

Marie-Pascale Noël

**BILAN NEUROPSYCHOLOGIQUE
DE L'ENFANT**

gnostic

Chapitre 9 : L'évaluation des compétences numériques de l'enfant

MARIE-PASCALE NOËL

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-IV (Wechsler, 2005) et l'échelle de la KABC (Kaufman & Kaufman, 1993) contiennent, chacune, une épreuve évaluant le traitement numérique. Notons toutefois que ces épreuves ne constituent pas une mesure représentative des compétences numériques de l'enfant. Ainsi, par exemple, le sous-test arithmétique de la WISC-IV 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'épreuves.

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 les retards 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 ou du niveau 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 tests permet de détecter la présence éventuelle d'une difficulté d'apprentissage et de quantifier celle-ci (en termes d'écarts par rapport au groupe scolaire de référence ou en termes d'années de retard). Plusieurs outils de ce type sont disponibles.

En France, Rabreau, Ravard et Arbes (année indéterminée) ont développé un test collectif de mathématique destiné aux enfants du CE1 (2^e primaires) jusqu'au CM2 (5^e primaires). Quatre domaines sont envisagés : la numération (série de nombres, connaissance de la séquence verbale, écriture

ture 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.

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 (2^e primaires) jusqu'en fin de cycle primaire, à la fois en début et en fin d'année scolaire. La passation prend une demi-heure environ.

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 et d'énoncer le calcul correspondant à une situation concrète.

Le test de juin de 1^{ère} 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 2^e 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 3^e à la 6^e 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 3^e à la 6^e primaires, des moyennes et écart-types sont également disponibles pour chaque sous-épreuve du test.

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, « *écrit en nombre décimal 103/100* » sont des items issus des échelles de connaissance des nombres pour, respectivement, le milieu de la 1^{ère} primaire et de la 6^e 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 qu'elles sur une population wallonne (les programmes scolaires et le niveau socio-économique sont différents dans ces deux communautés) ou française. À titre illustratif, 117 enfants wallons testés en milieu de 5^e 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 le « 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 difficultés 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'examineur 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 plus récents 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'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.

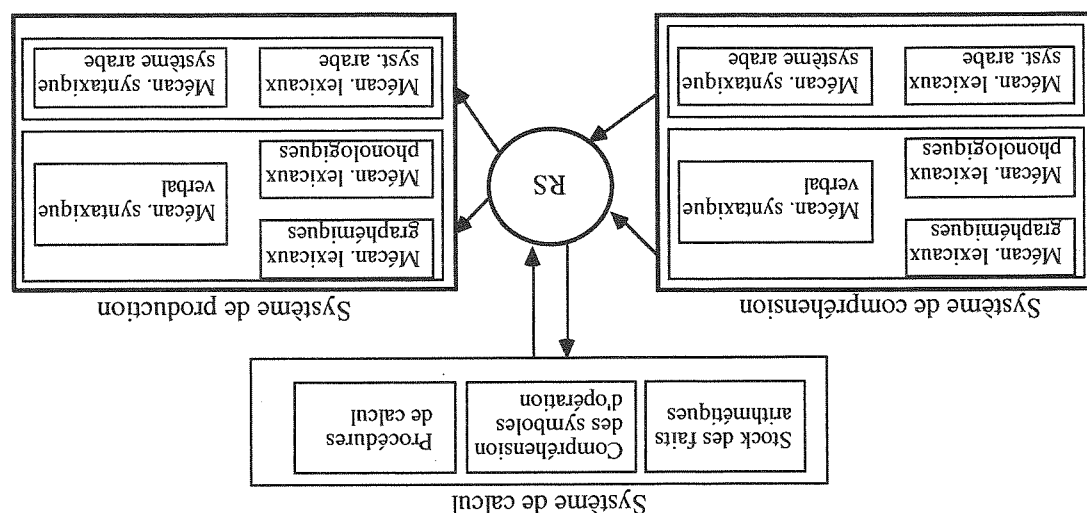
Des normes ont été récoltées sur cinquante enfants par tranche d'âge, entre 4 et 11 ans. Les épreuves sont cotées comme non réussies, réussies ou d'un niveau intermédiaire. L'évaluation est donc plus qualitative que quantitative. Sur base de ces données, des âges clés ont été définis pour chaque épreuve ; 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 piagettiennes telles que la sériation, la conservation ou la compréhension de la transitivity. 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 une erreur 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 produire au plus 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 calculs 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.

Une autre série d'épreuves rapides évaluant les premières utilisations du nombre a été développée par le groupe CIMETE (1995). L'ECPN (épreuve conceptuelle de résolution des problèmes numériques) propose 7 items : une description de situation numérique, une comparaison de collections, un problème d'égalisation de collections (« *que faire pour qu'ils en aient tous pareil ?* »), des problèmes concernant les relations d'ordre entre deux collections (« *arrange-toi pour que le chien en ait quatre de plus que le chat* ») et des situations de transformation d'une collection (pour lesquelles l'enfant doit retrouver l'état initial à partir de l'état final et de la transformation, ou bien la transformation en connaissant l'état initial et l'état final). Ce test est normé sur un peu plus de 100 enfants de 4 à 9 ans. Il ne permet pas une analyse complète des compétences numériques de l'enfant mais permet d'évaluer les premiers pas dans la compréhension du nombre.

b) La neuropsychologie cognitive de l'adulte

Dans 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 (voir figure 1). Le module de compréhension des nombres permet d'élaborer, à partir d'un nombre symbolique (soit, un nombre présenté en chiffres arabes, en mots prononcés à haute voix, ou écrits 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. Dans les deux cas, des processus syntaxiques et lexicaux, spécialisés pour un format symbolique particulier, sont distingués. Ainsi, pour sélectionner le plus grand nombre parmi « quatre cents » et « cent neuf », il est nécessaire d'activer dans le système de compréhension des nombres, les mécanismes lexicaux spécifiques au code verbal écrit pour comprendre les mots « quatre », « cent » et « neuf ». Il faut également mettre en œuvre les mécanismes syntaxiques des codes verbaux pour comprendre que la relation entre « quatre » et « cents » est de nature multiplicative (quatre cents = quatre fois cent), alors que celle entre « cent » et « neuf » est additive (cent neuf = cent plus neuf). Au terme de ce processus, les représentations sémantiques correspondant à « neuf cents » et à « cent quatre » seront construites et pourront alors être comparées en vue de sélectionner la plus grande. 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 œuvre des procédures pour résoudre des calculs dont la réponse n'est pas connue par cœur. Ainsi, pour donner oralement la réponse au calcul « $6 + 6 = ?$ », le symbole d'opération (via le module ad hoc) et les termes du calcul (via les mécanismes lexicaux de compréhension des nombres arabes) doivent être compris. Sur base de cette représentation sémantique du problème, la réponse mémorisée correspondante doit être récupérée. Enfin, une fois cette représentation activée, le système de production des nombres verbaux (mécanismes lexicaux des nombres verbaux oraux) doit être utilisé pour produire la séquence de sons correspondant à la réponse « /douze/ ».

Figure 1.
Le modèle de calcul et du traitement des nombres de McCloskey et col.



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. Barrouillet, Camos, Perruchet et Seron (2004) ont proposé un modèle développemental de transcodage des nombres qui ne nécessite pas l'élaboration intermédiaire de la représentation sémantique des nombres. Chez l'adulte, le modèle de Dehaene (1992) ne suppose pas non plus la nécessité absolue de se représenter la quantité d'un nombre pour le transcoder. Ce modèle diffère également de celui de McCloskey et de ses collaborateurs, 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 $\{2\}10\text{exp}1$, $\{5\}10\text{exp}0$). 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. 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. Ces situations (comme par exemple, la comparaison rapide de deux collections, ou encore, l'estimation de la quantité de points présentés de manière brève sans possibilité de les dénombrer) sont en effet supposées mettre directement en œuvre cette représentation analogique de la quantité. Deux batteries numériques se sont inspirées de ces modèles de la neuropsychologie adulte : le Numerical et le Zareki-R.

Le Numerical

Le Numerical est un outil publié et diffusé par Gaillard (2000). Cette batterie comporte vingt-sept épreuves. Plusieurs d'entre elles sont issues ou adaptées de la batterie EC 301 (Deloche et col., 1994) 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).

Plus précisément, 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 2^e et 3^e primaire (CE1 et CE2) et a été étalonné sur un échantillon de 280 enfants suisses. L'auteur s'adresse à ces « grands » enfants parce qu'il fait l'hypothèse que les dyscalculies ne peuvent s'observer que quand l'enfant a déjà été confronté aux apprentissages formels des mathématiques. Or, il peut également être intéressant d'observer les précurseurs de ces apprentissages : évaluer, chez les petits de maternelle, la maîtrise de la comptine, la capacité de dénombrement, la compréhension du nombre et de la valeur cardinale, l'utilisation du nombre dans des situations variées, etc. Enfin, cette batterie néglige des aspects qui doivent être évalués chez les enfants d'école primaire, comme, par exemple, la maîtrise de la base 10, la résolution de problèmes, la compréhension et la maîtrise des divisions.

Zareki-R

La batterie Zareki-R développée par Von Aster et Dellatolas (2006) s'adresse aux élèves de CP (1^{ère} primaire) au CM2 (5^e 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, le passage d'un système de représentation des nombres à un autre, la connaissance des faits numériques, la

connaissance et l'application de procédures pour les opérations élémentaires et la capacité à estimer et comparer des nombres et des quantités ainsi que la compréhension du sens des nombres. Elle comprend douze épreuves : (1) le dénombrement de points (6 collections dont une disposée de manière linéaire); (2) le comptage oral (comptage à rebours uniquement); (3) la dictée de nombres et (4) la lecture des nombres (nombres de 2 à 4 chiffres); (5) la comparaison de deux nombres écrits (nombres comportant jusqu'à 5 chiffres) ou (6) de deux nombres oraux (8 items); (7) le calcul mental (8 additions, 8 soustractions et 6 multiplications), (8) le positionnement de nombres, présentés oralement ou par écrit, sur une échelle; (9) l'estimation visuelle de quantités (en 2 secondes estimer la taille d'une collection); (10) l'estimation qualitative de quantités en contexte (questions du type « trois pommes sur un pommier, c'est peu, moyen ou beaucoup ? »); (11) la résolution de problèmes présentés oralement et enfin, (12) la mémorisation et la répétition orale de chiffres (soit, une mesure d'empan de chiffres à l'endroit et à rebours). La note obtenue à cette dernière épreuve n'intervient pas dans le calcul du score global au test.

Les normes (moyenne, écart-type, percentile 10, min, max,...) 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 et, plus précisément, dans la découverte, par l'enfant, de la signification cardinale des mots nombres. 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. 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.

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 piagétien 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 (comme l'UDN II par exemple), 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 au 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 image, 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 2^e maternelle jusqu'aux classes de troisième primaire. 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. Une version pour les plus grands enfants est en cours d'élaboration.

Le « dyscalculia screener »

Une des plaintes majeures des enfants en difficulté d'apprentissage mathématique concerne le calcul. Les recherches, de Siegler (1987) notamment, ont montré qu'au cours du développement, l'enfant augmente l'exactitude de ses réponses à des calculs simples mais modifie également ses stratégies de réponse. En début de scolarité, l'enfant résout la plupart des additions en comptant sur ses doigts. Plus tard, ce support des doigts n'est plus utilisé par l'enfant qui compte seulement à voix haute ou, même, « dans sa tête ». Enfin, ces procédures de comptage vont progressivement donner lieu à la mémorisation des réponses à ces calculs. Une fois certaines réponses mémorisées, l'enfant pourra aussi se servir de processus de décomposition (par exemple, s'il connaît la réponse à $3+3$, il pourra résoudre $3+4$ en récupérant 6 et en y ajoutant 1). Cette évolution stratégique opère de manière graduelle par augmentation relative de l'utilisation de stratégies matures aux dépens d'autres moins matures.

Chez l'enfant en difficulté d'apprentissage, les mêmes stratégies de résolution sont utilisées. Cependant, l'évolution stratégique est beaucoup plus lente et, pour beaucoup d'entre eux, la transition entre une résolution basée sur des procédures de comptage et une résolution par récupération en mémoire de la réponse, ne semble pas opérer (Geary, 2005).

L'évaluation fine des stratégies de résolution mises en œuvre par l'enfant est donc primordiale dans un bilan de calcul. Malheureusement, aucune norme relative à ces changements stratégiques n'est disponible. Un indice de cette évolution peut néanmoins être trouvé dans la mesure des temps de réponse. En effet, généralement, plus la stratégie de résolution est mature, plus la réponse est produite rapidement. Les batteries papier-crayon ne proposent pas de mesure de temps de réponse. Le « Dyscalculia Screener » développé par Butterworth (2003) inclut cette mesure de temps de réponse dans une épreuve de résolution de petits calculs. Par ailleurs, Butterworth fait l'hypothèse qu'une faiblesse en calcul peut soit provenir d'une mauvaise éducation mathématique, soit d'une réelle dyscalculie. Selon lui, la vraie dyscalculie devrait s'accompagner d'une difficulté dans des processus numériques de base qui ne font pas l'objet d'un apprentissage scolaire, mais qui mettent en œuvre la représentation sémantique du nombre. Ainsi, ces enfants devraient aussi montrer un ralentissement et produire plus d'erreurs dans les tâches de dénombrement de collections et de comparaison de nombres.

Le Dyscalculia Screener est donc basé sur ces considérations. Cette batterie inclut quatre épreuves chronométrées et administrées sur ordinateur : une tâche de calcul, une tâche de dénombrement de collections de points, une épreuve de comparaison de nombres au niveau numérique et une épreuve de comparaison de la taille physique de deux nombres¹. La passation de ce test prend environ une demi-heure. Des normes ont été établies pour des enfants de 5 à 14 ans en Angleterre.

Ce test a le mérite de proposer une mesure de temps de réponse pour les processus numériques de base. Toutefois, cette batterie est guidée par une hypothèse théorique très spécifique qui fait l'objet de controverse (Rousselle & Noël, 2007). Par son caractère étroit, elle ne permet pas d'avoir une vision globale des compétences numériques de l'enfant. Elle ne fournit donc que très peu de renseignements au thérapeute qui doit mettre en place un projet de prise en charge de l'enfant. En outre, son utilisation exclusive peut

¹ Cette épreuve contraste des items où la taille physique des chiffres est congruente avec la taille numérique (28) et d'autres où ces dimensions sont incongruentes (28). Cette épreuve de comparaison de la taille physique des chiffres permet de voir si la dimension numérique non pertinente pour la tâche en cours est activée de manière automatique par l'enfant. Si tel est le cas, les réponses de l'enfant devraient être plus rapides pour les paires congruentes que pour les paires incongruentes.

conduire au risque de passer à côté d'enfants qui ont de réels problèmes d'apprentissage des mathématiques mais qui ne se manifestent pas dans les épreuves de la batterie. Ce pourrait être le cas, par exemple, d'enfants présentant des troubles au niveau des processus de transcodage, des procédures de calcul écrit ou encore de la représentation en base 10 des nombres. Pour ces raisons, nous considérons que cette batterie est un complément intéressant à des batteries plus globales comme le Numerical, le Zareki-R ou le Tedi-math mais ne constitue pas réellement une alternative à celles-ci.

D. Commentaire

À l'heure actuelle, de bons outils existent pour analyser les compétences numériques de base des enfants. Toutefois, un manque cruel existe en ce qui concerne les compétences typiquement abordées en fin de cycle primaire. En particulier, les batteries disponibles ne font aucune mention du traitement des nombres rationnels (qu'ils soient exprimés sous forme de nombres décimaux ou fractionnaires) et sont complètement muettes sur ce qui a trait à l'espace. Des outils ciblés visant à évaluer de manière fine la compréhension de ces notions et les capacités de l'enfant à opérer sur celles-ci devront donc faire l'objet de développements futurs.

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 intervenants 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 calculs 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.

6. ILLUSTRATION DE LA DÉMARCHE ÉVALUATIVE

a) Louis

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 2^e 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 2^e 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 termes-à-termes, 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 2^e 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 2^e primaire, lecture : pc 0 pour un début de 2^e 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 1^{ère} primaire) et de nombres verbaux oraux (pc 5 pour un début de 2^e 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 œuvre de stratégie correcte. Ses performances sont complètement déficitaires pour son niveau scolaire (voir tableau 1).

Tableau 1 : pourcentages cumulés correspondant aux performances de Louis dans les sous-tests calculs.

	Pourcentages cumulés pour un	
	début de 1 ^{re} primaire	un début de 2 ^e 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 2^e primaire ; dans le cas de touches successives, il obtient des performances correspondant à un pc 5 pour des enfants de 2^e 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

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 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), (voir tableau 2).

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.

Tableau 2 : pourcentages cumulés correspondant aux performances de Philippe dans les sous-tests de la batterie Tedi-math

Sous-tests	Pourcentages cumulés Début 1 ^{re} primaire	Pourcentages cumulés Fin 1 ^{re} 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	-	-
Arithmétique : items imagés	25	10
Arithmétique : items en chiffres	5	< 5
Arithmétique : problèmes	80	55
Arithmétique : concepts	-	-

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 calculs. En effet, lorsqu'il doit dérouler sa chaîne numérique verbale pour dénombrer une collection, Philippe produit, à plusieurs reprises, une réponse fautive. Ses erreurs ne viennent pas d'une énonciation incorrecte de la chaîne numérique mais d'une difficulté à coordonner

donner 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 suggère 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 œuvre 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 débiter 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 œuvre 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 œuvre 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.

BIBLIOGRAPHIE

- BARROUILLET, P., CAMOS, V., PERRUCHET, P., & SERON, X. (2004). ADAPT : A Developmental, Asemantic, and Procedural Model for Transcoding From Verbal to Arabic Numerals. *Psychological Review*, 111 (2), 368-394.
- BUTTERWORTH, B. (2003). *Dyscalculia screener*. London : NFER-Nelson (software & manual).
- CIMETE, 1995 : CIMETE, Compétences et incompétences en arithmétique. ANAE, Les dyscalculies, n° hors série, 58-63.
- 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., CPOLOTTI, 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.
- 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 : Springer-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.
- GEARY, D.C. (2005). Les troubles d'apprentissage en arithmétique : Rôle de la mémoire de travail et des connaissances conceptuelles. In M.-P.; Noël. (Ed. éditeur) *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant*. Collection « Troubles du développement psychologique et des apprentissages ». pp. 169-191. Solal, Marseille, France.

- GELMAN, R., & GALLISTEL, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- KAUFMAN, A.S., & KAUFMAN, N.L., (1993). *KABC, Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.
- LEPEZ, R., & RIQUIER, M. (1997). *TAS révisés : Tests d'acquisitions scolaires en français et mathématiques*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.
- MCCLOSKEY, M., ; CARAMAZZA, A., & BASILI, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation : Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4, 171-196.
- MELIAC, C., & LEMMEL, G. (1999). *UDN-II : Construction et utilisation du nombre*. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.
- PIAGET, J., & SZEMINSKA, A. (1941). La genèse du nombre chez l'enfant. Paris : Delachaux & Niestlé.
- RABREAU, J., ; RAVARD, J. ; C., & ARBES, J.C. (année indéterminée). *Échelle 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.
- 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, 361-395.
- 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 NIEUWENHOVEN, 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. (2006). *Zareki-R : Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Adaptation française par G. Dellatolas, Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.

Wechsler, D. (2005). *WISC-IV, échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents*, 4^e édition. Editions du centre de psychologie appliquée, Paris, France.