

La dyscalculie : nouvelles perspectives pour mieux comprendre et mieux intervenir

Marie-Pascale Noël* & Laurence Rousselle**

*Université Catholique de Louvain et **Université Libre de Liège (Belgique)

C'est seulement vers la fin du siècle dernier que les sciences cognitives ont réellement commencé à s'intéresser à la dyscalculie. À l'époque, plusieurs neurologues avaient rapporté des descriptions de cas d'acalculie chez l'adulte, c'est-à-dire des patients qui suite à une lésion cérébrale avaient perdu certaines de leurs compétences numériques (par exemple Henschen, 1919). Le terme de dyscalculie, dans le sens d'un problème développemental conduisant à une difficulté d'apprentissage des mathématiques se retrouve plus tard, avec des premières descriptions de Myklebust et Boshes (1960).

Dans le DSM 5, la dyscalculie fait partie de la catégorie plus large des « troubles spécifiques d'apprentissage » au même titre que la dyslexie ou les troubles de l'expression écrite. Ce manuel spécifie que ces troubles ont une origine neurodéveloppementale, qu'ils entravent les capacités pour apprendre et donc pour accéder aux compétences académiques qui sont à la base des autres apprentissages scolaires et que ces troubles sont inattendus du fait d'un développement normal dans les autres domaines. Le DSM 5 propose une série de critères pour poser un diagnostic de trouble spécifique d'apprentissage : (1) des mesures quantifiables des difficultés académiques montrent que le niveau atteint est en-dessous du niveau attendu compte tenu de l'âge et qu'il a un impact sur la réussite scolaire et la vie quotidienne, (2) ces difficultés existent depuis au moins 6 mois en dépit d'une prise en charge individualisée et d'une adaptation pédagogique ciblée, (3) Ces difficultés ne sont pas expliquées par la présence d'autres troubles (mentaux, sensoriels ou neurologiques) ou de conditions environnementales particulières (troubles psychologiques, manque d'instruction, méconnaissance du langage). Enfin, ces difficultés se manifestent généralement à l'école primaire mais peuvent également ne se manifester pleinement qu'à l'adolescence.

Aujourd'hui, dans la base de publications scientifiques « Scopus », le terme

« dyscalculia » renvoie à 739 entrées, le terme « math learning disability » à 1 911 entrées, alors que le terme « dyslexia » se retrouve dans 13 154 entrées. En d'autres mots, la recherche sur la dyscalculie et les difficultés d'apprentissage en mathématique s'est clairement développée ces trente dernières années mais reste encore sous-représentée par rapport à sa compagne, la dyslexie.

Dans le champ de la clinique, il semble que le diagnostic de dyscalculie soit posé beaucoup moins souvent que celui de dyslexie et pourtant, les études épidémiologiques nous indiquent que ces deux troubles d'apprentissage ont une prévalence équivalente. Ainsi Gross-Tsur, Manor et Shalev (1996) testent 3029 enfants de 4^{ème} année et cherchent à détecter les enfants qui, bien qu'ayant une intelligence normale (QI au-dessus de 80) présentent un retard de plus de 2 ans en mathématiques. 6,5% des enfants rencontrent ainsi ces deux critères, signant la présence d'une dyscalculie. De leur côté, Barbaresi, Katusic, Colligan, Weaver et J Jacobsen (2005) adoptent une stratégie diagnostique basée sur la différence entre d'une part, la performance à un test de mathématique et d'autre part, celle à un test d'intelligence. Ils examinent les profils de 5718 enfants âgés de 6 à 19 ans en utilisant trois formules de calcul pour établir un diagnostic. La prévalence ainsi établie va de 5,9 % (critère très sévère) à 13,8% (quand le critère est un QI supérieur à 80 et note standard en math inférieure à 90). Il est également intéressant de noter que l'incidence est faible à 7 ans (1,3 à 2,1% selon les formules utilisées) mais qu'elle augmente progressivement jusqu'à 13 ans (5,3 à 11%). Par ailleurs, la moitié de ces enfants en difficulté n'a jamais été détectée à l'école et 43% d'entre eux sont également dyslexiques.

La journée de colloque dont le présent volume constitue les actes, a permis de faire état d'un large panel de découvertes récentes dans le domaine de la cognition numérique. Quatre grands domaines ont ainsi été abordés : (1) décrire et comprendre le développement numérique typique et atypique, (2) comprendre les mécanismes numériques de base sur lesquels se construisent les apprentissages mathématiques, (3) analyser les interactions entre la cognition numérique et les autres domaines cognitifs comme le langage, la mémoire, les traitements visuo-spatiaux et enfin, (4) envisager des pistes thérapeutiques ou de soutien scolaire, à partir de ces nouvelles connaissances.

Le développement numérique recouvre toutes une série d'apprentissages en commençant par la litanie du comptage, les procédures de dénombrement pour déterminer le cardinal d'une collection, le calcul arithmétique, la maîtrise du système des nombres arabes et de son aspect positionnel, la résolution de problèmes, ... cela ne couvrant que les premiers apprentissages supposés être maîtrisés en fin de cycle d'école primaire. Parmi ces apprentissages, celui de l'arithmétique de base a particulièrement intéressé les chercheurs. Si on considère simplement la réalisation de petits calculs comme des additions, on sait que l'enfant commence à résoudre ces calculs en utilisant des stratégies

de comptage de plus en plus matures (par exemple, compter sur les doigts à partir de 1, compter à partir du plus grand nombre ...). À ce niveau, les enfants dyscalculiques montrent très régulièrement des difficultés : leurs stratégies sont souvent moins matures que celles des autres enfants et la recherche suggérerait qu'ils ne parviennent jamais à retenir par cœur le résultat de ces petits calculs. Selon Thevenot, Uittenhove et Prado (article de ce volume), même les experts ne mémoriseraient pas la somme des petites additions : ils arriveraient très rapidement à la solution grâce à l'automatisation de procédures de comptage. Selon cette perspective, les enfants dyscalculiques présenteraient un problème au niveau de cette automatisation des procédures de comptage. Sur cette base, les auteurs encouragent l'utilisation d'entraînements ciblant l'accélération de ces procédures plutôt qu'une mémorisation forcée des additions et de leur solution.

Dans le cadre des petites multiplications, les explications données sont différentes puisqu'il est communément admis qu'après quelques années d'apprentissage, les enfants de 9-10 ans et les adultes ont constitué un réseau de faits arithmétiques qui leur permet de récupérer en mémoire à long terme, le produit de deux chiffres, comme par exemple, 6×4 . Pourtant là aussi, des différences sont régulièrement observées entre enfants dyscalculiques et enfants contrôles. Une nouvelle ligne de recherche développée par De Visscher et Noël (2014a, 2014b) a montré que cette difficulté à mémoriser les faits multiplicatifs serait liée à une particularité de la mémoire. En effet, le réseau de faits arithmétiques est un réseau où les différents éléments sont fortement associés les uns avec les autres. La présentation d'un problème évoque la réponse correcte qui y est associée, mais également d'autres réponses qui sont associées à l'un ou l'autre des termes du calcul (par exemple, 6×4 et 18). Établir une connexion ciblée, spécifique, entre un problème et sa réponse requiert donc de pouvoir gérer les interférences liées aux autres représentations de nombres activées. Plusieurs recherches récentes ont ainsi montré que les enfants ou les adultes présentant un faible réseau de faits arithmétiques montrent une plus grande sensibilité à l'interférence en mémoire que les personnes témoins et que c'est cette hypersensibilité à l'interférence qui expliquerait leur très grande difficulté à se constituer un réseau mémorisé de faits multiplicatifs.

En ce qui concerne le calcul plus complexe, des stratégies doivent être sélectionnées et mises en œuvre pour obtenir la solution. L'article de Roquet, Hinault et Lemaire de ce volume traite de cet aspect. Selon ces auteurs, le développement se caractérise par des changements observés aux niveaux du répertoire, de la distribution, de la sélection et de l'exécution des stratégies. Par le biais de ces aspects stratégiques, la résolution de problèmes arithmétiques implique plus globalement les mécanismes de contrôle exécutif. Des difficultés d'ordre exécutif pourraient donc avoir des répercussions négatives sur le développement arithmétique des enfants.

Des interactions étroites existent également entre le domaine numérique et le domaine spatial. En particulier, une des hypothèses du champ est que la représentation de la magnitude numérique serait une représentation mentale de type analogique qui serait spatialement orientée avec (dans nos cultures) les petits nombres à gauche et les grands nombres à droite. Crollen et Noël (2015) et Crollen, Vanderclausen, Allaire, Pollaris, et Noël (2015) se sont alors demandées dans quelles mesures des difficultés d'ordre visuo-spatial chez l'enfant pouvaient avoir un impact sur le développement même de cette représentation de la magnitude numérique. Ces auteurs ont montré que des enfants présentant de faibles capacités visuo-spatiales ou présentant un diagnostic de dyspraxie visuo-spatiale montrent une représentation de la magnitude numérique qui est moins précise que celle des enfants tout venant. En outre, les enfants présentant une dyspraxie visuo-spatiale montrent une orientation spatiale de cette représentation perturbée ou moins saillante.

Le développement numérique opère également en lien étroit avec le langage. Ainsi, comme le rapporte Leybaert (article de ce volume), les enfants présentant des troubles spécifiques du langage mais également les enfants atteints de surdité ont généralement un niveau de performance en mathématiques plus faible que celui des enfants tout venant. Toutefois, dans le cas des troubles spécifiques du langage, ces auteurs ont montré que les difficultés étaient marquées sur le plan du calcul exact alors que la comparaison de quantités non symboliques (des collections de points) n'était pas affectée. Chez l'enfant sourd, Leybaert présente les résultats d'une étude montrant que les performances plus faibles en mathématique typiquement rencontrées chez les sourds ne concernent en réalité que les enfants fréquentant l'enseignement spécialisé. L'auteur se pose alors la question plus générale de l'impact du degré de stimulation sur les apprentissages puisque, tant la surdité que les troubles spécifiques du langage entraînent bien souvent une sous-exposition informelle aux concepts numériques et un enseignement différent également.

Toutes ces recherches montrent donc de manière très claire que la cognition numérique est un domaine qui se développe en lien étroit avec le reste de la cognition et en particulier, les processus de mémoire, de langage, les processus visuo-spatiaux, les fonctions exécutives sans parler des aspects moteurs ou kinesthésiques qui semblent également importants. Ces dernières années, ces recherches qui ont étudié les facteurs contributifs à l'émergence des difficultés d'apprentissage en mathématiques ont inspiré d'autres travaux traitant de la prise en charge de ces difficultés. Les interventions élaborées dans ce cadre s'enracinent donc naturellement dans les découvertes réalisées sur le développement atypique de la cognition numérique. Trois tendances se distinguent clairement en matière d'intervention. Certaines se centrent sur les processus cognitifs

généraux en lien avec le développement des compétences mathématiques, d'autres sur les processus spécifiques à la cognition numérique et enfin une troisième ligne de recherche s'intéresse aux pratiques pédagogiques les plus favorables aux apprentissages numériques.

Dans la première catégorie, les interventions ciblant les processus cognitifs généraux tentent, le plus souvent via le drill, d'accroître les capacités de traitement en espérant ainsi, de manière indirecte, influencer positivement des compétences mathématiques qui en dépendent. Ainsi, Honoré et Noël (article de ce volume) ont testé l'effet d'un entraînement de la mémoire de travail sur les compétences numériques et arithmétique d'enfants de maternelle. Les résultats montrent des effets encourageants avec un effet spécifique de l'intervention sur les capacités entraînées en mémoire de travail mais un impact limité sur les compétences numériques en elles-mêmes, posant ainsi la question du transfert.

Dans la seconde catégorie, les programmes d'intervention ciblent plus précisément l'un ou l'autre processus spécifiques à la cognition numérique. Ces dernières années, un nombre croissant d'études a ainsi été consacré aux interventions portant sur les processus numériques de base. Ces interventions prennent une orientation résolument développementale en ciblant des processus numériques les plus primitifs supposés être à la base des apprentissages mathématiques ultérieurs comme par exemple la représentation de la magnitude des nombres ou ses connections avec les symboles numériques. Honoré et Noël (article de ce volume) ont donc comparé l'effet d'un entraînement des capacités numériques impliquant des quantités non-symboliques (collections d'éléments) avec un entraînement centré sur le traitement des quantités véhiculées par des symboles (chiffres arabes). Ces traitements quantitatifs primitifs ont été pointés dans la littérature comme étant des sources de fragilités chez les enfants dyscalculiques (Rousselle & Noël, 2007; Piazza & al., 2010). Les résultats montrent que l'entraînement de la capacité à traiter la valeur des symboles numériques a plus d'effet sur les compétences numériques et arithmétiques que l'intervention centrée sur le traitement des quantités non symboliques. En outre, lorsque les interventions se centrent uniquement sur les symboles arabes, la nature de la tâche entraînée (comparaison, *versus* positionnement sur une ligne analogique) produit des effets différenciés sur les compétences mathématiques : l'entraînement à la comparaison de nombres arabes a un effet positif sur des compétences numériques de base (comparaison de nombres arabes et positionnement sur une ligne numérique) tandis qu'un entraînement basé sur le positionnement de nombres sur une ligne numérique induit des améliorations au niveau de la réalisation des calculs. Dans la même veine, Vilette (article de ce volume, 2009) démontre au travers d'une série d'expériences menées auprès de différentes populations d'enfants avec et

sans troubles d'apprentissage que les interventions centrées sur les correspondances entre les nombres et leurs valeurs quantitatives présentées sous forme de grandeurs sur un continuum numérique ont des effets significatifs sur les capacités de calculs. Selon cet auteur, les processus d'estimation numérique ouvrent donc des pistes très prometteuses pour améliorer les compétences arithmétiques des enfants présentant des difficultés d'apprentissage en mathématiques.

Enfin, une troisième et dernière ligne de recherche s'intéresse à définir les conditions et les dispositifs pédagogiques les plus propices aux acquisitions numériques. Les difficultés d'apprentissage en mathématiques sont une source d'anxiété importante pour les enfants qui en souffrent et ce stress contribue à paralyser encore davantage des processus déjà peu efficaces. Ainsi dans le dernier article de ce volume, Vossius et Rousselle passent en revue les pratiques pédagogiques favorables et les aménagements qui peuvent être *raisonnablement* mis en place pour soutenir les apprentissages numériques des élèves en difficultés. Ces auteurs identifient également un certain nombre de pistes actuellement envisageables pour diminuer l'anxiété et améliorer les conditions d'apprentissage de ces enfants pour qui les mathématiques représentent un défi.

Les recherches reprises dans ce volume consacré aux actes de la 4^{ème} journée de la Société Francophone des Troubles d'Apprentissage et du Langage présentent donc un certain nombre d'avancées significatives permettant de mieux comprendre les processus qui sous-tendent les acquisitions numériques ainsi que les troubles qui, isolément ou cumulativement, peuvent mener à l'émergence de difficultés d'apprentissages en mathématiques chez certains élèves. Ces recherches ouvrent des perspectives nouvelles et prometteuses en matière de prise en charge et d'intervention. Les découvertes permettant d'avancer dans la compréhension des fondements des apprentissages numériques se sont traduites, ces dernières années, par un accroissement des recherches visant à tester l'efficacité des interventions ciblées sur les processus en jeu dans les apprentissages numériques.

Bibliographie

- Barbarese, W.J., Katusic, S.K., Colligan, R.C., Weaver, A.L., & Jacobsen, S.J. (2005). Learning Disorder: Incidence in a Population-Based Birth Cohort, 1976–82, Rochester, Minn. *Ambulatory Pediatrics*, 5(5), 281-289.
- Crollen, V. & Noël, M-P. (2015). Spatial and numerical processing in children with high and low visuospatial abilities, *Journal of Experimental Child Psychology*, 132, 84-98.

- Crollen, V., Vanderclausen, V., Allaire, F., Pollaris, A. & Noël, M-P. (2015). Spatial and numerical processing in children with non-verbal learning disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 47, 61-72.
- De Visscher, A. & Noël, M-P. (2014b). The detrimental effect of interference in multiplication facts storing: Typical development and individual differences. *Journal of Experimental Psychology: General* ; 143(6), 2380-2400.
- De Visscher, A., & Noël, M. P. (2014a). Arithmetic facts storage deficit: The hypothesis of hypersensitivity-to-interference in memory. *Developmental Science*, 17(3), 434-442.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R.S. (1996). Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 38, 25-33.
- Henschen, S.E. (1919). Über Sprach-, Musik- und Rechenmechanismen und ihre Lokalisation im Gehirn. *Zeitschrift für die Gesamte Neurologie und Psychiatrie*, 52, 273-298.
- Myklebust, H. R.; Boshes, B. (1960). Psychoneurological learning disorders in children. *Archives of Pediatrics*, 77: 247-256.
- Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., Dehaene, S., Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33-41.
- Rousselle, L. & Noël, M-P (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: a comparison of symbolic versus non-symbolic number magnitude processing. *Cognition* 102, 361–395.
- Vilette, B. (2009). L'Estimateur: un programme informatique de remédiation des troubles du calcul. *A.N.A.E.: Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 102, 165-170.