

On les évoque peu, et pourtant ils existent. Les troubles du calcul sont répandus. Certains estiment à 6,5% les enfants souffrant de ce dysfonctionnement. Pourquoi, alors que le nourrisson est déjà capable de discriminer de petites quantités dès l'âge de six mois, certains enfants sont-ils incapables d'exécuter les opérations mathématiques les plus élémentaires ?

En 1992, Temple définissait la dyscalculie comme étant un « trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques chez des enfants d'intelligence normale, qui ne présentent pas des déficits neurologiques acquis ».

Bien moins connue et étudiée que la dyslexie, la dyscalculie met notamment en exergue d'insuffisantes aptitudes arithmétiques ayant d'importantes répercussions sur les résultats scolaires de l'enfant ou dans la vie courante. En effet, dans la société actuelle, les mathématiques constituent encore souvent un outil de sélection.

Il est d'autant plus important d'approfondir la recherche dans ce domaine et de multiplier les diagnostics que certains enfants parviennent à la dissimuler leur déficit en développant des stratégies d'évitement, par exemple en apprenant par coeur la table de multiplication sans en comprendre le sens, tandis que d'autres reconnaissent avec affliction qu'ils n'ont pas la bosse des maths. Une fois adultes, si le trouble persiste, les dyscalculiques sont confrontés à de nombreux obstacles : la comparaison de deux valeurs, l'estimation de la distance entre plusieurs points, celle de la taille d'un objet... peuvent affecter leur parcours socioprofessionnel ou leur vie tout court.

Méconnus, les dispositifs de rééducation existent pourtant. C'est dans ce cadre que le colloque 2012 de la Fédération des Écoles de Logopédie (FEL) prend toute son importance. L'actualité du sujet n'est pas à démontrer : les recherches prouvent sans cesse l'intérêt et l'efficacité de nouveaux processus thérapeutiques. Prédisposition génétique, facteurs environnementaux, causes anatomocliniques... les modèles explicatifs abondent. Tous ont très certainement leur part de vérité ; l'interdisciplinarité recoupe maintes observations et débouche sur de réelles pistes qui peuvent redonner quelque espoir aux dyscalculiques.



ISBN : 978-2-8066-0311-1
Dépôt légal : 2011/9202/310
Prix : 9 €
ID EME : E1045947

Avoir ou pas la bosse des maths ?

Acquisition normale et pathologique des compétences numériques

Actes coordonnés et présentés
par Luc Canautte



Actes du colloque organisé par la section de logopédie de la Haute École
Robert Schuman et la Fédération des Ecoles de Logopédie
- 10 Mars 2012 -

E.M.E. Société

Vers un déficit numérique de base dans la dyscalculie développementale

Marie-Pascale NOËL
et Laurence ROUSSELLE

Résumé

La dyscalculie développementale (DD) est un trouble persistant et spécifique du développement numérique et des apprentissages mathématiques. Ces dernières années, plusieurs auteurs ont proposé que la DD résulte d'un déficit fondamental dans la représentation de la magnitude numérique (par exemple, Butterworth, 1999, 2005; Wilson et Dehaene, 2007). Dans cet exposé, nous soutiendrons l'hypothèse que le premier déficit observé dans la DD n'est pas la marque d'un déficit au niveau de la représentation de la magnitude numérique mais qu'il s'agirait plutôt d'un déficit au niveau de la construction d'une représentation exacte de la valeur numérique. Cette représentation numérique exacte se développerait grâce à l'apprentissage et à la manipulation des codes numériques symboliques. Cet article s'inspire largement d'un article que nous avons publié en anglais et disponible gratuitement on-line: Noël MP and Rousselle L (2011). Developmental changes in the profiles of dyscalculia: an explanation based on a double exact-and-approximate number representation model. *Front. Hum. Neurosci.* 5:165. doi: 10.3389/fnhum.2011.00165.

Une première histoire : un déficit de la représentation approximative du nombre

Une série de recherches a mis en évidence que les bébés naissent avec une capacité innée d'appréhender de manière approximative la quantité numérique. Ce système est appelé l'ANS pour Approximate Number System (Feigenson, Dehaene et Spelke, 2004, Lipton et Spelke, 2003, 2004, Xu, 2003, Xu et Spelke, 2000, Xu, Spelke et Goddard, 2005). Ce système permet à l'enfant de distinguer des collections pourvu qu'elles diffèrent entre elles par un rapport numérique suffisant. À six

mois, l'enfant peut ainsi distinguer des collections qui entretiennent un rapport de $\frac{1}{2}$ entre elles (comme 8 et 16, par exemple) mais pas celles qui entretiennent un rapport de $\frac{2}{3}$ entre elles (comme 8 et 12 ou 16 et 24, voir par exemple Xu, & Spelke, 2000). À 9 mois, l'enfant peut distinguer des collections qui diffèrent par un rapport de $\frac{2}{3}$ mais pas celle qui entre dans des rapports de $\frac{3}{4}$ (Xu & Ariaga, 2007). Ce seuil de discrimination est appelé l'acuité numérique. Cette acuité se développe au cours de l'enfance (Halberda et Feigenson, 2008). Pour certains auteurs, cette représentation approximative serait la base des apprentissages numériques ultérieurs. Ainsi, la signification des mots nombres serait acquise grâce à l'établissement de connexions entre ces mots et les quantités correspondantes dans cet ANS (Dehaene, 1992; Dehaene et Cohen, 1995, 1997; Gallistel et Gelman, 1992). Cet ANS serait aussi la base des apprentissages numériques ultérieurs, y compris l'arithmétique et les mathématiques. En effet, il a été montré qu'une mesure de l'acuité numérique prise à 14 ans corrèle avec la performance en mathématique tout au long de la scolarité, jusqu'à la maternelle (Halberda, Mazzocco et Feigenson, 2008).

Dans cette conception, plusieurs chercheurs ont proposé que la DD puisse résulter d'un dysfonctionnement de base de cette représentation innée de la quantité numérique (Butterworth, 1999, 2005; Landerl, Bevan et Butterworth, 2004; Wilson et Dehaene, 2007). À l'appui de cette hypothèse, plusieurs études ont montré que l'acuité numérique des enfants DD était inférieure à celle d'enfants contrôles. Ainsi, lorsqu'on leur présente deux collections de points et qu'ils doivent, sans compter, détecter celle qui en contient le plus, les enfants DD sont moins performants que les enfants contrôles lorsque les deux collections sont proches sur le plan numérique (Mazzocco, Feigenson et Halberda, 2011; Piazza, Facoetti, Trussardi, Berteletti, Conte, Lucangeli, Dehaene et Zorzi, 2010). De même Mussolin, Mejias et Noël (2010) ont observé que des enfants DD étaient plus lents et moins précis que des enfants contrôles lorsqu'ils devaient comparer des petites numerosités proches. Enfin, des différences sont également apparues dans des tâches d'estimation numérique dans lesquelles les enfants devaient, sans compter, soit estimer le nombre de points présentés, soit produire rapidement une collection correspondant à un nombre arabe cible. Dans ces tâches, les estimations des enfants DD étaient plus variables et moins précises que celles des enfants sans difficulté d'apprentissage (Mejias, Mussolin, Rousselle, Grégoire et Noël, sous presse ; voir aussi Mazzocco, Feigenson & Halberda, 2011).

Cependant, d'autres études ont apporté des résultats qui ne soutiennent pas cette hypothèse. D'une part, dans des populations d'enfants tout venant, aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre l'acuité numérique mesurée dans une tâche de comparaison de deux collections et la performance dans un test de mathématique (Holloway et Ansari, 2009; Mundy et Gilmore, 2009). D'autre part, plusieurs études comparant la performance d'enfants DD et d'enfants sans difficulté d'apprentissage dans des tâches de comparaison de collections, n'ont mis en évidence aucune différence significative entre les deux groupes (de Smedt et Gilmore, 2011; Iuculano, Tang, Hall et Butterworth, 2008; Landerl et Kölle, 2009; Rousselle et Noël, 2007). Cependant, dans toutes ces études, les enfants DD se montraient moins performants que les enfants contrôles dans des tâches de comparaison de nombres arabes et dans celles de calcul. En conséquence, Rousselle et Noël (2007) ont proposé que le déficit central dans la dyscalculie ne concerne pas l'ANS lui-même mais bien l'accès à la représentation de la magnitude numérique à partir des codes symboliques.

Tableau 1

Comment pouvons-nous expliquer ces résultats contradictoires ? Si nous répertorions toutes les études qui ont comparé la performance d'enfants DD et contrôles dans des tâches exigeant de traiter la magnitude numérique de collections (ensembles de points) ou de nombres symboliques (nombres arabes ou nombres verbaux) et que nous sériions ces études suivant l'âge des sujets testés, un profil clair apparaît (voir tableau 1). Premièrement, quel que soit l'âge des enfants testés, la performance des enfants DD est significativement plus pauvre que celle des enfants contrôles lorsqu'il s'agit de traiter la magnitude des nombres symboliques. Deuxièmement, pour ce qui concerne les tâches non symboliques, une dissociation apparaît entre les études qui ont testé des enfants jeunes (6-9 ans) et celles qui ont testé des enfants plus âgés (10 et plus): seules les secondes ont mis en évidence une différence significative entre les deux groupes, au détriment des enfants DD. Ainsi, le premier déficit observé chez les enfants DD ne concernerait pas le traitement de la magnitude numérique en soi mais bien l'accès à cette représentation à partir des

codes symboliques (nombres arabes ou mots). Le déficit observé dans le traitement des collections n'apparaît que secondairement. Devant cette observation, nous devons d'abord admettre que l'hypothèse d'un déficit de la représentation approximative du nombre comme base de la DD ne tient pas la route. En effet, si tel était le cas, des difficultés de comparaison de collections devraient être observées dès le plus jeune âge. D'autre part, si les difficultés dans le traitement des nombres symboliques s'expliquaient par leur connexion avec cet ANS déficitaire, elles ne pourraient qu'être secondaire à l'observation d'un défaut d'ANS, et non la précéder. Une autre interprétation doit donc être proposée. Enfin, étant donné le changement de profil suivant l'âge des enfants, une perspective développementale doit être adoptée.

Une représentation approximative et une représentation exacte du nombre

De plus en plus de données développementales récentes suggèrent que la signification des mots nombres ne serait pas acquise par simple mise en lien avec l'ANS. Premièrement, on observe que l'enfant prend quasi un an entre le moment où il est capable de réciter dans l'ordre les premiers mots nombres et le moment où il montre une compréhension de la valeur cardinale de ces mots nombres, c'est-à-dire qu'il peut donner, sur ordre, « un », « deux », « trois » ou « n » objets (Wynn, 1992). Si cette compréhension de la valeur cardinale des mots nombre se faisait par simple couplage entre la représentation des mots et celle de la quantité au niveau de l'ANS, on ne comprend pas pourquoi ce développement est si long. D'autre part, ce développement est sériel : l'enfant comprend d'abord la valeur cardinale du mot « un », et puis celle de « deux », et puis celle de « trois ». Un apprentissage par simple couplage n'impose pas nécessairement cet aspect sériel. Enfin, les enfants qui connaissent la chaîne numérique pour les premiers mots nombres mais qui ne comprennent pas encore leur valeur cardinale ne montrent pas les caractéristiques typiques de l'ANS quand ils doivent estimer le nombre d'objets d'une collection (Le Corre et Carey, 2007).

Pour ces raisons, d'autres théories ont été avancées. Celles-ci soutiennent que l'apprentissage d'un système symbolique numérique permettrait l'émergence d'un nouveau système de représentation numérique dans l'ontogénie humaine (voir Carey, 2001, 2004; Wiese,

2003a et b, 2007; Noël, Grégoire, Meert et Seron, 2008). Dotée d'un contenu sémantique basé sur les informations ordinales incluses dans la séquence des nombres symboliques, cette nouvelle représentation permettrait de représenter la valeur numérique exacte, contrairement à l'ANS qui est une représentation approximative de la magnitude numérique.

Le modèle développemental de Carey (2001, 2004, 2009) illustre parfaitement ce point de vue. Carey propose que la valeur cardinale des premiers mots nombre serait construite à partir du système de maintien de la trace des objets. Le système de maintien de la trace des objets permet de construire la représentation de petits ensembles (par exemple, une représentation du type [objet], [objet], [objet] devant trois objets) et de vérifier, par correspondance terme à terme, si une autre collection contient ou non, le même nombre d'éléments. Ce mécanisme est de capacité limitée : il permet de maintenir la trace de 3 ou 4 objets maximum (Kahneman, Treisman et Gibbs, 1992; Simon, 1997; Trick et Pylyshyn, 1994). Contrairement à l'ANS, le système de maintien de la trace des objets fournit une représentation exacte, bien qu'implicite, des petites numérosités. En outre, en créant un modèle mental pour chaque nouvel élément, ce système fournit une représentation naturelle de l'opération « ajouter un » à un ensemble.

La capacité à représenter les relations ordinales et la sensibilité aux marqueurs syntaxico-sémantiques de la langue (e.g., en français, la marque du singulier / pluriel : un lapin, des lapins, le chat dort ; les chats dorment) pourraient aussi jouer un rôle significatif dans ce développement (voir aussi Wiese, 2003a, 2003b et Sarnecka, Kamenskaya, Yamana, Ogura & Yudovina, 2007). Tous ces outils permettraient à l'enfant de découvrir progressivement la signification du mot « un », puis, quelques mois après, celle du mot « deux », puis quelques mois plus tard encore, celle du mot « trois » et puis « quatre ». Comme le système de maintien de la trace des objets a une capacité limitée et ne permet pas de suivre la trace de plus de 3 ou 4 objets en parallèle, un autre mécanisme doit entrer en jeu pour la suite de ce développement.

En effet, à cette étape, l'enfant doit découvrir que la valeur cardinale d'un mot nombre est déterminée par sa position dans la suite numérique. Il doit donc découvrir l'analogie qui existe entre d'une part l'incrémentation de la suite des mots dans la chaîne numérique

verbale et l'augmentation de la taille des collections comptées. Il construirait alors une représentation numérique, précise et régie par la fonction de succession +1 selon laquelle le cardinal d'un mot dans la liste correspond au cardinal du mot précédent dans la liste, auquel on ajoute une unité exactement. Sarnecka et Carey (2008) ont montré que la découverte de cette fonction de succession se fait en deux temps. D'abord, l'enfant comprend qu'ajouter un élément à une collection conduit à un cardinal étiqueté par un mot qui vient plus loin dans la suite numérique que celui correspondant au cardinal de la collection de départ. Ensuite l'enfant comprend que l'ajout d'un élément à la collection conduit à un cardinal qu'on étiquette avec le mot qui vient juste après celui utilisé pour étiqueter le cardinal de la collection de départ. Quand l'enfant a découvert cela, il maîtrise la fonction de succession et a découvert comment les nombres verbaux représentent les nombres naturels.

Enfin, ce ne serait que près de 6 mois après cette découverte que l'enfant mettrait en correspondance cette nouvelle représentation précise du nombre avec sa représentation primitive et approximative de la quantité numérique (Le Corre & Carey, 2007). En effet, ce n'est qu'à ce moment-là que dans une tâche d'estimation du cardinal d'une collection (sans les compter), les enfants produisent des estimations qui croissent avec la taille de la collection.

Figure 1

Cette distinction entre une représentation numérique approximative, innée d'une part, et une représentation exacte du nombre, qui se développerait grâce aux codes numériques symboliques, d'autre part (voir figure 1) permet une nouvelle compréhension du profil de performance observé dans la DD. En effet, comme le montre le tableau 1, la première difficulté observée chez les enfants DD concerne la manipulation de la grandeur numérique correspondant à des symboles numériques. On pourrait dès lors envisager que le déficit de base des enfants DD concernerait le développement d'une représentation numérique exacte telle qu'apportée par les symboles numériques (nombres arabes et nombres verbaux). Une difficulté à ce niveau est effectivement observée à tout âge et de manière consistante à travers les études.

Reste bien sûr à comprendre pourquoi ce type de difficulté apparaît. A l'heure actuelle, aucune réponse satisfaisante ne peut être donnée. Néanmoins, des pistes peuvent être proposées. Ainsi, comme nous l'avons mentionné plus haut, une des bases de cet apprentissage est le système de maintien de la trace des objets. Ce système permet le subitizing, c'est-à-dire, la capacité de dénommer de manière très rapide et exacte le nombre d'éléments présents dans des très petites collections (1 à 4-5 éléments) (Mandler & Shebo, 1982).

Très récemment, certaines recherches se sont intéressées à cette capacité chez les enfants DD. Ainsi, Schleifer et Landerl (2010) montrent que les enfants DD auraient un subitizing réduit (voir aussi Koontz, & Berch, 1996). Une réplique de ces résultats est bien sûr nécessaire mais indique une voie d'exploration intéressante.

La dernière question à considérer est celle de savoir pourquoi, plus tard dans le développement, les enfants DD montrent une difficulté, par rapport aux enfants contrôles, à comparer des collections. Selon le modèle développemental de Carey (2009), les symboles numériques amènent à développer une représentation exacte du nombre qui, ensuite, se connecte à l'ANS. On pourrait dès lors, faire l'hypothèse que cette connexion conduit à un raffinement de l'ANS, c'est-à-dire, à un accroissement de sa précision. On pourrait également imaginer que la manipulation des représentations numériques exactes dans les traitements de calcul conduise également à un affinement de l'ANS. Chez les enfants DD qui ont du mal à développer une représentation précise du nombre à partir des symboles et à manipuler cette représentation lors de tâches de calcul, ce raffinement pourrait être retardé ou moins efficace. Par conséquent, une difficulté initiale à traiter la magnitude des nombres symboliques entraînerait un développement retardé ou ralenti du processus d'affinement de la précision de l'ANS. Ceci conduirait donc, dans un second temps, à voir émerger des différences significatives entre enfants DD et contrôles dans des tâches mesurant la précision de l'ANS, comme les tâches de comparaisons de quantités.

En résumé, l'analyse des performances des enfants DD nous amène à postuler l'existence d'un déficit de base dans la construction d'une représentation numérique exacte du nombre. Cette difficulté perturberait le processus d'affinement de l'ANS et conduirait alors, dans un second temps, à une immaturité dans le développement de l'ANS et donc, à un problème d'acuité de la représentation numérique approximative.

Bibliographie

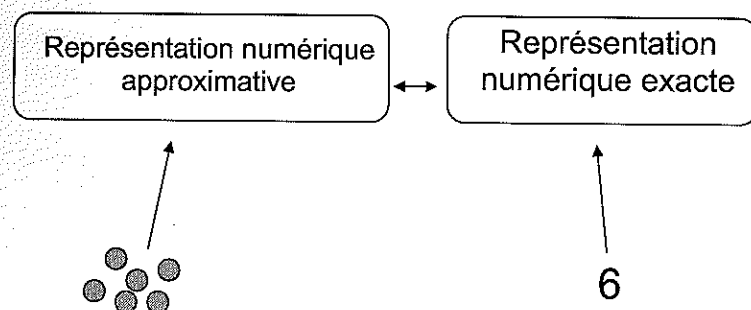
- BUTTERWORTH, B. (1999). *The Mathematical Brain*. London : Macmillan.
- BUTTERWORTH, B. (2005). *Developmental dyscalculia*. In J.I.D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition*. New York : Psychology Press.
- CAREY, S. (2001). *Cognitive foundations of arithmetic : evolution and ontogenesis*. *Mind & Language*, 16, 37-55.
- CAREY, S. (2004). *Bootstrapping and the origin of concepts*. *Daedalus*, 133, 59-68.
- CAREY, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford University Press.
- DE SMEDT, B., & GILMORE, C.K. (2011). *Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 278-292.
- DEHAENE, S. (1992). *Varieties of numerical abilities*. *Cognition*, 44, 1-42.
- DEHAENE, S., & COHEN, L. (1995). *Towards an anatomical and functional model of number processing*. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.
- DEHAENE, S., & COHEN, L. (1997). *Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantities knowledge of arithmetic*. *Cortex*, 33, 219-250.
- FEIGENSON, L., DEHAENE, S., & Spelke, E. (2004). *Core systems of number*. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 307-314.
- GALLISTEL, C. R., & GELMAN, R. (1992). *Preverbal and verbal counting and computation*. *Cognition*, 44, 43-74.
- HALBERDA, J., & FEIGENSON, L. (2008). *Developmental change in the acuity of the "number sense": The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults*. *Developmental Psychology*, 44, 1457-1465.
- HALBERDA, J., MAZZOCCO, M.M.M., & FEIGENSON, L. (2008). *Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement*. *Nature*, 455, 665-668.
- HOLLOWAY, I. D. & ANSARI, D. (2009). *Mapping numerical magnitudes onto symbols : the numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 17-29
- IUCULANO, T., TANG, J., HALL, C. W. B., & BUTTERWORTH, B. (2008). *Core information processing deficits in developmental dyscalculia and low numeracy*. *Developmental Science*, 11, 669-680.
- KAHNEMAN, D., TREISMAN, A., & GIBBS, B.J. (1992). *The reviewing of parallel individuations: object specific integration of information*. *Cognitive Psychology*, 24, 174-219.
- KOONTZ, K. L., & BERCH, D. B. (1996). *Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children*. *Mathematical Cognition*, 2, 1-23.
- LANDERL, K., & KÖLLE, C. (2009). *Typical and atypical development of basic numerical skills in elementary school*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 546-565.
- LANDERL, K., BEVAN, A., & BUTTERWORTH, B. (2004). *Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students*. *Cognition*, 93, 99-125.
- LANDERL, K.; FUSSENEGGER, B.; MOLL, K. & WILLBURGER, E. (2009). *Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 309-324.
- LE CORRE, M. & CAREY, S. (2007). *One, two, three, four, nothing more: an investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles*. *Cognition*, 105, 395-438.
- LIPTON, J.S., & SPELKE, E.S. (2003). *Origins of the number sense: large-number discrimination in human infants*. *Psychological Science*, 14, 396-401.
- LIPTON, J. S., & SPELKE, E. S. (2004). *Discrimination of large and small numerosities by human infants*. *Infancy*, 5, 271-290.
- MANDLER, G., & SHEBO, B.J. (1982). *Subitizing: An analysis of its components processes*. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111 (1), 1-22.

- MAZZOCCO, M.M.; FEIGENSON, L. & HALBERDA, J. (2011). *Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia)*. *Child Development*, 82(4), 1224-1237.
- MUNDY, E., & GILMORE, C.K. (2009). *Children's mapping between symbolic and non-symbolic representation of number*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 490-502.
- MEJIAS, S., MUSSOLIN, C., ROUSSELLE, L., GRÉGOIRE, J. & NOËL, M-P. (in press). *Numerical and non-numerical estimation in children with and without mathematical learning disabilities*. *Child Neuropsychology*
- MUSSOLIN, C., MEJIAS, S. & NOËL, M-P. (2010). *Symbolic and non-symbolic number comparison in children with and without dyscalculia*. *Cognition*, 115, 10-25.
- NOËL, M-P., GRÉGOIRE, J., MEERT, G. & SERON, X. (2008). *The innate schema of natural numbers does not explain historical, cultural, and developmental differences*. *Behavioral and Brain Sciences*, 31, 6, 664-665.
- PIAZZA, M., FACIOETTI, 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, 33-41.
- PRICE, G. R., HOLLOWAY, I., RASANEN, P., VESTERINEN, M., & ANSARI, D. (2007). *Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia*. *Current Biology*, 17(24), R1042-R1043.
- 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.
- SARNECKA, B.W., & CAREY, S. (2008). *How counting represents number: What children must learn and when they learn it*. *Cognition*, 108, 662-674.
- SARNECKA, B.W., KAMENSKAYA, V.G., YAMANA, Y., OGURA, T., YUDOVINA, Y.B. (2007) *From grammatical number to exact numbers: Early meanings of 'one', 'two', and 'three' in English, Russian and Japanese*. *Cognitive Psychology*, 55 (2), 136-168

- SCHLEIFER, P. & LANDERL, K. (2010). *Subitizing and counting in typical and atypical development*. *Developmental Science*, 1-12.
- SIMON, T. J. (1997). *Reconceptualizing the origins of number knowledge: A "non-numerical" account*. *Cognitive Development*, 12, 349-372.
- TRICK, L.M., & PYLYSHYN, Z.W. (1994). *Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision*, *Psychological Review*, 101(1), 80-102.
- WIESE, H. (2003a). *Iconic and non-iconic stages in number development: the role of language*, *Trends in Cognitive Sciences*, 7(9), 385-390.
- WIESE, H. (2003b). *Numbers, language and the human mind*. Cambridge : Cambridge University Press.
- WIESE, H. (2007). *The co-evolution of number concepts and counting words*. *Lingua*, 117, 758-772.
- WILSON, A. J., & DEHAENE, S. (2007). *Number sense and developmental dyscalculia*. In D. Coch, G. Dawson & K. Fischer (Eds.), *Human behavior, learning, and the developing brain: Atypical development* (2nd ed.) (pp. 212-237). New York : Guilford Press.
- WYNN, K. (1992). *Children's acquisition of the number words and the counting system*. *Cognitive Psychology*, 24, 220-251.
- XU, F. (2003). *Numerosity discrimination in infants : evidence for two systems of representations*, *Cognition*, 89, B15-25.
- XU, F. & ARIAGA, R. (2007). *Number discrimination in 10-month-old infants*. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(1), 103-108.
- XU, F., & SPELKE, E. S. (2000). *Large number discrimination in 6-month-old infants*, *Cognition*, 74, B1-B11.
- XU, F., & SPELKE, E. S., & GODDARD, S. (2005). *Number sense in human infants*. *Developmental Science*, 8, 88-101.

Remerciement : Les deux auteurs sont soutenus par le FNRS : Fonds National de la Recherche Scientifique de Belgique.

Figure 1. Un modèle avec deux représentations numériques: une représentation approximative et une représentation exactes pour les nombres symboliques.



Références	Age	Symbolique	Non-symbolique
De Smedt & al. (2011)	6 ans	DD<C	DD=C
Rousselle & al. (2007)	7 ans	DD<C	DD=C
Landerl & al. (2004)	8-9 ans	DD<C	-
Iuculano & al. (2008)	8-9 ans	DD<C	DD=C
Landerl & Kölle (2009)	8-9-10 ans	DD<C	DD=C
Landerl, Fussenegger & al. (2009)	8-9-10 ans	DD<C	DD<C
Piazza & al. (2011)	10 ans	-	DD<C
Mussolin, & al. (2010)	10-11 ans	DD<C	DD<C
Price & al. (2007)	12 ans	-	DD<C
Mazzocco & al. (2011)	14 ans	-	DD<C