CHAPITRE 9 : L'EVALUATION DES COMPETENCES NUMERIQUES DE L'ENFANT

Marie-pascale Noël

UCLouvain Belgique

Le bilan neuropsychologique de l'enfant.

Editions Mardaga

1. Introduction – signes d'appel

L'évaluation des compétences numériques fait rarement partie du bilan neuropsychologique classique. Le plus souvent, cet examen a lieu à la suite d'une plainte concernant une difficulté d'apprentissage globale ou liée de manière spécifique au domaine mathématique. L'anamnèse visera alors à cerner cette plainte avec l'enfant et ses parents : depuis quand l'enfant éprouve-t-il des difficultés dans cette matière ? Ces difficultés sont-elles liées à un changement d'école ou d'instituteur ? Dans quel type d'exercices présente-t-il le plus de problèmes ? Comment l'enfant appréhende-t-il le cours de mathématiques et, plus généralement, les situations de manipulation des nombres ? A-t-il développé une anxiété particulière face aux situations mathématiques ?

Lorsqu'aucune plainte de ce type n'est amenée de manière spontanée par les parents, les résultats à certains sous-tests de batteries cognitives globales peuvent suggérer une faiblesse éventuelle dans ce domaine. Ainsi, par exemple, l'échelle de la WISC-V (Wechsler, 2016) contient un sous-test arithmétique. Une note faible à ce niveau peut amener à s'interroger sur la présence d'éventuelles difficultés d'apprentissage en mathématiques. Notons toutefois que cette épreuve ne constitue pas une mesure représentative des compétences numériques de l'enfant. En particulier, ce sous-test comporte majoritairement des items de résolution de problèmes. Une difficulté dans la maîtrise des systèmes numériques, par exemple, passerait complètement inaperçue avec ce type d'épreuve.

2. Présentation générale de l'évaluation du traitement numérique

L'évaluation du traitement numérique de l'enfant peut être conçue à deux niveaux. Au premier niveau, il s'agit de vérifier si la plainte correspond à une difficulté réelle, soit d'objectiver le retard ou les lacunes éventuels de l'enfant dans le traitement numérique grâce à des tests de performance. Au second niveau, il s'agira de décrire les forces et les faiblesses de l'enfant dans le domaine numérique, de les interpréter dans le cadre d'un modèle théorique et de concevoir, sur cette base, un projet de prise en charge. Seuls les tests approfondis permettent ce type d'analyse.

Une des particularités du domaine numérique et de son évaluation est qu'ils impliquent des processus et représentations de plus en plus nombreux au cours du temps. En effet, chez l'enfant en fin de maternelle, l'évaluation peut se restreindre à la maîtrise du comptage et du dénombrement, la compréhension de la valeur cardinale des nombres et, éventuellement, l'écriture des premiers chiffres. Chez l'enfant en fin de cycle primaire, en revanche, l'évaluation inclut la maîtrise des systèmes symboliques y compris de la base 10, les opérations de calcul (addition, soustraction, division, multiplication), la résolution de problèmes mais aussi la compréhension des nombres rationnels (comme les fractions et les nombres décimaux) et la géométrie. Par conséquent, un seul outil ne peut couvrir tout le cycle primaire et un choix judicieux en fonction de l'âge de l'enfant doit être opéré.

3. Les mesures de performance

Les mesures de performance sont des outils qui permettent d'évaluer le niveau de l'enfant et de le comparer à celui d'un échantillon représentatif de la population dont il est issu. Les items proposés sont généralement variés et correspondent souvent à des exercices typiques utilisés dans des cours de mathématique. Ce type de test permet de détecter la présence éventuelle d'une difficulté d'apprentissage et de quantifier celle-ci (en termes d'écart par rapport au groupe scolaire de référence ou en termes d'années de retard). Plusieurs outils de ce type sont disponibles.

Le test de Rabreau, Ravard et Arbes

En France, Rabreau, Ravard et Arbes (année indéterminée) ont développé un test collectif de mathématique destiné aux enfants du CE1 (2ième primaire) jusqu'au CM2

(5ième primaire). Quatre domaines sont envisagés : la numération (sériation de nombres, connaissance de la séquence verbale, écriture en nombres arabes de nombres présentés en toutes lettres, ….), les opérations (calculs écrits complexes), les mesures et les représentations (mesure de lignes, écriture de l'heure indiquée sur une montre, dessin d'une figure symétrique à un modèle ...) et le sens des opérations (résolution de problèmes). Pour chaque domaine et pour le total, les résultats sont comparés aux normes exprimées en quintiles (tranches de 20%). La passation, qui peut être collective, prend une heure environ.

Le test Lepez et Riquier

En France également, Lepez et Riquier (1997) proposent une échelle des connaissances en français et en mathématiques. Dans le domaine qui nous intéresse, le test porte sur les relations numériques, la numération, les opérateurs et la géométrie. Ce test est étalonné de la fin du CE1 (2ième primaire) jusqu'en fin de cycle primaire, à la fois en début et en fin d'année scolaire. La passation prend une demi heure environ.

Le test de Simonart

En Belgique francophone, Simonart (1998a, 1998b) a développé plusieurs tests pédagogiques couvrant tout le cycle primaire. Ces tests évaluent la maîtrise du français et des mathématiques. Dans chaque test, une partie peut être administrée en collectif, l'autre en individuel. Nous ne présenterons que la partie mathématique. Le test de Noël, première primaire, inclut la résolution de 8 calculs simples et de 3 calculs lacunaires proposés en collectif. En évaluation individuelle, il est demandé à l'enfant de résoudre 4 calculs mentaux, de représenter des calculs par du matériel concret ou d'énoncer le calcul correspondant à une situation concrète. Le test de juin de 1ière primaire inclut une épreuve collective correspondant à la résolution de petits calculs, de calculs lacunaires et d'un problème verbal. La partie individuelle implique la résolution rapide (en moins de 5 secondes) de petits calculs. Le test de 2ième primaire a la même structure, à laquelle est ajouté un exercice de placement de deux nombres de deux chiffres sur une droite graduée. Le test de la 3ième à la 6ième primaire comprend 4 sous-épreuves. La première inclut 28 items portant sur des notions variées comme le calcul mental complexe, la compréhension du système arabe, y compris l'écriture décimale, les changements d'unités de mesure, les calculs avec des nombres rationnels comme les fractions ou les décimaux et les correspondances entre écriture décimale, fractionnaire et pourcentage. La seconde épreuve contient trois résolutions de problèmes : un problème logique, un problème exigeant l'utilisation d'une règle de trois et un problème à résoudre en plusieurs étapes. La troisième épreuve demande à l'enfant de tracer une figure géométrique d'une taille spécifiée et la dernière, de résoudre des opérations écrites en colonne. Pour chacun de ces tests et pour chaque niveau scolaire, des normes ont été collectées sur plus de 200 enfants issus de la partie francophone de la Belgique. Le score global du test peut être comparé à des normes exprimées en percentiles. Pour le test de la 3ième à la 6ième primaires, des moyennes et écart-types sont également disponibles pour chaque sous-épreuve du test.

Le Kortrijkse rekentest

En Flandre, Cracco et col. (1995) ont développé le Kortrijkse rekentest (KRT). Ce test comprend, pour chaque niveau scolaire, une série d'items (entre 20 et 30) évaluant la connaissance des nombres et une autre, les capacités de calcul mental. Par exemple, des questions comme « le nombre après trois, c'est ? » ou bien, « écris en nombre décimal 103/100 » sont des items issus des échelles de connaissance des nombres pour, respectivement, le milieu de la 1ière primaire et de la 6ième primaire. Pour le calcul mental, les items sont du type suivant : « 12+3= ? » et « 47,95+3,6= ? » pour les premiers et les derniers niveaux scolaires. Des normes sont proposées en termes de percentiles pour le score de connaissance des nombres, le score de calcul mental et le score total. Il est important toutefois de noter que les normes ont été collectées en Flandres et qu'elles ne peuvent être utilisées telles quelles sur une population wallonne (les programmes scolaires et le niveau socio-économique sont différents dans ces deux communautés) ou française. A titre illustratif, 117 enfants wallons testés en milieu de 5ième année primaire ont obtenu un score global moyen de 19, ce qui correspondait à un percentile 29 (et non 50 !) de la population flamande ayant servi à la normalisation. L'utilisation de ces normes dans des populations non flamandes conduirait donc à un nombre important de faux positifs.

Si ces tests permettent bien d'objectiver la présence éventuelle d'une difficulté d'apprentissage chez l'enfant, voire d'estimer l'ampleur du « retard » d'apprentissage de l'enfant, ils ne permettent, en revanche, qu'une compréhension limitée de la problématique sous-jacente. Ces outils répondront donc parfaitement aux exigences des psychologues scolaires dont la mission est de détecter les enfants en difficulté mais ils ne seront que partiellement satisfaisants pour le logopède ou l'orthophoniste qui doit comprendre la problématique de l'enfant et mettre en place une prise en charge adaptée.

4. Les tests approfondis

Pour cerner la problématique sous-jacente aux difficultés d'apprentissage de l'enfant et guider le thérapeute dans la mise en place d'une rééducation, des tests approfondis sont nécessaires. Ces tests sont construits sur base d'un cadre théorique du traitement numérique qui permettra à l'examinateur d'interpréter les difficultés de l'enfant. Trois courants théoriques ont nourri le développement d'outils dans le domaine numérique : la théorie piagétienne du développement de l'enfant, la neuropsychologie cognitive des acalculies acquises et les travaux de la psychologie cognitive concernant le développement numérique.

a) Le modèle piagétien

Un des premiers modèles théoriques du développement numérique de l'enfant est celui élaboré par Piaget et ses collaborateurs. Pour Piaget et Szeminska (1941), le nombre n'est pas une qualité directement perceptible par les sens mais une construction réalisée par l'enfant sur base d'outils logiques non spécifiquement numériques (comme la sériation, la classification, l'inclusion des classes, etc.). Plus spécifiquement, le nombre est le résultat d'une synthèse opérée par l'esprit entre deux composantes logiques : l'ordre et la classe. En regard de cette théorie, l'évaluation portera plus sur les savoirs acquis par l'enfant à travers son propre raisonnement que sur les savoirs transmis.

L'UDNII

L'UDN II (pour Utilisation du nombre) développé par Meljac et Lemmel (1999) est une batterie du traitement numérique, logique et mathématique, inspirée de cette approche théorique. Cinq grandes rubriques sont distinguées. La première porte sur les opérations logiques élémentaires. Ces opérations ne sont pas spécifiques au domaine numérique. En particulier, la classification (selon trois critères successifs), la sériation (de baguettes suivant leur longueur), l'inclusion (d'un sous-ensemble dans un ensemble composé de deux sous-ensembles), et la transitivité (si une forme B est identique à une forme A et qu'une forme C est identique à la forme B, alors que peut-on dire de A par rapport à C ?) sont évaluées. La seconde rubrique porte sur les conservations des quantités discontinues (conservation du nombre) et continues (par exemple celle de la longueur, du poids et du volume). La troisième rubrique porte sur la recherche de l'origine spatiale (utiliser des repères dans l'espace pour découper une ficelle de même longueur qu'un modèle ou découper une surface identique à une autre, ce qui implique de prendre en compte à la fois les dimensions de largeur et de longueur). La quatrième évalue l'utilisation du nombre dans des situations variées, en particulier pour décrire une situation, résoudre des problèmes simples, comparer et transformer des collections (par exemple, constater que deux enfants ont un nombre inégal d'items et découvrir ce que l'on peut faire pour modifier la situation de manière à rétablir l'égalité ou inverser l'inégalité …). Ces sous-tests permettent également d'apprécier les capacités de dénombrement de l'enfant. Enfin, la cinquième rubrique évalue les connaissances des nombres transmises par les apprentissages. En particulier, cette rubrique évalue la compréhension du vocabulaire des quantificateurs (plus que, moins que, …), la connaissance de la suite des nombres, la lecture et l'écriture des nombres et la résolution d'opérations de calculs.

Des normes ont été récoltées sur cinquante enfants par tranche d'âge, entre 4 et 11 ans. Les épreuves sont cotées comme non réussies, réussies ou d'un niveau intermédiaire. L'évaluation est donc plus qualitative que quantitative. Sur base de ces données, des âges clés ont été définis pour chaque épreuve ; ils correspondent au moment où l'épreuve est réussie par plus de 75% des enfants et non réussie par moins de 10% d'entre eux. Cette manière d'analyser les résultats est parfaitement pertinente pour les épreuves piagétiennes telles que la sériation, la conservation ou la compréhension de la transitivité. Toutefois, elle semble moins appropriée pour les épreuves où une évolution plus continue est attendue. Ainsi, par exemple, le sous-test de numération (issu de la rubrique de connaissances) est considéré comme réussi si l'enfant est capable de réciter la chaîne numérique jusqu'à 120 et ne commet pas plus d'une erreur dans la lecture des 16 nombres proposés (items de 1 à 5 chiffres) et dans l'écriture des nombres sous dictée (17 items de 1 à 5 chiffres). Suivant ces critères, l'âge clé est de 9 ans. Avant cela, l'échec à l'épreuve est normal. Or, n'y-a-t-il pas lieu de distinguer l'enfant de 7 ans qui est capable de lire et d'écrire les nombres jusqu'à cent de celui qui n'est capable de le faire que pour les chiffres de 1 à 10 ? Ou, chez le petit de 6 ans, celui qui récite parfaitement les nombres jusqu'à 100 de celui qui n'est capable de compter correctement que jusqu'à 10 ? Le même manque de sensibilité se retrouve dans l'épreuve d'opération. Dans ce cas, le critère de réussite est de ne pas produire plus d'une erreur pour les opérations proposées (additions, soustractions, multiplications et divisions). L'âge clé pour cette épreuve est de 11 ans. Par conséquent, avant cet âge, les capacités de calcul sont quasi indiscernables. Cette batterie est néanmoins très pertinente pour évaluer les capacités logiques de l'enfant et repérer des problèmes de raisonnement général. La rubrique « utilisation du nombre » est également très intéressante chez les petits.

b) La neuropsychologie cognitive de l'adulte

Depuis les années '80, le champ de la cognition numérique s'est extrêmement développé grâce à l'analyse minutieuse des compétences numériques de patients adultes souffrant d'acalculie acquise. Les dissociations observées chez ces patients, entre certains traitements numériques altérés et d'autres préservés, ont amené McCloskey, Caramazza et Basili (1985) à proposer une architecture cognitive pour le calcul et le traitement des nombres. Trois modules indépendants forment la base de cette architecture : un module de compréhension du nombre, un module de production du nombre et un module de calcul. Ces trois modules communiquent entre eux à travers la représentation sémantique du nombre, c'est-à-dire la représentation de la quantité à laquelle le nombre réfère. Le module de compréhension des nombres permet d'élaborer, à partir d'un nombre symbolique (un nombre, soit présenté en chiffres arabes, soit en mots prononcés à haute voix, soit écrit en toutes lettres), une représentation de la quantité correspondante (ou représentation sémantique). Le module de production permet le processus inverse : générer, à partir de la représentation d'une quantité, un nombre exprimé dans un code symbolique donné. Enfin, le module de calcul permet, grâce à des sous-modules spécifiques, de comprendre les symboles arithmétiques (+,-, :, x), de récupérer en mémoire la réponse à un calcul simple (par exemple, 2 + 2 = 4) et de mettre en oeuvre des procédures pour résoudre des calculs dont la réponse n'est pas connue par coeur.

Une des hypothèses fortes du modèle est que tout traitement numérique nécessite la génération intermédiaire d'une représentation sémantique du nombre. Ainsi, même les processus de transcodage, soit les « traductions » d'un nombre présenté dans un code symbolique particulier en un autre (comme dans la lecture de nombres, leur écriture sous dictée …), exigent la génération intermédiaire de la représentation sémantique du nombre à traiter. Ainsi, seuls les nombres que l'on comprend peuvent être lus ou écrits.

Cette hypothèse n'est pas partagée par tous. Par exemple, le modèle de Dehaene (1992) ne suppose pas qu'il soit nécessaire de se représenter la quantité d'un nombre pour le transcoder. Ce modèle diffère également de celui de McCloskey par sa conceptualisation de la représentation sémantique du nombre. En effet, pour McCloskey, cette représentation est précise et s'exprime en base 10 (par exemple, la représentation sémantique de « vingt-cinq » est {2}10exp1, {5}10exp0). Pour Dehaene, en revanche, cette représentation est approximative, analogique et ressemble à une position sur une ligne numérique spatialement orientée avec les petits nombres à gauche et les grands nombres à droite. C'est ce qu'on appelle l'Approximate Number system (ANS). Cette représentation serait innée, présente chez les bébés et même chez certains animaux. En regard de cette hypothèse, cet auteur donnera un poids tout particulier à l'évaluation des traitements numériques non symboliques comme par exemple, la comparaison rapide de deux collections, présentées de manière brève sans possibilité de les dénombrer.

Deux batteries numériques se sont inspirées de ces modèles de la neuropsychologie adulte : le Numerical et le Zareki-R.

Le Numerical

Le Numerical (Gaillard, 2000) est une batterie qui comporte vingt-sept épreuves. Plusieurs d'entre elles sont issues ou adaptées de la batterie EC 301 (Deloche et col., 1993) développée pour tester les acalculies acquises de l'adulte. Trois domaines sont évalués : le traitement des codes symboliques, le calcul et la représentation sémantique. Les épreuves diffèrent également quant aux représentations numériques utilisées : soit des représentations symboliques (nombres verbaux oraux, écrits en toutes lettres ou en chiffres), soit des représentations matérielles (doigts ou jetons), soit des représentations analogiques (compteur de vitesse, droite graduée).

Onze sous-tests évaluent la compréhension des codes symboliques et le passage d'un code à l'autre (processus de transcodage). Il s'agit, par exemple, de lire à voix haute des nombres écrits en toutes lettres ou en chiffres ; de choisir parmi 6 nombres arabes celui qui correspond au nombre dicté ; de déterminer le nombre de chiffres nécessaires pour écrire un nombre présenté en toutes lettres; de séparer par un coup de crayon les énoncés verbaux donnés en toutes lettres pour que, de part et d'autre du trait, se retrouvent des nombres possibles (par exemple, trente sept / deux), …

Cinq sous-tests évaluent le calcul : résolution de calculs oraux relativement simples (impliquant les 4 opérations), de calculs écrits portant sur des nombres ronds (par exemple, 60 + 570), de calculs écrits en colonnes, ou encore, l'invention et la production, orale et écrite, de calculs.

Huit sous-tests évaluent la sémantique numérique. Il s'agit d'épreuves de comparaison de la magnitude de nombres arabes, verbaux oraux ou verbaux écrits ; de choix parmi 22 nombres arabes du plus petit, du plus grand, etc. ; de l'estimation de quantités en contexte (par exemple, « 20 pages dans une lettre, c'est peu, moyen ou beaucoup ? ») ; du positionnement de nombres arabes sur un dispositif analogique de type thermomètre ou compteur de vitesse et enfin, de questions portant sur des connaissances numériques précises (par exemple, « combien de minutes y-a-t-il dans une heure ? »).

Enfin, le test comporte également une épreuve de dénombrement et deux épreuves de comptage, l'une dans le code verbal oral (y compris compter par pas de dix ou de trois) et l'autre dans le code arabe (par exemple, compter de 362 à 373).

Cet outil s'adresse aux enfants de 2ième et 3ième primaire (CE1 et CE2) et a été étalonné sur un échantillon de 280 enfants suisses.

La Zareki-R

La batterie Zareki-R développée par Von Aster et Dellatolas (2005) s'adresse aux élèves de CP (1ière primaire) au CM2 (5ième primaire) avec un étalonnage sur 250 enfants (soit 50 par tranche d'âge). La passation dure de 20 à 45 minutes en moyenne.

L'outil évalue la connaissance de la séquence des nombres, l'aptitude à dénombrer, transcoder (dictée et lecture de nombres), estimer le cardinal d'une collection sans la compter ou une quantité selon le contexte (questions du type « trois pommes sur un pommier, c'est peu, moyen ou beaucoup ? »), comparer des nombres (écrits ou oraux) et des quantités, comprendre le sens des nombres (en les positionnant sur une échelle) et résoudre des petits calculs mentalement (additions, soustractions et multiplications). Par ailleurs, un subtest de répétition orale de chiffres (soit une mesure d'empan de chiffres à l'endroit et à rebours) est également proposé même si la note obtenue à cette dernière épreuve n'intervient pas dans le calcul du score global au test.

Les normes sont disponibles pour chaque épreuve et pour la note globale. En outre, le pourcentage de réussite est disponible pour chaque item pour chaque tranche d'âge.

Cette batterie intéressante donne un profil assez complet des compétences numériques de l'enfant. Toutefois, on peut regretter que l'examen des compétences des petits soit peu détaillé et que, chez les enfants plus grands, des domaines importants, comme la maîtrise de la base 10, la compréhension et la maîtrise des divisions ou de l'écriture fractionnaire, soient absents.

c) La psychologie cognitive développementale

Les années '80 ont également vu apparaître un vaste ensemble de recherches portant sur le développement numérique de l'enfant dans une perspective assez différente de celle de Piaget. Ces recherches ont d'abord mis en évidence les capacités « proto-numériques » des bébés. Ainsi, elles ont montré que les nourrissons sont capables de discriminer des collections qui diffèrent sur le plan numérique et qu'ils réagissent lorsque le résultat d'une opération élémentaire d'ajout ou de retrait est inattendu. Ces recherches se sont également intéressées au développement de processus numériques qui avaient été négligés par Piaget. En particulier, Fuson, Richards et Briars (1982) ont décrit le développement de la chaîne numérique verbale et Gelman et Gallistel (1978) celui du dénombrement de collections. Ces auteurs ont montré le rôle crucial de ces processus dans le développement numérique. Enfin, des auteurs comme Siegler (1987) ont décrit l'évolution des stratégies de résolution des calculs par l'enfant et Fuson et al. (1997) celle de la compréhension de la représentation décimale des nombres. Ces pionniers ont ouverts la voie à un nombre très important de travaux en psychologie cognitive et en neurosciences sur les capacités proto-numériques des bébés et sur le développement des capacités numériques au cours de l'enfance. Un résumé de cette littérature très vaste dépasse le cadre de ce chapitre mais peut être trouvée dans l'ouvrage de Noël et Karagiannakis (2020) ou celui de Fayol (2018), par exemple. Le développement de toutes ces compétences et de leurs interactions permet à l'enfant de se créer un univers numérique de plus en plus riche et cette complexité doit être abordée dans l'évaluation. Plusieurs outils récents se sont développés autour de ces cadres théoriques.

Le Tedi-math

Le Tedi-math (Van Nieuwenhoven, Grégoire & Noël, 2001) est une batterie d'évaluation des premiers développements numériques de l'enfant, de la maternelle à la troisième primaire (CE2). Le cadre théorique sous-tendant cet outil s'inspire des travaux piagétiens sur le raisonnement logico-mathématique de l'enfant, des études plus récentes de la psychologie cognitive du développement et des acquis de la neuropsychologie de l'adulte.

Cinq domaines de la cognition numérique sont considérés: les opérations logiques sur les nombres, le comptage et le dénombrement, les systèmes numériques, la sémantique des nombres et l'arithmétique.

Contrairement à des batteries d'inspiration piagétienne, les opérations logiques sont ici appréhendées dans le domaine numérique uniquement. Ainsi, la sériation porte sur des collections à ordonner suivant leur cardinal ou des chiffres arabes à placer dans l'ordre croissant. De même, dans l'épreuve de classification, il s'agit de grouper les items suivant leur cardinal. Enfin, la même logique est appliquée aux épreuves d'inclusion, de conservation et de décomposition additive. Le sous-test évaluant la maîtrise de la chaîne numérique verbale tient compte des travaux sur le développement du comptage chez l'enfant (Fuson, et al., 1982) et permet d'évaluer à la fois le niveau d'acquisition de l'enfant (en évaluant jusqu'où il peut compter) mais aussi son niveau d'élaboration de la chaîne (peut-il compter avec des bornes inférieures, supérieures, en avant, en arrière). Le sous-test de dénombrement contraste des petites et des grandes collections dans des dispositions en ligne ou aléatoire. Par ailleurs, les questions posées à l'enfant sont conçues de manière à évaluer leur maîtrise des principes sous-jacents au dénombrement, tels que mis en évidence par Gelman et Gallistel (1978). L'évaluation de la maîtrise des systèmes numériques s'inspire largement des modèles théoriques issus de la neuropsychologie de l'adulte et en particulier de celui de McCloskey et col. (1985). Des épreuves variées permettent d'évaluer les processus de compréhension des nombres arabes et verbaux oraux (dans une tâche de jugement de grammaticalité, de décision numérique orale ou encore de comparaison de nombres oraux, par exemple) et les processus de transcodage (lecture et écriture de nombres arabes). L'accès à la sémantique du nombre est appréhendé à travers différentes épreuves de comparaison de la grandeur de deux nombres et par un sous-test abordant la compréhension et le raisonnement sur la base 10 de notre système numérique. Enfin, la dernière section de sous-tests évalue les opérations arithmétiques. Les calculs proposés utilisent des opérations variées (addition, soustraction, multiplication), des degrés de complexité divers (calculs sur des nombres inférieurs à 5, entre 5 et 9, nombres à deux chiffres), des modes de présentation de plus en plus abstraits (calculs avec support imagé, calculs avec inconnue en position finale (2+2=?) ou calculs lacunaires (?+5=8)) et puis de la résolution de problèmes. Un sous-test vise aussi à évaluer les connaissances conceptuelles des enfants, c'est-à-dire leur compréhension des propriétés des opérations (par exemple, la commutativité de l'addition, le lien entre addition et soustraction, etc.).

Il s'agit donc d'une batterie de diagnostic détaillée. Son administration prend entre 1 et 2 heures. La variété des exercices, leur caractère ludique et l'attractivité du matériel la rendent agréable pour l'enfant. L'outil a été étalonné sur une population de 583 enfants belges francophones et français. Ces enfants fréquentaient les classes de 2ième maternelle jusqu'aux classes de troisième primaire (CE2 en France). Les données ont été récoltées en début et fin d'année scolaire de manière à obtenir des normes plus fines. Cet outil permet un diagnostic des difficultés en mathématique dès le plus jeune âge mais se limite aux enfants dont le niveau d'acquisition en mathématique ne dépasse pas celui de la troisième année primaire. Notons également que le manuel qui accompagne cette batterie offre une synthèse des perspectives théoriques concernant les dimensions testées.

Le Tedimath Grands

La batterie Tedimath Grands (Noël & Grégoire, 2015) est une batterie standardisée et théoriquement fondée, développée dans la suite de la Tedi-math. Les normes ont été recueillies sur 5 niveaux scolaires allant du CE2 ($3^{ième}$ primaire en Belgique) à la 5ième ($1^{ière}$ secondaire en Belgique), avec, pour chacun de ces niveaux, une cinquantaine d'enfants.

Cette batterie évalue quatre grands domaines de la cognition numérique: le traitement des nombres, le calcul, la résolution de problèmes et la géométrie. Certaines de ces domaines sont évalués par plusieurs subtests, certains sont de type papier-crayon et d'autres informatisés (voir Tableau 1).

Tableau 1 : structure de la batterie Tedimath Grands

Domaine du traitement des nombres

- Subtest informatisé I : Subitizing
- Subtest informatisé II : Comparaison de collections
- Subtest informatisé III : Comparaison de nombres arabes
- Subtest papier-crayon 1.A : Transcodage
- Subtest papier-crayon 1.B : Compréhension du syst.me positionnel en base 10
    - Sous-échelle 1.B.1 : Unités
    - Sous-échelle 1.B.2 : Calcul
- Subtest papier-crayon 1.C : Fractions

Domaine du calcul

- Subtest informatisé IV : Multiplication
- Subtest informatisé V : Soustraction
- Subtest papier-crayon 2.A : Calcul mental
    - Sous-échelle 2.A.1 : Additions
    - Sous-échelle 2.A.2 : Soustractions
    - Sous-échelle 2.A.3 : Multiplications
    - Sous-échelle 2.A.4 : Divisions
- Subtest papier-crayon 2.B : Connaissances conceptuelles
- Subtest papier-crayon 2.C : Calcul écrit

Domaine de la résolution de problèmes

Domaine de la géométrie

- Subtest papier-crayon 4.A : Vocabulaire géométrique
- Subtest papier-crayon 4.B : Système métrique
    - Sous-échelle 4.B.1 : Utilisation et conversion d'unités de mesure
    - Sous-échelle 4.B.2 : Recherche de l'unité de mesure appropriée
- Subtest papier-crayon 4.C : Calculs de périmètre, aire, volume

- Subtest papier-crayon 4.D: Raisonnement visuo-spatial

En particulier, l'échelle des nombres comporte trois subtests informatisés et trois subtests papier-crayon. Parmi les premiers, on trouve deux subtests évaluant les capacités de perception de la numérosité : une tâche de subitizing (une petite collection est présentée de manière très brève et l'enfant doit en déterminer le cardinal sans avoir le temps de compter) et une tâche de comparaison de deux collections (à nouveau présentée de manière très brève pour ne as permettre le comptage). Le troisième subtest informatisé évalue la vitesse d'accès à la représentation sémantique du nombre à partir des codes symboliques : deux chiffres arabes sont présentés à l'enfant et il doit sélectionner le plus rapidement possible le plus grand d'entre eux. Les autres épreuves sont de type papier-crayon. Le subtest Transcodage demande à l'enfant de passer du code verbal oral au code écrit en chiffres arabes. Les premiers items du test sont des nombres naturels (de 3 à 6 chiffres), les derniers, des nombres décimaux dictés sous la forme « x unités x dixièmes x centièmes. Deux autres subtests évaluent la maîtrise du système positionnel en base 10 l'un où l'enfant doit déterminer la valeur positionnelle représentée par un chiffre souligné dans un nombre (subtest Unité), l'autre où il doit résoudre des calculs dont la difficulté majeure réside dans la compréhension de l'aspect positionnel des nombres (par exemple, 500 :10, subtest Calcul). Enfin, le dernier subtest évalue la compréhension des fractions, par exemple, en demandant à l'enfant d'entourer la portion d'une collection ou d'une forme correspondant à une fraction donnée, de déterminer une équivalence de fractions ou bien de réaliser des calculs sur des nombres fractionnaires.

L'échelle de calcul comporte deux subtests informatisés mesurant la vitesse de résolution de petits calculs (soustractions et multiplication), puis six subtests papier-crayon. Quatre d'entre eux mesurent la capacité de l'enfant à réaliser mentalement des calculs. Les calculs présentés relèvent des 4 opérations arithmétiques de base et sont de complexité croissante. Un subtest mesure le calcul écrit : l'enfant doit poser le calcul et le résoudre. Pour chacune des 4 opérations arithmétiques, 3 calculs de difficulté croissante sont proposés, les plus complexes incluent par exemple des retenues ou emprunts et des nombres décimaux. Le dernier, subtest *Connaissances conceptuelles*, évalue la compréhension par l'enfant des propriétés des opérations arithmétiques (comme par exemple, le rapport entre l’addition et la soustraction, ou la commutativité de la multiplication).

Le domaine de la résolution de problème est évalué par un seul subtest dans lequel différents types de problèmes (des problèmes de type changement jusqu’à des problèmes de type proportionnel) sont proposés. Certains de ces problèmes nécessitent une contextualisation de la réponse, ou encore, le tri entre les informations pertinentes ou pas pour résoudre le problème, d’autres requièrent avec plusieurs sous-étapes de résolution.

La batterie Tedimath Grands est un des très rares batteries à s’intéresser au domaine de la géométrie. Quatre subtests papier-crayon visent ce domaine. Dans le subtest Vocabulaire géométrique, il s’agit de dénommer des formes (par exemple un carré ou un cercle) ou des parties de forme (par exemple, la médiane du rectangle). Le subtest Systèmes métriques comprend deux sous-échelles : Utilisation et conversion d’unités de mesure et Recherche de l’unité de mesure appropriée. Ce subtest permet de voir si l’enfant à une certaine notion de ce que représentent les unités de mesure comme le mètre, le gramme, ou le km^2. Dans le premier subtest, l’enfant doit passer d’une unité de mesure à une autre (par exemple, des *cm* au *m*), celles-ci allant d’unités de longueur, à des unités de surface et enfin des unités de volume. Le deuxième subtest évalue les capacités de l’enfant à produire l'unité de mesure adéquate en fonction du contexte (par exemple, la distance entre Paris et Bruxelles est de 260 … *km*, alors que la hauteur de la porte de mon bureau est de 240 … *cm*). Le subtest Calculs de périmètre, aire, volume demande vérifie si l’enfant est capable de distinguer, de calculer et de trouver la bonne unité de mesure pour les périmètres, aires et volumes. Enfin, le subtest Raisonnement visuo-spatial mesure la capacité de l’enfant à raisonner et non plus à calculer, à partir de formes. Ce raisonnement peut se baser sur l’observation d’axes de symétrie ou de translations, ou de visualisation d’une forme dessinée en 2 D dans sa version 3 D etc.

Dans chacun de ces subtests, des analyses de Rash ont permis d’évaluer la difficulté des items et de sélectionner sur cette base, les items les plus discriminants. Dans chaque épreuve, les items sont présentés du plus simple au plus ardu, ce qui permet à l’examinateur de stopper l’administration d’un subtest après quelques échecs successifs. Cette organisation donne également au clinicien une vision de la trajectoire développementale qu’il devra suivre avec l’enfant au cours de la rééducation. Au terme de l’évaluation, le clinicien peut avoir une vision précise des forces et des faiblesses de l'enfant et peut ainsi cibler son intervention. La plateforme informatique du test produit directement le profil de l'enfant en comparaison aux normes.

Ce test permet donc d'évaluer les performances numériques des enfants sous l'angle des acquis scolaires dans 4 grands domaines mais aussi les compétences numériques de base considérées comme fondatrices des apprentissages numériques (batterie informatisée). Les mesures de fidélité sont bonnes pour presque tous les subtests et très bonnes pour chacun des scores composites des grands domaines évalués : Nombre, Calcul, Résolution de problèmes et Géométrie et ce, pour toutes les années scolaires. Un manuel rappelant l'état des recherches sur les dimensions testées est fourni et guide le clinicien dans la compréhension des résultats.

L'Examath 8-15

L'Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) est une batterie d'évaluation entièrement informatisée qui propose un très large éventail de subtests pour les enfants de 8 à 15 ans. La passation complète de la batterie prend entre 1h30 et 2h pour les enfants de primaire et entre 2h30 et 3h30 pour les adolescents. En effet, pour les enfants plus jeunes, 20 épreuves sont disponibles et le double pour les enfants plus grands. Il est donc conseillé de ne pas administrer la batterie complète mais de se baser sur la plainte pour sélectionner les subtests à administrer. La normalisation a été réalisée en France sur un large échantillon de plus de 70 enfants pour les 5 niveaux scolaires suivants (le niveau équivalent belge est mis entre parenthèses): CE2 (3$^{\text{ième}}$ primaire), CM1 (4$^{\text{ième}}$ primaire), CM2 (5$^{\text{ième}}$ primaire), 6$^{\text{ième}}$-5$^{\text{ième}}$ (6$^{\text{ième}}$ primaire et 1$^{\text{ière}}$ humanité) et 4$^{\text{ième}}$ -3$^{\text{ième}}$ (2$^{\text{ième}}$-3$^{\text{ième}}$ humanités).

La batterie comprend 6 modules. Il serait trop long ici de détailler chacune des épreuves relevant de chacun des modules mais nous en donnerons un aperçu global.

Le premier module évalue les habiletés numériques de base. Il s'agit par exemple, de comparer la grandeur de deux collections de points, de déterminer le nombre de points d'une petite collection présentée rapidement (ou subitizing) ou d'estimer la quantité d'une large collection sans la compter. D'autres subtests demandent de comparer la grandeur de deux nombres arabes (de 1 à 2 chiffres), de déterminer si un nombre arabe correspond ou pas à une petite collection d'items (de 1 à 8 éléments), de placer un nombre arabe sur une ligne allant de 0-100 ou de 0-1000. Le même type de subtests est également disponible avec le code verbal oral. Un autre subtest présente quelques faces de dé (par exemple, la face avec 5, 4 et 3) et l'enfant doit dire il y en a combien en tout, soit en comptant, soit en calculant. Enfin, un subtest propose d'estimer si un nombre représente « peu », « moyen » ou « beaucoup » selon le contexte proposé.

Le second module évalue la numération. Il s'agit par exemple, de lire ou d'écrire sous dictée des nombres arabes de 1 à 7 chiffres, de répéter des grands nombres. Des épreuves testent la compréhension du système positionnel des nombres arabes (par exemple, répondre à des questions sur le chiffre des unités, des dizaines ou des centaines d'un nombre, choisir parmi plusieurs la bonne décomposition d'un nombre arabe (par exemple, 253=2+5+3 ou 25+3 ou 200+50+30 ou 200+50+3) et la représentation en base 10 (en passant d'un code analogique en base 10 au code arabe). Pour les enfants plus grands, une série de subtests vise aussi les nombres fractionnaires et décimaux. Il s'agit par exemple, de faire le lien entre une représentation partie / tout imagée (par exemple la moitié de tarte) et la fraction symbolique ou le nombre décimal correspondant, de positionner des nombres fractionnaires sur une ligne graduée ou encore, de comparer la magnitude de 2 fractions.

Le troisième module vise l'arithmétique. Pour les enfants des 3 groupes plus jeunes, trois épreuves sont proposées : des opérations sur du matériel imagé, une fluence arithmétique dans laquelle il s'agit de résoudre un maximum de petits calculs (addition, soustraction et multiplication) en une minute et la réalisation d'opérations de calculs écrits (addition, soustraction et multiplication). A cela, s'ajoutent d'autres subtests pour les enfants plus grands : vérifier le résultat de petits calculs (correspondant à des faits arithmétiques) dans les 4 opérations, fluence arithmétique pour la division, calcul mental complexe, estimation de la plausibilité d'un résultat proposé pour u calcul et enfin, résolution de quelques calculs sur des nombres fractionnaires.

Le quatrième module concerne les mesures. Il s'agit par exemple, de trouver l'unité de mesure appropriée (par exemple, la hauteur d'une échelle c'est 4 …), juger de l'équivalence de certaines mesures (par exemple, 4000 m et 4 km), comparer des mesures, ou encore résoudre des problèmes qui nécessitent la compréhension ou la conversion d'unités de mesures.

Le cinquième module concerne la résolution de problèmes. Des problèmes de différents types sont proposés (combinaison, transformation, comparaison, proportionnalité, comparaison) ainsi que des problèmes composés c.à.d. comprenant plusieurs étapes de résolution.

Enfin, le sixième module évalue le raisonnement et le langage en testant la capacité des enfants à réaliser des inférences, à comprendre le lexique mathématique (par exemple, les mots « inférieur » ou « multiple) et à juger si un énoncé correspond à un problème qu'il est possible ou impossible de résoudre et le cas échéant, d'indiquer les données manquantes pour résoudre le problème.

Cette batterie couvre donc un spectre d'habilités mathématiques très large et présente de bonnes qualités psychométriques. Par ailleurs, le manuel qui l'accompagne est bien détaillé et guide le clinicien dans la compréhension des résultats.

5. L'intégration de l'examen du calcul au bilan cognitif

Les outils approfondis présentés dans la section précédente tentent d'évaluer de manière assez isolée les différents processus et représentations intervenant dans le domaine numérique. Toutefois, les résultats observés à ce genre d'épreuves ne peuvent être interprétés de manière isolée, indépendante d'une perspective plus générale sur le fonctionnement cognitif global de l'enfant. Ainsi, par exemple, des erreurs éparses dans le bilan, provenant d'une réponse qui semble trop rapide et non réfléchie de l'enfant, et qui ne se reproduisent plus quand le même item est représenté plus tard dans l'évaluation, peuvent amener le clinicien à considérer l'existence de problèmes d'inattention ou d'impulsivité.

Des erreurs apparaissant surtout en fin de bilan quand l'enfant semble fatigué peuvent faire penser à des difficultés d'attention soutenue. Le clinicien devra également suspecter un problème d'inhibition si l'enfant échoue dans le comptage à rebours parce qu'il reprend la chaîne dans le sens habituel (en avant) ; s'il ne peut respecter la consigne d'arrêt à la borne supérieure dans le comptage alors que la borne inférieure est respectée ; ou encore, si, dans la résolution de problèmes, il semble activer une procédure de calcul erronée mais déclenchée par des mots clés particuliers (par exemple, le mot « de plus » active automatiquement l'addition dans le problème suivant « Jean a trois pommes. Il en a deux de plus que Pierre. Combien de pommes a Pierre? »). Des erreurs apparaissant surtout dans les épreuves contenant de longs énoncés oraux (écriture de nombres sous dictée, comparaison de nombres présentés oralement, résolution de problèmes présentés oralement …) devront amener à considérer un problème de mémoire à court terme. Ainsi, l'enfant qui sélectionne le mauvais nombre dans la comparaison de nombres oraux est-il capable de les rappeler ? Parfois même, la réponse que l'enfant produit ne correspond à aucun des nombres de la paire initiale (par exemple, qu'est-ce qui est le plus grand, « trois cent vingt-neuf » ou « six cent trente-deux » ? réponse de l'enfant « six cent vingt-neuf »).

Si les erreurs se concentrent sur des tâches à forte composante visuo-spatiale (comme le dénombrement de grandes collections disposées de manière aléatoire, le positionnement d'un nombre sur une échelle analogique), il est important de vérifier les capacités de traitement visuo-spatial de l'enfant et leur rôle éventuel dans les erreurs produites. Il est par exemple intéressant de comparer les performances de l'enfant dans le dénombrement de collections de même taille mais présentées de manière linéaire plutôt qu'aléatoire ; ou bien de voir si un contraste apparaît dans les tâches testant la représentation de la magnitude du nombre selon que celles-ci impliquent un traitement visuo-spatial important (positionnement de nombres sur une échelle ou un compteur de vitesse) ou non (par exemple, comparaison de nombres, choisir parmi deux nombres le plus proche numériquement d'une cible, …).

Enfin, des difficultés importantes dans les opérations logiques doivent faire suspecter un problème de raisonnement plus global. Une mesure de QI sera donc judicieuse.

On le voit donc de manière évidente : le bilan calcul doit être interprété en lien avec un bilan plus complet du fonctionnement cognitif de l'enfant de manière à cibler les difficultés réellement numériques. Inversement, des difficultés de calcul peuvent parfois amener à orienter le bilan neuropsychologique vers des domaines moins couramment évalués. En particulier, l'agnosie digitale peut-être associée à une difficulté d'apprentissage des mathématiques et, en particulier, à une difficulté à utiliser de manière efficiente ses doigts dans les premiers apprentissages. Des difficultés de mémoire de travail (et plus spécifiquement au niveau de l'administrateur central) ainsi qu'au niveau visuo-constructif sont également souvent associées à la dyscalculie.

Rappelons enfin que selon le DSM 5 (American Psychiatric Association, 2016), la dyscalculie (incorporée dans cette classification parmi les *Troubles des apprentissages*) ne peut être diagnostique que si plusieurs critères sont rencontrés. D'abord, les difficultés rapportées doivent perturber les performances scolaires ou la vie quotidienne et être persistantes (au moins 6 mois), malgré la mise en place de mesures pour soutenir l'apprentissage. Ces aspects seront abordés lors de l'anamnèse. D'autre part, les difficultés doivent être avérées et attestées par une évaluation quantifiée. L'administration d'une batterie d'évaluation au patient permet d'évaluer la présence de ce critère. Enfin, il s'agit de déterminer si les difficultés ne peuvent pas être mieux expliquées par un autre problème comme par exemple, un handicap intellectuel, un trouble neurologique ou psychosocial, une déficience visuelle ou auditive non corrigée, un manque de maitrise de la langue d'enseignement, une pédagogie inadéquate. C'est pour évaluer ce dernier critère qu'un bilan intellectuel ou plus largement un bilan neuropsychologique sont souvent recommandé.

6. Illustration de la démarche évaluative

a) Louis : Tedi-math

Nous avons rencontré Louis au mois de février alors qu'il était en deuxième primaire (CE1). Il avait 7 ans et demi et consultait pour des difficultés scolaires en mathématiques. Il était déjà suivi depuis un an par une logopède (orthophoniste) pour ses difficultés en calcul. Il bénéficiait aussi d'un suivi neuropsychologique pour des difficultés attentionnelles et d'inhibition. Dans son anamnèse, on relève la présence de crises d'épilepsie à 8 mois et à deux ans.

Le Tedi-math a été administré. Cette batterie a montré que Louis présentait des difficultés importantes dans presque tous les domaines. Au niveau de la perception des numérosités, il produit des erreurs dans la comparaison de collections présentées brièvement (pourcentages cumulés ou pc 0) mais peut répondre parfaitement si les collections sont présentées pendant un temps illimité. Les opérations logiques ne sont pas acquises (pc 0 pour un début de 2ième primaire, pc 60 pour une fin de maternelle). Ainsi, la sériation est erronée avec les collections d'arbres mais réussie avec les chiffres arabes. Dans l'exercice de classification, Louis ne découvre pas le critère numérique et, quand celui-ci lui est donné, il est incapable de l'utiliser. La conservation n'est pas acquise : Louis reconnaît l'égalité lorsque les deux rangées sont en correspondance spatiale mais il considère que cette égalité disparaît lorsque la disposition spatiale d'une des collections est modifiée. Enfin, l'inclusion numérique et la décomposition additive ne sont pas acquises non plus.

Les compétences de comptage de Louis sont faibles (pc 10 pour un début de 2ième primaire) : il peut compter correctement jusqu'à 31 (au deuxième essai), il peut respecter des bornes inférieures et supérieures (par exemple, compter à partir de 5 jusqu'à 9). Le comptage à rebours en revanche, est très difficile : Louis démarre vers l'avant (probablement à cause de ses difficultés d'inhibition) et même une amorce ne l'aide que de façon temporaire (avec l'amorce « 15,14 », il poursuit par « 13,12,10, 11,12, 13,… »). Le comptage par pas de 2 et par pas de 10 est correct mais demande une amorce (la consigne n'étant pas comprise).

Le dénombrement est correct et Louis montre une bonne maîtrise des principes sous-jacents au dénombrement. En revanche, il ne réussit pas les deux épreuves testant l'utilisation fonctionnelle du comptage. Dans la première, où il s'agit de construire une collection numériquement équivalente à un modèle, il se base sur la configuration spatiale des éléments plutôt que sur leur nombre. Dans la seconde, basée sur le principe de correspondance terme-à-terme, il présente un raisonnement correct mais produit une erreur de dénombrement. Si on ne tient pas compte de cette dernière erreur de performance, il obtient un score qui le situe à un pc 45 pour un début de 2ième primaire. Les systèmes numériques verbaux et oraux sont partiellement maîtrisés jusqu'à cent. Louis est capable d'écrire les nombres jusqu'à cent. Au-delà, il produit des erreurs de lexicalisation totale (cent neuf est écrit 1009, neuf cent cinquante et un est écrit 9100501). Il lit presque tous les nombres inférieurs à 100 (mais 47 est lu « quatre septante »). Pour les nombres plus grands, il décompose l'item (par exemple, 105 est lu « dix cinq », 567 est lu « cinquante-six sept », 400 est lu « quarante »). Ces résultats sont déficitaires (écriture : pc 5 pour un début de 2ième primaire, lecture : pc 0 pour un début de 2ième primaire). Ces transcodages semblent utiliser une voie asémantique. En effet, l'accès à la magnitude des nombres est problématique puisque Louis produit de nombreuses erreurs dans la comparaison de nombres arabes (pc 10 pour un début de 1ière primaire) et de nombres verbaux oraux (pc 5 pour un début de 2ième primaire). En outre, Louis n'a pas conscience de l'organisation en base 10 des nombres (pc 0).

D'importantes difficultés sont également observées en arithmétiques. L'opération d'addition est comprise de manière limitée et sa résolution passe par une stratégie très immature de comptage du tout sur les doigts qui ne fonctionne que quand les termes sont inférieurs ou égaux à 5. La soustraction n'est comprise que dans un contexte avec support imagé ou une résolution de problème. Lorsque la situation est présentée en chiffres avec un signe opératoire (même si le calcul est lu à voix haute), l'enfant ne peut mettre en oeuvre de stratégie correcte. Ses performances sont complètement déficitaires pour son niveau scolaire (voir tableau 2).

Tableau 2 : pourcentages cumulés correspondant aux performances de Louis dans les sous-tests calculs.

	Pourcentages cumulés pour un début de 1ière primaire	Pourcentages cumulés pour un début de deuxième primaire
opérations avec support imagé	Pc 5	-
additions simples en chiffres	Pc 25	Pc 0
additions lacunaires	Pc 30	Pc 0
soustractions simples	Pc 55	Pc 0
résolution de problèmes verbaux	Pc 55	Pc 0

Enfin, la différenciation des doigts sans la vue (mesure de gnosie digitale) n'est pas suffisamment développée (lorsque deux doigts sont touchés simultanément, Louis obtient un score correspondant à un pc 15 pour des enfants de 2ième primaire ; dans le cas de touches successives, il obtient des performances correspondant à un pc 5 pour des enfants de 2ième primaire).

En résumé, le niveau de développement numérique de Louis correspond plus ou moins à celui d'un enfant débutant une première année primaire. Suivre un programme de deuxième n'est donc ni adapté, ni bénéfique pour lui. Une prise en charge paraît absolument nécessaire. Dans un premier temps, ce travail devrait se concentrer sur la compréhension de la valeur cardinale du nombre, sur les comparaisons de nombres, sur la différenciation entre les modifications qui affectent le cardinal d'un nombre (ajout, retrait) et celles qui ne l'affectent pas (modification spatiale et décomposition additive).

Par ailleurs, le profil globalement bas nous fait craindre un problème plus général de raisonnement. L'échelle de la KABC (Kaufman & Kaufman, 1993) montre effectivement un niveau très bas dans toutes les échelles (moyenne attendue: 100+15) : processus séquentiels (note standard de 66), processus simultanés (note standard de 53), processus mentaux (note standard de 51), connaissance (note standard de 71) et de manière plus importante encore dans les épreuves non verbales (note standard de 44). Au vu de ce profil globalement bas, une orientation vers un enseignement de type spécialisé est recommandée.

b) Philippe : Tedi-math

Nous avons vu Philippe lorsqu'il avait 6 ans 11 mois. Cet enfant nous était envoyé par un neuropédiatre qui avait posé le diagnostic d'hyperactivité. Au moment de notre premier rendez-vous, Philippe recommençait sa première année primaire (CP), essentiellement parce que ses résultats en mathématiques étaient insuffisants. L'examen s'est déroulé en deux séances d'une heure. Malgré la motivation très moyenne de Philippe à venir chez nous, il a pu maintenir son attention pendant toute l'évaluation. Le profil des pourcentages cumulés correspondant à ses performances aux différents sous-tests de la batterie est présenté dans le tableau 3 ci-dessous. Ses scores ont été comparés à la fois à ceux d'enfants de même niveau scolaire (début de première primaire) et à ceux d'enfants de même âge chronologique (fin de première primaire).

Tableau 3 : pourcentages cumulés (pc) correspondant aux performances de Philippe dans les sous-tests de la batterie Tedi-math.

Sous-tests	pc Début 1ière primaire	pc Fin 1ière primaire
Opérations logiques	65	30
Estimation	80	60
Comptage	90	55

Dénombrement	**15**	**5**
Système numérique arabe	100	**15**
Système numérique oral	35	**15**
Transcodage	55	**10**
Système en base 10	-	-
Arithmétiques: items imagés	25	**10**
Arithmétique: items en chiffres	**5**	**< 5**
Arithmétique: problèmes	80	55
Arithmétiques: concepts	-	-

Philippe obtient un profil de performance hétérogène. Il ne s'agit donc pas d'un retard global en mathématiques mais de difficultés concernant certains domaines spécifiques.

La chaîne numérique verbale de Philippe présente un niveau d'acquisition et d'élaboration suffisant à la fois pour son âge et son niveau scolaire actuel. En effet, même s'il omet le "29" dans sa première production, Philippe est capable de compter correctement de 1 à 31. Il est également capable de compter à partir d'une borne inférieure différente de un et de compter en respectant à la fois une borne inférieure et une borne supérieure. Le comptage à rebours est possible à partir de 7 mais il est source d'erreurs à partir de 15 (erreur de sens "15,14,13,11,12,10" et omission du 6).

Ses performances dans les épreuves évaluant les systèmes numériques correspondent à un niveau moyen pour un début de première primaire mais à un niveau faible en comparaison à des enfants de fin de première primaire. Il réussit parfaitement les sous-tests relatifs au traitement des nombres arabes lorsqu'il s'agit des unités, des dizaines et des particuliers. En revanche, la comparaison de deux nombres dizaine-unité est basée systématiquement sur le choix de celui qui comporte le plus grand chiffre, même si ce dernier est en position d'unité (par exemple, 32 - 28). Les sous-tests relatifs au code verbal oral sont moyennement réussis: Philippe produit quelques erreurs dans l'épreuve de jugement de grammaticalité et dans la comparaison de nombres. Le transcodage est bon pour les nombres inférieurs à vingt, à l'exception du chiffre 5 qui est écrit en miroir.

Les difficultés majeures de Philippe apparaissent dans les épreuves de dénombrement et dans celles de calcul. En effet, lorsqu'il doit dérouler sa chaîne numérique verbale pour dénombrer une collection, Philippe produit, à plusieurs reprises, une réponse fausse. Ses erreurs ne viennent pas d'une énonciation incorrecte de la chaîne numérique mais d'une difficulté à coordonner l'énonciation de la chaîne et le pointage des éléments de la collection. Par ailleurs, son appréhension globale de la quantité n'est pas toujours exacte. Ainsi, devant une collection de cinq animaux, Philippe déclare qu'il y en a quatre mais peut rectifier sa réponse lorsqu'on lui demande de compter en "mettant son doigt sur chaque animal". Enfin, dans la planche hétérogène comportant trois animaux d'un type et deux d'un autre type, Philippe tente d'additionner trois et deux sur ses doigts et arrive à un total de quatre. Malgré ces nombreuses erreurs, Philippe montre une bonne maîtrise des principes du dénombrement. Les deux épreuves testant l'utilisation fonctionnelle du comptage sont parfaitement réussies elles aussi.

Les difficultés de coordination pointage-énonciation rencontrées dans le dénombrement affectent également Philippe dans les activités évaluant les opérations logiques sur les nombres. Ainsi, dans l'épreuve de sériation, il compte quatre arbres sur une image qui en comporte cinq. Dans la tâche de classification, le critère numérique lui apparaît directement comme étant pertinent, mais, là aussi, il éprouve certaines difficultés liées notamment au fait qu'il ne se souvient plus du cardinal typique des groupes déjà formés. Enfin, dans la tâche d'inclusion aussi, ses difficultés de dénombrement perturbent son travail: Philippe doit introduire un certain nombre de jetons dans une enveloppe. Quatre jetons sont visibles sur la table, il les dénombre et arrive à un total de cinq ! Malgré ces difficultés, Philippe montre des capacités normales de sériation, de classification et d'inclusion numérique. Les épreuves de conservation numérique sont également bien réussies et une justification logique est donnée dans les deux situations. En revanche, la décomposition additive n'est pas réussie. Philippe ne peut penser qu'en termes de combinaisons équivalentes n & n. Ainsi, il indique bien que six peut être décomposé comme trois et trois, mais ne peut produire que d'autres décompositions, fausses, du type n et n (deux et deux, puis quatre et quatre).

Comme le suggérait déjà la tâche de décomposition additive, l'arithmétique est l'autre lieu de difficulté pour Philippe. Mais là aussi, une hétérogénéité apparaît dans le profil. Philippe réussit toutes les opérations avec support imagé sauf une pour laquelle il compte sur ses doigts et produit une erreur de dénombrement. Les calculs en chiffres, par contre, sont extrêmement mal réussis. Philippe est incapable de comprendre les énoncés de calculs lacunaires et ceux de soustractions (même si cet énoncé est lu à haute voix). Seules quelques additions simples sont résolues. Dans ce dernier cas, il répond rapidement à quelques petits calculs et à des calculs du type n + 0, tente une stratégie de comptage du tout sur les doigts pour quelques autres, mais échoue lorsque la somme est supérieure à dix … faute d'un nombre de doigts suffisant pour représenter l'ensemble des éléments du problème. Enfin, les problèmes verbaux sont mieux réussis. Il obtient ici un score 6/8, ce qui est bien supérieur à sa performance dans les calculs identiques présentés sous forme de chiffres (score de 2/8). Philippe a donc besoin de se référer à une réalité concrète pour mettre en oeuvre des stratégies de résolution des calculs.

En résumé, Philippe a terminé une première année primaire sans pouvoir en retirer beaucoup de fruits. Comparés aux enfants du même âge, ses acquis en terme de calcul et de maîtrise des systèmes numériques sont faibles. Si on le compare maintenant aux enfants qui, comme lui, vont débuter une première primaire, des difficultés apparaissent surtout à deux niveaux: le dénombrement et l'arithmétique. Philippe semble en effet avoir bien compris les principes sous-jacents au dénombrement mais éprouver des difficultés dans la coordination énonciation-pointage. En ce qui concerne l'arithmétique, Philippe ne conçoit les décompositions d'un nombre qu'en parties égales. Dans les calculs, il reste dépendant de situations concrètes pour pouvoir mettre en oeuvre des stratégies de calcul et est très peu performant lorsque les calculs sont présentés en chiffres. Enfin, les stratégies de calcul qu'il met en oeuvre sont immatures et s'avèrent inadéquates pour les additions dont la somme dépasse dix. Un travail de remédiation à ces deux niveaux devrait donc être mis en place pour donner à Philippe toutes ses chances de réussir cette fois son année scolaire.

c) Lucie : Tedimath grands

Lucie a 14 ans lorsqu’elle vient en consultation pour un bilan des compétences numériques. Elle est en deuxième année secondaire, milieu de l’année, en enseignement général en Belgique (ce qui correspond à la 4ième collège en France) dans une école assez exigeante. Elle n’a jamais doublé, mais rapporte avoir eut des difficultés en mathématiques depuis la première année primaire (CP). Elle aurait aussi des difficultés pour comprendre les consignes et, dans le cours de français, pour gérer les règles en grammaire et en conjugaison. Ses forces sont les langues, le dessin, le sport. Elle aime aussi les sciences. L'examen a duré 2h30 et n'a comporté que la batterie papier. Lucie était donc extrêmement lente ! Elle s'est néanmoins impliquée tout au long de l'examen même si elle n'était pas très enthousiaste. Ses performances seront comparées à celles des enfants de première secondaire en Belgique, soit des enfants un an plus jeunes qu'elle, puisqu'il n'y a pas de normes pour son niveau scolaire (voir tableau 4).

Tableau 4. Résultats de Lucie à la batterie Tedimath grands : notes brutes et notes standard (moyenne 10 ± 3).

Batterie papier- crayon	Note brute	Note standard
Partie I : Nombres		
Echelle 1 : Transcodage	7	4
Echelle 2 : Système positionnel en base 10		
Subtest 1 : Unités	6	14
Subtest 2 : Calcule	11	8
Echelle 3 : Fractions	7	9
Total partie Nombres	Σ des NS=35	92
Partie II : Calcul		
Echelle 1 : Calcul mental		
Subtest 1 : Additions	8	12
Subtest 1 : Soustractions	5	8
Subtest 1 : Multiplications	4	9
Subtest 1 : Divisions	4	8
Echelle 2 : Connaissances conceptuelles	4	2
Echelle 3 : Calcul écrit – réponses	6	7
- position	10	2
Total partie Calcul	Σ des NS=46	84
Partie III : Résolution de problèmes	15	12

Partie IV : Géométrie		
Echelle 1 : Vocabulaire géométrique	9	11
Echelle 2 : Système métrique		
Subtest 1 : Utilisation et conversion d'unités de mesure	6	9
Subtest 2 : Recherche de l'unité de mesure appropriée	8	12
Echelle 3 : Périmètre – aire - volume	2/5	6
Echelle 4 : Raisonnement visuo-spatial	10	13
Total partie Géométrie	Σ des NS=40	86

Pour la partie Nombres de la batterie, Lucie obtient des performances dans la norme (des enfants un an plus jeunes), sauf en ce qui concerne le transcodage (NS de 4, score déficitaire). Sur le plan qualitatif, sa compréhension du système positionnel des nombres arabes est faible : elle produit des erreurs syntaxiques dans l'écriture de grands nombres entiers (9013 au lieu de 90 013 ; 60014 au lieu de 600 014 et 43180 au lieu de 431 080); elle est incapable d'écrire sous dictée un nombre décimal (par exemple, « une unité deux dixièmes »). Dans le calcul avec des nombres décimaux, elle traite la partie décimale comme s'il s'agissait de nombres entiers (par exemple : 0,6 + 0,8 = 0,14 ; 6 x 0,7 = 0,42 ; 0,3 + 0,12 = 0,15). La compréhension des fractions mériterait aussi d'être consolidée. En effet, même si les performances de Lucie sont dans la norme (NS de 9), on note un manque d'aisance. Quand il s'agit de colorier la fraction d'une forme ou d'une collection, Lucie hésite ou se trompe quand le dénominateur ne correspond pas au nombre de parts dessinées (comme quand il s'agit de colorier 2/5 d'une figure composée de 10 morceaux) et la correspondance entre les fractions et les nombres décimaux pose problème (1/4 = 1,4 et 2/5 = 2,5).

Pour la partie Calcul, Lucie a une performance faible. Elle semble avoir un réseau de faits arithmétiques insuffisamment développé (ce qui aurait du être évalué par la batterie informatisée). Dès que le calcul devient plus complexe, elle doit s'aider des doigts et ne sait plus gérer la charge en mémoire de travail. On note aussi quelques difficultés qui signent une faible compréhension. En particulier, Lucie note à plusieurs reprises que le produit d'un nombre par 0 égale ce nombre. Elle ignore comment traiter des divisions sur des grands nombres (par exemple, 84 : 4 =, elle calcule 80 : 4 = 20 et 4 : 4 = 2, réponse : 22 ; ou bien ne donne pas de réponse pour 936 : 3). Elle montre également une difficulté à réaliser les soustractions qui nécessitent des emprunts (par exemple, 44-26=22 ou 234-59 qu'elle essaye de résoudre en calculant 59-34+200). En ce qui concerne les procédures de calcul écrit, Lucie pose incorrectement les additions et les soustractions comportant des nombres décimaux (NS de 2, performance déficitaire). En effet, elle aligne les nombres en fonction du dernier chiffre à droite, plutôt qu'au niveau de la virgule. Ceci témoigne à nouveau de sa faible compréhension des nombres décimaux, comme relevé plus haut. Au niveau de l'algorithme lui-même (NS 7 : faible), Lucie maîtrise bien celui de l'addition et de la soustraction, mais ne se souvient pas de ceux de la multiplication (où noter les reports, comment les traiter quand on passe d'un sous-produit à l'autre ?) et de la division. Enfin, au niveau conceptuel, sa performance est extrêmement déficitaire (NS de 2). Lucie comprend les propriétés des opérations arithmétiques mais elle ne perçoit pas les relations que ces opérations entretiennent entre elles (par exemple : « si 630 :18=35, alors, sans calculer, peux-tu me dire si 35x18=630 est vrai ou faux ? »).

Pour la partie Résolution de problèmes, Lucie obtient une NS de 12, ce qui la situe dans la norme. Elle trouve le calcul adéquat à réaliser, ne se laisse pas avoir par les « pièges » ou les informations non pertinentes et résout correctement les problèmes en plusieurs étapes. On note néanmoins certaines erreurs de calculs comme 70+17=77 (qui ne compte pas dans la cotation) ou la table de 3 où Lucie note 3,6,9…21,23, ce qui l'empêche de résoudre correctement l'exercice.

La partie géométrie donne lieu à une performance faible mais uniquement liée à la performance déficitaire obtenue pour le subtest Périmètre-aire-volume (NS de 6). On observe dans ce subtest qu'elle calcule les périmètres en multipliant les longueurs des côtés et le volume (du parallélépipède rectangle) en additionnant la longueur de toutes les arêtes. En revanche, Lucie présente des performances dans la norme pour les autres subtests du domaine. Notons néanmoins que pour les changements d'unités de mesure, elle réussi les items sur les unités de longueurs mais pour les surfaces ou les volumes, elle continue à appliquer des stratégies « de multiples de 10 » (1 cm^2=10 mm^2)

En conclusion, le bilan a permis d'identifier certaines zones de difficultés qui devraient faire l'objet d'une remédiation. En particulier, Lucie mériterait particulièrement d'être aidée dans les aspects suivants :

- Comprendre le système positionnel des nombres arabes, d'abord pour les nombres entiers, ensuite pour les nombres décimaux ; ceci devrait mener également à une meilleure gestion des nombres décimaux dans les calculs mentaux et dans les calculs écrits en colonne
- Retravailler le sens des opérations, en particulier de la multiplication et de la division ; des liens entre les opérations et de leur réalisation sur des grands nombres en calcul mental (ce qui, nécessite une décomposition adéquate).
- Enfin, au niveau de la géométrie, deux directions devraient être suivies : (1) le travail de la distinction entre périmètre, surface et volume et (2) l'utilisation d'une abaque adéquate pour passer d'une unité de mesure à une autre lorsqu'il s'agit de mesures de surface ou de volume.
- En dernier lieu, une aide à la consolidation de la compréhension des fractions serait la bienvenue pour permettre à Lucie de comprendre la quantité à laquelle une fraction fait référence et, en particulier, l'équivalence des fractions, pour aller ensuite, vers l'équivalence entre l'écriture fractionnaire et décimale des nombres.

Par ailleurs, tout au long du test, nous avons noté des erreurs qui semblent être liées à de la distraction (par exemple, des sauts d'items que Lucie peut néanmoins résoudre quand je lui les représente par la suite). Ces oublis se montrent partout dans l'examen et pas spécialement en fin de séance. Une aide à ce niveau (consultation neuropsychologique) serait bienvenue.

7. Conclusion

Depuis quelques dizaines d'années, un réel effort a été fourni par la communauté scientifique pour décrire le développement numérique normal et comprendre les difficultés qui peuvent apparaitre à ces niveaux. Plusieurs outils d'évaluation ont également été développés en langue française. Aujourd'hui, le clinicien est donc en mesure de dresser un profil de compétences numériques de l'enfant et de distinguer celles qui sont acquises et celles qui restent un défit pour l'enfant. Sur cette base, il appartient ensuite au clinicien de développer un programme de prise en charge adapté à l'enfant et de tester régulièrement l'efficacité de celui-ci. Noël et Karagiannakis (2020) ont récemment publié un manuel permettant d'accompagner le clinicien à la fois dans sa compréhension du profil de l'enfant et dans la mise en place d'une intervention adaptée.

BIBLIOGRAPHIE

American Psychiatric Association. (2016). *Mini DSM 5 Critères diagnostics*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

Cracco, J., Baudonck, M., Debusschere, A., Dewulf, B., Samyn, F., & Vercaemst, V. (1995). *KRT : Kortrijkse Rekentest.* Kortrijk. Revalidatiecentrum Overleie, Belgique.

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

Deloche, G., Seron, X., Larroque, C.; Magnien, C., Metz-Lutz, M.N., Noël, M-P., Riva, I., Schils, J.P., Dordain, M., Ferrand, I., Baeta, E., Basso, A., Cipolotti, L.; Claros-Salinas, D., Howard, F., Gaillard, F., Goldenberg, G., Mazzuchi, A., Stachowiak, F., Tzavaras, A., Vendrell, J., Bergego, C. & Pradat-Diehl, P. (1994). Calculation and number processing: Assessment battery; Role of demographic factors. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 16(2)*, 195-208.

Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre*. Presses universitaires de France. Paris, 128 pages.

Fuson, K.C., Richards, J., & Briars, D.J. (1982) The acquisition and elaboration of the number word sequence. In C.J. Brainerd (Ed.) *Children's logical and mathematical cognition: Progress in cognitive development research* (pp. 33-92). New-York: Springler-Verlag.

Fuson, K.C., Wearne, D., Hiebert, J., Murray, H.G., Human, P.G., Olivier, A.I., Carpenter, T.P., & Fennema, E. (1997). Children's conceptual structures for multidigit numbers and methods of multidigit addition and subtraction. *Journal of Research in Mathematics Education, 28(2),* 130-162.

Gaillard, F. (2000). *Numerical : Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Actualités psychologiques (édition spéciale). Institut de psychologie. Université de Lausanne, Lausanne, Suisse.

Gelman, R., & Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge. MA: Harvard University Press.

Lepez, R., & Riquier, M. (1997). *TAS révisés : Tests d'acquisitions scolaires en français et mathématiques*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.

Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2016). *Examath 8-15, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques.* Grenade : HappyNeuron.

McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition, 4*, 171-196.

Meljac, C., & Lemmel, G. (1999). *UDN-II : Construction et utilisation du nombre*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.

Noël, M.-P. & Karagiannakis, G. (2020). *Dyscalculie et difficultés d'apprentissage en mathématiques. Guide pratique de prise en charge*. De Boeck supérieur, Louvain-la-Neuve, Belgique, 317 pages

Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Paris : Delachaux & Niestlé.

Raabreau, J., Ravard, J.C., & Arbes, J.C. (année indéterminée). *Echelle d'évaluation mathématiques*. Editions et applications psychologiques, Paris.

Siegler, R.S. (1987). The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General, 116*, 250-264.

Simonart, G. (1998a). *ECHAS-C: Echelle d'apprentissages scolaires primaires*. Application des techniques modernes. Braine-le-Château, Belgique.
Simonart, G. (1998b). *Peda 1C : Tests pédagogiques de premier cycle primaire*. Application des techniques modernes. Braine-le-Château, Belgique.
Van Nieuwhenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M-P. (2001). *Tedi-math : test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.
Von Aster, M. & Dellatolas, G. (2005). *Zareki-R : Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.
Wechsler, D. (2016). *WISC-V - Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents - 5ème édition*. Adapation française par les Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France