture de NVO	1	2	5	5	9	7	8	3	4	9	1	
48,94	56	Accès sens du nombre via le code	38	30	54	37	46	52,5	70,5	52	52,5	44	57	
29,35	23	Correspondance analogique-arabe	26	20	36	25	27,5	32,5	43	40	33,5	29	32	
11,60	23	Comparaison analogique-arabe	10	6	15	12	11	13	14	18	15	14	15	
13,14	23	Comparaison arabe	13	12	18	10	16	23	21	14	13	21	18	
0	4	LNM arabe	2	0	0	0	2,5	0,5	3	0	0,5	0	0	
0	2	LNM sortie arabe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,45	4	Subtitisation et estimation arabe	1	2	3	3	4	3	3	1	4	2	3	
17,66	32	Correspondance analogique-orale	12	10	18	12	18,5	20	27,5	12	19	15	18	
15,23	23	Comparaison orale	10	8	14	11	14	16	22	10	17	12	15	
0	4	LNM orale	0	0	2	0	2,5	2	2,5	0	0	0	1	
0	2	LNM sortie orale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,25	3	Subtitisation et estimation orale	2	2	2	1	2	3	2	2	2	3	2	
0	6	LNM 3 sorties	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	
		Autres												
		écart-type MCTAV	-2,60	-2,60	-1,33	-2,28	-1,33	-1,02	-0,20	-2,61	-1,02	-2,60	-0,80	
		écart-type Att VS	-1,53	+1,23	+0,48	+0,23	+0,73	+0,73	+0,29	-0,19	-0,53	-0,28	-0,19	
5,33		Nombre changements de réponse	0	2	2	0	0	1	3	13	0	6	7	
		Classe	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	
		Sexe	G	F	G	G	G	F	F	G	F	G	G	
		Latéralité	D	D	D	G	D	G	D	D	G	D	D	
		Bilinguisme	N	N	N	N	O	N	N	N*	N	N	O	

S.P.	Score maxi. possible	Enfants (N° Anonymat)	Témoins: 6 ans										
			614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	
		Zareki (P10=17)	18	19	20	22	23,5	24	30,5	31	34	34,5	
	5	Esti visuelle de quantités											
	6	Dénombrement de points											
	16	Comparaison orale											
	24	LNM											
		Nombre P5 (dont Num Screener)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Outil de spécification											
135,50	204	Score Total	144	149	143	152,5	163,5	145	179	178	169,5	175	
		Sens du nombre:											
19,74	34	Traitement analogique pur	23	18	22	24	25	23,5	25,5	23	24,5	25,5	
17,38	23	Comparaison analogique	20	16	20	21	22	20	22	20	20	22	
0,26	6	LNM analogique	1,5	1	0,5	1,5	2	1,5	2	1	3,5	1,5	
0	2	LNM Sortie analogique	0,5	0	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0	1	
0,58	3	Subtitisation et estimation analogique	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
18,47	26	Traitement analogique pur hors LNM	21	17	21	22	23	22	23	21	21	23	
58,34	45	Traitement du symbole:	63	72	71	55	77	67	79	78	74	81	
31,88	30	Traitement verbal oral pur	42	43	42	26	43	39	43	44	42	45	
22,22	30	Comptine numérique	30	30	28	18	30	30	28	30	30	30	
8,59	15	Décision numérique orale	12	13	14	8	13	9	15	14	12	15	
9,18	15	Traitement verbal écrit pur	13	13	12	11	8	13	12	15	14	12	
9,18	15	Décision numérique écrite	13	13	12	11	8	13	12	15	14	12	
11,84	22	Transcodage verbal écrit/oral	9	16	15	21	21	19	21	20	20	21	
6,47	11	Lecture de NVA	5	11	8	10	11	9	11	10	10	11	
4,65	11	Ecriture de NVO	4	5	7	11	10	10	10	10	10	10	
48,94	56	Accès sens du nombre via le code	57	59	52	70,5	66,5	50,5	77,5	76	69	71,5	
29,35	23	Correspondance analogique-arabe	41	37	31	43	42,5	28	48,5	48,5	41,5	43,5	
11,60	23	Comparaison analogique-arabe	18	15	13	16	19	13	20	19	13	15	
13,14	23	Comparaison arabe	19	19	14	22	19	12	23	23	23	23	
0	4	LNM arabe	0	0	0	1	0,5	1	1,5	2,5	1,5	1,5	
0	2	LNM sortie arabe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,45	4	Subtitisation et estimation arabe	4	3	4	4	4	2	4	3	4	4	
17,66	32	Correspondance analogique-orale	16	22	21	27,5	24	22,5	29	27,5	27,5	28	
15,23	23	Comparaison orale	14	21	18	23	20	17	23	23	23	22	
0	4	LNM orale	0	0	1	2,5	1	3	2	2,5	1,5	3	
0	2	LNM sortie orale	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
1,25	3	Subtitisation et estimation orale	2	1	2	2	3	2,5	3	2	3	3	
0	6	LNM 3 sorties	0,5	0	0,5	0,5	0	0	1,5	2	0	1	
		Autres											
		écart-type MCTAV	-1,33	-1,33	-0,70	-1,10	-0,07	-0,80	+0,41	+0,87	-0,07	+0,87	
		écart-type Att VS	+1,48	-0,28	+0,03	+0,52	-0,03	-1,38	-0,43	-0,03	+0,98	+1,23	
5,33		Nombre changements de réponse	0	1	1	3	3	6	2	4	2	3	
		Classe	CP	CP	CP	CE1	CP	CE1	CE1	CP	CP	CP	
		Sexe	F	G	F	G	G	F	F	G	G	F	
		Latéralité	D	D	D	D	D	D	G	G	D	D	
		Bilinguisme	N	O	N	N	N	O	N	N	N	N	

S.P.	Score maxi. possible	Enfants (N° Anonymat)	En difficulté: 7 ans												
			701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	
		Zareki (P10=22)	11	13	17	17,5	18	18	18	18	20,5	21	22	23	23
	5	Esti visuelle de quantités	0	2	1	3	0	3	3	1 (P5; -2,12)	1	2	1	1	
	6	Dénombrement de points	5	5	3	4	4	3	3	2 (P5; -3,51)	2	4	4	4	
	16	Comparaison orale	4	6	8	10	10	8	6	8	10	12	10	12	
	24	LNM	2) (<P5; -2,94)		5	0,5	4	4	4	6	9,5	8	4	8	
		Nombre P5 (dont Num Screener)	3	1	2	2	2	0	0	2	0	0	1	1	
		Outil de spécification													
152,99	204	Score Total	107	151	123	160,5	101,5	151	150,5	130	170	152	152,5	170,5	
		Sens du nombre:													
20,29	34	Traitement analogique pur	18	22	17,5	17,5	19,5	23	20	21	24	22	23,5	25	
16,47	23	Comparaison analogique	16	19	16	16	18	21	17	17	22	20	21	22	
0,77	6	LNM analogique	0	1	0	0,5	0,5	1	1	2	0	1	1,5	1	
0	2	LNM Sortie analogique	0	0	0,5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
0,85	3	Subtitisation et estimation analogique	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	
18,46	26	Traitement analogique pur hors LNM	18	21	17	17	19	22	18	18	24	21	22	24	
68,08		Traitement du symbole:	40	77	64	78	32	82	66	73	76	75	69	78	
39,70	45	Traitement verbal oral pur	25	43	38	43	18	45	35	40	43	42	42	43	
29,44	30	Comptine numérique	18	30	30	30	13	30	24	26	30	30	30	30	
10,06	15	Décision numérique orale	7	13	8	13	5	15	11	14	13	12	12	13	
9,96	15	Traitement verbal écrit pur	13	13	10	14	12	12	12	12	13	13	13	13	
9,96	15	Décision numérique écrite	13	13	10	14	12	12	12	12	13	13	13	13	
16,67	22	Transcodage verbal écrit/oral	8	21	18	22	9	22	20	19	20	21	15	22	
7,85	11	Lecture de NVA	6	11	10	11	3	11	10	10	10	11	9	11	
8,57	11	Ecriture de NVO	2	10	8	11	6	11	10	9	10	10	6	11	
60,40		Accès sens du nombre via le code	43	52	39,5	64	43	49	63,5	38	70	54	59	67,5	
36,51	56	Correspondance analogique-arabe	22	31	21	39	32	34	39,5	26	47	32	37	42	
13,74	23	Comparaison analogique-arabe	11	14	6	18	13	13	15	10	21	15	13	15	
19,30	23	Comparaison arabe	8	16	11	18	18	16	21	14	23	13	21	23	
0	4	LNM arabe	0	0	0	0	0	1	2,5	0	0	0	0	1	
0	2	LNM sortie arabe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,18	4	Subtitisation et estimation arabe	3	1	4	3	1	4	1	2	3	4	3	3	
21,34	32	Correspondance analogique-orale	21	21	18,5	25	11	15	24	12	23	22	22	25,5	
17,74	23	Comparaison orale	18	17	15	22	9	12	21	9	20	19	20	22	
0	4	LNM orale	0	2	0,5	0	0	0	0	1	0	0	2,5	0	
0	2	LNM sortie orale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,19	3	Subtitisation et estimation orale	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	
0	6	LNM 3 sorties	0	0	0,5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
		Autres													
		écart-type MCTAV	-3,21	-0,80	-2,61	-1,45	-2,00	-1,10	-1,40	-1,70	-2,30	-2,91	-1,70	-0,20	
		écart-type Att VS	-0,43	-0,90	-0,67	-0,73	+0,29	-2,33	-1,14	-0,67	-0,90	-1,14	-1,14	-0,67	
11,59		Nombre changements de réponse	0	5	3	1	1	9	4	1	13	0	1	5	
		Classe	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	
		Sexe	G	G	F	F	F	G	F	F	G	F	F	F	
		Latéralité	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
		Bilinguisme	N	N	O	O	N	N	O	N	N	N	N	O	

S.P.	Score maxi. possible	Enfants (N° Anonymat)	Témoins: 7 ans												
			713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	
		Zareki (P10=22)	22,5	22,5	24	25	26,5	27,5	28	28,5	28,5	28,5	35	38	
	5	Esti visuelle de quantités													
	6	Dénombrement de points													
	16	Comparaison orale													
	24	LNM													
		Nombre P5 (dont Num Screener)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Outil de spécification													
152,99	204	Score Total	169	164	159,5	170	150,5	166,5	174	164	158	170,5	181	176,5	
		Sens du nombre:													
20,29	34	Traitement analogique pur	24	22	23	22,5	23	20,5	27,5	25,5	21	25	25	24	
16,47	23	Comparaison analogique	20	19	21	18	18	17	23	21	17	20	21	19	
0,77	6	LNM analogique	2	2	1	1,5	2	1,5	3,5	2,5	1,5	1,5	1,5	3	
0	2	LNM Sortie analogique	1	0	0	1	1	0	0	0	0,5	1,5	0,5	0	
0,85	3	Subtitisation et estimation analogique	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	
18,46	26	Traitement analogique pur hors LNM	21	20	22	20	20	19	24	23	19	22	23	21	
68,08		Traitement du symbole:	74	79	74	76	63	78	78	76	75	82	80	82	
39,70	45	Traitement verbal oral pur	41	45	41	42	39	44	43	42	43	45	44	45	
29,44	30	Comptine numérique	30	30	30	30	29	30	30	30	30	30	30	30	
10,06	15	Décision numérique orale	11	15	11	12	10	14	13	12	13	15	14	15	
9,96	15	Traitement verbal écrit pur	11	13	11	14	11	13	11	12	10	13	13	14	
9,96	15	Décision numérique écrite	11	13	11	14	11	13	11	12	10	13	13	14	
16,67	22	Transcodage verbal écrit/oral	22	19	22	22	14	20	22	22	19	22	22	22	
7,85	11	Lecture de NVA	11	8	11	11	7	10	11	11	9	11	11	11	
8,57	11	Ecriture de NVO	11	11	11	11	7	10	11	11	10	11	11	11	
60,40		Accès sens du nombre via le code	71	65	62,5	69,5	63,5	69	70,5	62,5	65	65,5	77	71,5	
36,51	56	Correspondance analogique-arabe	45,5	41	40	43	44	44	44	35	40,5	40	50	45	
13,74	23	Comparaison analogique-arabe	18	15	17	15	16	16	17	13	16	17	19	18	
19,30	23	Comparaison arabe	21	22	21	23	22	23	23	20	19	20	23	23	
0	4	LNM arabe	2,5	0	0	1	2	2	0	0	1,5	0	4	0	
0	2	LNM sortie arabe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,18	4	Subtitisation et estimation arabe	4	4	2	4	4	3	4	2	4	3	4	4	
21,34	32	Correspondance analogique-orale	25,5	24	22,5	26,5	19,5	25	26,5	27,5	24,5	25,5	27	26,5	
17,74	23	Comparaison orale	19	20	19	22	17	21	22	23	20	21	21	23	
0	4	LNM orale	3,5	1	0,5	1,5	0,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	3	0,5	
0	2	LNM sortie orale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,19	3	Subtitisation et estimation orale	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	
0	6	LNM 3 sorties	1	0	0	1	1	0	0	0	0,5	1,5	0,5	0	
		Autres													
		écart-type MCTAV	+0,41	+0,41	+0,11	-0,50	-2,61	-1,70	+1,01	-0,5	-0,20	-0,20	-0,86	+0,62	
		écart-type Att VS	-1,14	+0,29	-1,14	+1,00	-0,90	-0,19	-0,19	+1,00	-1,14	-0,19	-1,14	-0,49	
11,59		Nombre changements de réponse	8	3	2	1	1	1	4	9	8	14	0	1	
		Classe	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	CE1	
		Sexe	F	F	F	F	F	F	F	G	G	F	G	F	
		Latéralité	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
		Bilinguisme	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	

6 ans Témoins: temps en secondes												
Enfant	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	Temps P. (min"sec"cent.)	
Comptine	24,95	25,01	17,98	16,16	27,08	19,23	16,72	31,09	24,71	20,12	30"50	
Décision num écrite	45,43	49,30	31,88	39,73	39,58	40,28	44,45	37,46	34,16	31,92	49"02	
Décision num orale	78,46	46,60	42,93	49,32	48,39	44,13	72,00	45,80	43,05	47,46	1'12"63	
Lecture	78,73	30,00	24,10	26,80	19,71	31,87	41,90	31,18	21,20	18,23	1'01"64	
Ecriture	106,16	71,91	43,13	29,80	55,80	49,10	61,75	69,28	46,24	63,02	1'33"93	
Comp arabe	138,03	93,50	52,60	79,27	74,88	88,49	71,40	58,31	50,35	74,54	2'00"09	
Comp ana	70,19	62,05	54,53	87,07	67,28	75,77	63,76	59,40	49,35	81,80	1'26"71	
Comp ana-arabe	74,05	65,62	59,91	87,87	91,81	68,80	63,82	66,62	52,56	78,50	1'31"17	
Comp orale	84,99	82,95	94,80	114,57	106,95	88,72	144,03	100,86	78,11	93,42	2'10"92	
Subi Esti oral	20,55	12,16	14,28	17,95	16,57	13,60	16,47	18,91	11,09	17,26	20"88	
Subi Esti arabe	41,14	32,83	21,18	30,28	28,59	30,05	35,49	43,01	18,86	35,99	44"53	
Subi Esti ana	59,72	43,66	29,06	41,08	59,63	54,80	97,13	35,32	41,56	65,20	1'24"95	
LNM orale	20,50	8,93	18,08	25,30	19,79	27,14	69,30	27,28	13,44	14,63	52"29	
LNM arabe	17,59	13,51	26,30	19,88	23,35	12,95	36,50	17,11	13,45	15,73	31"80	
LNM ana	28,13	17,65	18,76	23,92	40,01	23,00	94,00	25,78	26,94	24,36	1'09"45	
LNM 3 sorties	53,97	41,25	31,28	43,55	35,15	32,09	67,86	38,65	32,03	63,82	1'06"12	
Temps Total	942,59	696,93	580,80	732,55	754,57	700,02	996,58	706,06	557,10	746,00	16'08"47	

6 ans en difficulté: temps en secondes														
Enfant	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	Temps P. (min"sec"cent.)
Comptine	44,09	19,32	48,96	16,3	19,45	32,9	24,61	50,36	33,71	21,68	22,55	35,78	10,44	30"50
Décision num écrite	42,72	39,91	30,63	48,01	31,9	55,1	27,4	36,97	38,46	58,41	31,35	41,41	41,8	49"02
Décision num orale	39,19	44,23	45,77	40,13	40,8	60,3	43,65	47,22	50,07	89,13	36,35	42,17	41,92	1'12"63
Lecture	39,45	42,36	18,58	33,96	24,1	33,1	28,16	31,12	27,74	32,13	24,68	51,12	24,6	1'01"64
Ecriture	97,31	101,89	49,09	63,73	92,37	71,23	62	44,65	65,6	85,43	36,31	75,94	50,89	1'33"93
Comp arabe	71,02	64,87	69,32	100,56	61,77	82,99	56,43	60,73	75,77	79,76	52,81	88,5	73,29	2'00"09
Comp ana	86,31	72,4	75,37	78,78	52,68	72,73	99	67,73	65,85	88,09	45,48	81	80,2	1'26"71
Comp ana-arabe	87,76	63,57	60,23	74,69	44,92	74,77	89,06	77,57	66,82	83,36	56,26	68,75	85,42	1'31"17
Comp orale	112,24	80,09	134,99	96,64	78,25	97,68	116,72	103,99	89,6	85,81	81,96	96,6	92,49	2'10"92
Subi Esti oral	12,85	16,69	13,25	13,83	12,38	13,2	16,96	28,71	18,12	13,88	16,1	19,36	13,17	20"88
Subi Esti arabe	41,42	39,72	39,63	53,19	29,83	37,04	39,49	31,8	39,15	31,15	28,4	38,03	33,48	44"53
Subi Esti ana	94,29	51,85	45,66	131,01	29,46	58,05	50,67	35,74	50,83	54,11	27,9	58,8	44,87	1'24"95
LNM orale	18,72	19,42	8,7	18	9,05	15,12	33,29	15,38	11,38	16,3	12,06	41,52	11,69	52"29
LNM arabe	19	35,33	14,59	13	11,46	11,43	18,44	10,66	12,6	23,55	10,32	33,3	17,41	31"80
LNM ana	26,46	32,8	20	20,97	18,32	19,78	25,1	13,08	22,1	29,09	10,58	45,45	23,08	1'09"45
LNM 3 sorties	64,52	101,01	38,18	62,37	29	34	40,85	22,33	34,6	81,16	25,31	59,87	35,69	1'06"12
Temps Total	897,35	825,46	712,95	865,17	585,74	769,42	771,83	678,04	702,4	873,04	518,42	877,6	680,44	16'08"47

7 ans Témoins: temps en secondes													
Enfant	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	Temps P. (min"sec"cent.)
Comptine	11,3	17,07	14,74	27,33	40,22	13,26	21,91	22,72	20,42	16,89	17,5	26,98	33"90
Décision num écrite	46,4	53,26	55,22	45,5	44,82	36,27	35,03	33,85	38,5	40,16	35,48	33,48	53"85
Décision num orale	46,52	40,25	69,03	41,6	48,78	49,77	55,8	37,06	42,32	54,53	48,23	46,9	1'02"51
Lecture	24,95	52,25	23,45	23,4	25,2	48,21	20,71	24,16	33,43	21,14	23,46	24,72	46"17
Ecriture	45,43	37,59	33,74	29,91	54,77	32,32	50,58	33,15	69,1	44,92	32,53	28,03	1'01"34
Comp arabe	80,64	70,86	78,4	61,37	68,52	65,63	77,32	55,46	73,8	78	43,02	52,8	1'26"74
Comp ana	63,26	64,6	62,25	69,14	56,34	76,53	62,58	55,1	74,48	64,6	47,31	63,69	1'16"59
Comp ana-arabe	70,27	74,01	75,26	77,46	63,57	65,73	65,96	54,33	89,09	71,8	60,3	76,27	1'25"43
Comp orale	146,67	112,48	149,59	87,47	86,7	146,89	81,12	99,61	115,57	112,89	76,5	86,39	2'32"88
Subi Esti oral	16,77	9,43	15,18	12,95	11,37	16,3	21,46	16,38	12,39	19	13,33	15,93	20"57
Subi Esti arabe	37,05	31,7	39,93	24,69	36,53	35,4	38,86	32,24	35,27	130	32,6	32,5	1'28"31
Subi Esti ana	48,98	40,66	45,45	35,8	51,62	36,33	68,36	25,32	50,87	196	30,15	48,53	2'11"38
LNM orale	30,05	9,23	14,12	11,55	22,87	13,38	24,71	14,25	26,8	19,24	13,83	12,53	28"93
LNM arabe	41,32	14,21	21,23	15,23	17,69	17,12	17,39	14,21	30,8	20,06	16,2	13,56	33"44
LNM ana	30,86	23,26	29,17	15,8	22,65	22,6	64,01	19,73	22,89	21,29	21,4	27,42	47"27
LNM 3 sorties	57,35	52,25	33,56	26,83	31,10	32,5	35,66	33,05	38,07	58,88	25,93	31,09	57"03
Temps Total	797,82	703,11	760,32	606,03	651,65	708,24	741,46	570,62	773,80	969,40	537,77	620,82	14'59"36

7 ans en difficulté: temps en secondes													
Enfant	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	Temps P. (min"sec"cent.)
Comptine	39,49	13,02	44,07	12,66	42,56	25,15	25,36	25,02	23,2	21,03	12,12	15,38	33"90
Décision num écrite	31,13	39,8	39,27	39,56	35,83	49,45	35,1	34,59	30,13	39,6	47,17	33,8	53"85
Décision num orale	50,46	46,92	40,69	47,23	44,55	42,25	54,42	33,63	37,23	45,59	58,47	44,03	1'02"51
Lecture	27,96	27,97	26,25	21,3	33,18	28,7	26,93	28,86	24,83	26,42	28,42	26,19	46"17
Ecriture	58,11	53,3	51,15	37,6	57,13	55,02	36,9	39,14	29,43	60,23	70,53	50,5	1'01"34
Comp arabe	53,91	114	71,57	61,26	91,49	89,62	67,98	49,16	58,35	65,3	95,52	67,07	1'26"74
Comp ana	59,71	71	63,22	55,3	64,82	82,02	83,13	46,77	66,29	58,96	96,45	101,27	1'16"59
Comp ana-arabe	57,78	88,97	65,05	66,52	79,46	85,4	82,66	48,87	72,53	65,77	101,37	80,67	1'25"43
Comp orale	95,05	187	111	93,43	112,31	86,94	92,59	86,76	86,91	75,87	138,42	118,04	2'32"88
Subi Esti oral	15,81	16,73	15,1	22,66	18,01	15,51	17,86	14,63	10,35	16,73	27,36	13,98	20"57
Subi Esti arabe	24,11	73	43,62	35,04	39,12	34,2	47,75	30,73	33,48	35,33	50,09	35,18	1'28"31
Subi Esti ana	42,85	38,55	45,01	61,27	33,43	57,93	48,42	45,4	44,18	43,8	46	58,77	2'11"38
LNM orale	9,92	28,85	11,96	7,14	26,85	20,05	46,05	11,49	10,53	16,8	14,95	11,89	28"93
LNM arabe	15,08	25,68	10,9	10,75	21,1	12,47	22,13	9,49	11,52	12,7	20,3	20,5	33"44
LNM ana	14,86	29,53	15,1	13,33	30,3	18,08	24,66	12,57	12,55	17,13	26,11	23,41	47"27
LNM 3 sorties	40,65	40,63	35,8	30,65	55,31	31,91	46,18	42,78	23,27	32,36	52,06	26,93	57"03
Temps Total	636,88	894,95	689,76	615,7	785,45	734,7	758,12	559,89	574,78	633,62	885,34	727,61	14'59"36

RÉSUMÉ: Certains enfants éprouvent spécifiquement des difficultés de traitement et de manipulation des nombres dès leur entrée dans les apprentissages. Avant que ne soit diagnostiquée une dyscalculie primaire, les difficultés des enfants doivent être cernées et l'origine doit en être identifiée. Nous avons constaté l'absence de matériel permettant d'identifier précocement l'origine des difficultés de la cognition numérique telles que les suggère la littérature: déficit du sens du nombre ou déficit d'accès au sens du nombre via le code symbolique. Nous avons créé un outil, le Q.O.D.-N. (Quelle(s) Origine(s) aux Difficultés Numériques), destiné aux enfants de 6 et 7 ans. Les épreuves font référence au Triple Code et ont été conçues dans le but de tester spécifiquement chaque code numérique ou connexion entre les codes oral, arabe et analogique. Les sous-scores obtenus aux différentes épreuves par les 47 enfants participants ont été regroupés puis analysés.

Les résultats font apparaître des différences de comportement en faveur des enfants qui n'éprouvent pas de difficulté d'acquisitions numériques. Leurs résultats ont ainsi permis de réaliser un étalonnage. Les sous-scores hétérogènes des enfants en difficulté ont été examinés en regard de cet étalonnage et ont pu mettre en lumière l'origine de leurs difficultés. Une étude de cas vient illustrer le fonctionnement du Q.O.D.-N..

MOTS CLÉS: Cognition numérique – Dyscalculie – Origine des troubles – Dépistage précoce.

ABSTRACT: Some children have specific difficulties in processing and manipulating numbers as soon as they start learning. Before primary dyscalculia is diagnosed, children's disorders and their origin must be identified. We have noted the lack of test to early identify the origin of the difficulties of numerical cognition as suggested by the literature: number sense deficit or access deficit to numerical representation via the symbolic code. We created a tool, Q.O.D.-N. (What Origin(s) to Digital Difficulty(ies)), intended for children of 6 and 7 years old. The tests refer to the Triple Code and have been designed to specifically test each digital code or connection between verbal, arabic and analogical codes. The sub-scores obtained at the different tests by the 47 participating children were grouped together and analyzed.

The results show behavior differences in favor of children who do not experience difficulty in digital acquisition. Their results allowed us to carry out a calibration. The heterogeneous sub-scores of the children in difficulty were examined compared to this calibration and we were able to highlight the origin of their difficulties. A case study illustrates how Q.O.D.-N works.

NOMBRE DE PAGES TOTAL: 101

NOMBRE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES : 84