

## Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique

Anne Lafay\*, Marie-Catherine Saint-Pierre\*\*, Joël Macoir\*\*\*

\* Orthophoniste, étudiante au doctorat Médecine Expérimentale  
Université Laval, Faculté de médecine, Département de réadaptation, Québec, Canada  
Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec, Canada

\*\* Orthophoniste, PhD  
Université Laval, Faculté de médecine, Département de réadaptation, Québec, Canada  
Centre Interdisciplinaire de Recherche en Réadaptation et Intégration Sociale, Québec, Canada

\*\*\* Orthophoniste, PhD  
Université Laval, Faculté de médecine, Département de réadaptation, Québec, Canada  
Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec, Canada

\* Auteur de correspondance  
Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé mentale de Québec, Université Laval  
2601, de la Canardière - Québec (Québec), CANADA, G1J 2G3  
Email: [anne.lafay.1@ulaval.ca](mailto:anne.lafay.1@ulaval.ca)

**Résumé :**

Comprendre précisément les processus qui sous-tendent le développement numérique représente un enjeu majeur pour bien cerner l'apprentissage des mathématiques, les troubles numériques, leur diagnostic et leur remédiation, ainsi que pour le repérage précoce des enfants à risques. La représentation analogique (i.e., non symbolique) des nombres, à savoir les représentations numériques mentales, est fondamentale pour le développement des compétences numériques. Cette représentation se distingue en deux systèmes de base : le Système Numérique Approximatif (SNA), permettant la perception et le traitement approximatif des quantités et le Système Numérique Précis (SNP), permettant la perception rapide et le traitement précis des petites quantités. L'enfant montre des habiletés numériques très précoces qui continuent à s'améliorer avec l'âge jusqu'à devenir parfaitement efficaces à l'âge adulte : le jeune enfant est ainsi en mesure de *subitiser* des petites quantités (grâce au SNP) dès l'âge de 5 ans, mais devient de plus en plus rapide avec l'âge ; il est également capable de comparer des nombres, estimer des collections ou placer un nombre sur une ligne numérique (grâce au SNA), mais ses représentations numériques mentales deviennent de plus en plus précises avec l'âge. Il n'existe à ce jour aucun consensus quant au rôle de ces systèmes dans la construction des habiletés numériques. Alors que certains auteurs attribuent un rôle différentiel certain au SNA ou au SNP, d'autres suggèrent une implication des deux systèmes. Dans cette revue de la littérature, nous présentons brièvement et critiquons les travaux traitant du développement de ces deux systèmes numériques de base et leur lien avec les habiletés arithmétiques.

**Mots clés :** cognition, enfant, développement, mathématiques, systèmes numériques de base, représentations numériques.

### **Development of no symbolic numerical systems and predictors of mathematical success**

**Summary :**

Accurately understand the processes underlying the development of numerical abilities represents a major challenge for the comprehension of mathematical learning, for the diagnosis and treatment of numerical disorders, as well as for early identification of children at risk. The analog representation (i.e., non symbolic) of numbers, namely mental numerical representations, is essential to the development of numerical skills. This representation is composed of two core systems : the Approximate Numerical System (ANS), responsible for the approximate processing of quantities, and the Precise Numerical System (PNS) involved in quick perception and accurate processing of small quantities. The early numerical skills of the child improve with age to become efficient in adulthood : the 5-year-old child is actually able to subitize small quantities (through the PNS), but he becomes faster with age ; he is also able to compare numbers, to estimate collections or to place numbers on a number line (through the ANS), but his mental numerical representations become more accurate with age. To date, there is no consensus about the role of these systems in the development of numerical abilities. While some authors attribute an undoubted role to the ANS or to the PNS, others rather suggest a combined involvement of both systems. In this literature review, we briefly

present and criticize the studies about the development of these two basic numerical systems as well as their links with arithmetical skills.

**Key words :** cognition, child, development, mathematic, core numerical systems, number representations.

## ----- INTRODUCTION -----

La dyscalculie est un trouble du développement des capacités numériques qui affecte environ 1 à 10 % des enfants. Ce trouble peut persister jusqu'à l'âge adulte et interfère avec les apprentissages scolaires de l'enfant. Il peut aussi conduire à le marginaliser et le stigmatiser en plus de nuire à son insertion sociale et professionnelle future. Pour toutes ces raisons, il est indispensable de comprendre précisément les processus qui sous-tendent le développement numérique, les prédicteurs de réussite en mathématiques et les facteurs de risque de la dyscalculie. Très peu nombreuses sont les études s'intéressant au domaine de la cognition numérique, encore moins au développement des compétences numériques de base chez l'enfant très jeune. L'objectif de cette revue est de répertorier et analyser les résultats des études relatives au développement numérique, aux compétences numériques de base chez les tout petits et à leur lien avec les compétences mathématiques futures. Ces connaissances sont primordiales afin de repérer au mieux les jeunes enfants ayant des risques de présenter des troubles numériques spécifiques et ainsi pouvoir les orienter au plus tôt vers l'aide appropriée.

Piaget et Szeminska (1941) stipulaient que l'accès au nombre chez l'enfant est tardif : avant ses 6 ans, l'enfant ne posséderait pas les structures logiques requises pour appréhender, comprendre et utiliser le concept de nombre invariant (i.e., le nombre demeure identique à lui-même quelle que soit la disposition des éléments qui le composent). Toutefois, les données récentes relatives aux aptitudes numériques et arithmétiques issues de travaux menés chez le bébé et l'animal, en neuropsychologie (à savoir l'étude de patients adultes acalculiques ou d'enfants dyscalculiques), en neuroimagerie et en génétique remettent ce postulat en question (Butterworth, 2005).

Plusieurs études suggèrent que les représentations analogiques sont innées chez le bébé et l'animal. Tous deux sont ainsi capables de traiter des petites quantités avec précision ou des grandes quantités de manière approximative (Brannon, 2006) et de manipuler des ensembles de points afin de réaliser des opérations mathématiques basiques. Par exemple, des bébés âgés de seulement quelques semaines peuvent identifier des collections de deux ou trois objets (Starkey, Cooper, 1980) alors que des bébés de 5 mois sont capables d'additionner ou soustraire deux petites collections (Wynn, 1992). De plus, des bébés de 9 mois peuvent faire des calculs approximatifs et sont capables de repérer le calcul erroné lorsqu'on leur présente " $10-5 = 10$  ou  $5$ " et " $5+5 = 10$  ou  $5$ " en manipulation d'objets (McCrink, Wynn, 2004). En ce qui concerne les habiletés des animaux, les macaques préfèrent choisir la boîte contenant le plus de quartiers de pommes lorsqu'ils doivent choisir entre 1 et 2, entre 2 et 3, entre 3 et 4 (Hauser, Carey, Hauser, 2000). De plus, ils sont capables de discriminer le résultat correct d'additions simples avec des petites quantités, telles que " $1+1 = 2$  ou  $3$ " ou " $2+1 = 3$  ou  $4$ " (Hauser, Carey, 2003).

D'autres études montrent aussi la présence chez le jeune enfant de compétences informelles en mathématiques. Vers 4 ans, les enfants sont capables de résoudre des petits problèmes additifs faisant intervenir des quantités allant jusqu'à 8 (Levine, Jordan, Huttenlocher, 1992). A partir de 5-6 ans, les enfants sont capables de résoudre des petits problèmes additifs sous forme verbale (*Beth a m ballons. Steve lui donne n ballons de plus. Combien de ballons Beth a-t-elle en tout ?*) ou sous forme décomposée (*Combien font n et m ?*) (Jordan, Huttenlocher, Levine, 1992 ; Jordan, Levine, Huttenlocher, 1994). Ces enfants mettent ensuite en place des stratégies de comptage, d'automatisation des procédures de comptage et de récupération en mémoire. Au delà de la compétence observée chez les enfants, il est légitime de poser la

question du processus de développement des compétences numériques. En effet, même s'il est admis que l'enfant très jeune possède déjà des compétences numériques préverbales et informelles, aucun consensus n'est établi quant au processus de développement numérique et d'acquisition arithmétique. Pourtant, il est primordial de connaître les prédicteurs des compétences numériques (Dowker, 2005) afin de pouvoir cerner au mieux et dès le plus jeune âge les compétences pré-numériques essentielles au développement numérique et les signes d'appel de la dyscalculie.

Selon Gersten, Jordan et Flojo (2005), les indicateurs potentiels de la dyscalculie en maternelle à 5-6 ans sont d'ordre numérique (faible compétence à comparer des magnitudes de chiffres arabes, pauvreté des procédures de comptage utilisées, faible compétence à lire des chiffres arabes) et cognitif (faible compétence en mémoire de travail, à savoir un faible empan de chiffres à l'envers). Selon Jordan (*Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants - Numératie*, 2010), les facteurs de risque de difficultés en mathématiques chez le jeune enfant sont centrés sur les aspects numériques : un faible *sens du nombre* (c'est-à-dire un déficit du traitement des représentations non symboliques du nombre et une altération des représentations numériques mentales), des difficultés à reconnaître et comparer les nombres, des difficultés à compter et énumérer des séries d'objets et à nommer des nombres, des difficultés dans le calcul non verbal. Toutefois, les facteurs de risque de dyscalculie présentés réfèrent le plus souvent à des performances dans des tâches d'évaluation (ex : comptage, dénombrement, reconnaissance des chiffres écrits) plutôt qu'aux processus et compétences de base qui sous-tendent les compétences numériques. L'objectif de cette revue est d'envisager le développement des habiletés numériques chez le jeune enfant, sur la base du modèle du Triple Code proposé par Dehaene (1992) pour expliquer le fonctionnement cognitif du traitement des nombres.

## ----- METHODOLOGIE -----

La recherche bibliographique a été effectuée dans les banques de données *PubMed* et *Psychinfo* à l'aide de mots clés utilisés de façon combinée et sans limite quant aux dates de publication : *children*, *numerical development*, *number basic skills* et *number sense*. Quarante-cinq articles ont été sélectionnés pour cette revue. Seuls les articles concernant les enfants préscolaires, de maternelle ou d'âge primaire ont été sélectionnés. De plus, ont été exclus les articles s'intéressant spécifiquement à la dyscalculie développementale, soit un trouble spécifique du développement des habiletés numériques, ou à tout autre pathologie affectant les habiletés numériques.

Cette revue de littérature comporte d'abord une section relative au modèle du Triple Code (Dehaene, 1992). La section suivante porte sur les deux mécanismes de la représentation analogique des nombres : le système numérique précis (SNP) et le système numérique approximatif (SNA). Enfin, les troisième et quatrième sections concernent les études qui portent sur le SNA et le SNP chez l'enfant et leurs aspects développementaux et prédictifs en mathématiques.

### 1. Modèle du Triple Code

Le modèle du Triple Code (Dehaene, 1992), qui vise à expliquer les traitements numériques cognitifs de l'adulte, postule que trois systèmes de représentation sont mobilisés pour le

traitement du nombre. La première représentation, dite analogique, sert à effectuer des comparaisons numériques et des calculs approximatifs. Cette capacité innée, sous-tendue par le lobe pariétal, et plus particulièrement par le sulcus intrapariétal, permet de traiter approximativement les quantités et traduit la sémantique des nombres. Ce système non symbolique permet une évaluation précise des petites quantités et une estimation approximative des grandes collections. Les deux autres représentations numériques, auditive verbale et visuelle arabe, sont symboliques et asémantiques. La représentation auditive verbale est utilisée principalement dans l'activité de comptage et dans l'utilisation des tables. Elle permet de coder la numérosité et intervient dans les activités de calcul précis. La représentation visuelle arabe, qui correspond à la forme visuelle des nombres arabes, intervient dans les activités de calcul précis et permet de réaliser des calculs mentaux complexes ainsi que des jugements de parité. Seuls les systèmes symboliques, auditif verbal et visuel arabe, permettent donc de réaliser des calculs précis au-delà des petites quantités.

## 2. Deux systèmes de représentations numériques non symboliques

La représentation analogique (i.e., non symbolique) des nombres, est innée et fondamentale pour le développement des compétences arithmétiques. Feigenson, Dehaene et Spelke (2004) défendent l'existence de deux processus numériques distincts et spécifiques : le système des représentations approximatives des quantités numériques (ou Système Numérique Approximatif, dit SNA) et le système des représentations précises des petites quantités d'objets individuels (ou Système Numérique Précis, dit SNP).

### **Le Système Numérique Précis (SNP)**

Le SNP renvoie au processus de subitizing, c'est-à-dire la perception intuitive, rapide et innée des petites quantités, sans recourir au comptage. Le SNP est limité et ne permet d'appréhender que les petites quantités, soit 1, 2 et 3 selon Fayol, Perros et Seron (2004) ou 1 à 5 selon Starkey et Cooper (1995). Une étude transversale (Schleifer, Landerl, 2011), menée auprès d'enfants de 8 et 11 ans, d'adolescents de 14 ans et de jeunes adultes, montre que les quantités pour lesquelles un traitement numérique rapide est possible sont limitées à 1, 2 et 3, et confirme ainsi les résultats rapportés par Fayol et al. (2004).

### **Le Système Numérique Approximatif (SNA)**

Le SNA renvoie au processus d'estimation, soit le processus rapide et intuitif permettant de percevoir approximativement de grandes quantités. Les représentations numériques mentales obéissent à la loi de Weber-Fechner qui correspond à une compression logarithmique des représentations numériques mentales lorsque les quantités réelles augmentent. Les adultes sont soumis à cette loi lorsqu'ils doivent comparer des quantités exprimées tant symboliquement (par exemple, les nombres 3 et 7 écrits en code arabe) que non symboliquement (par exemple, les nombres 3 et 7 exprimés analogiquement ●●● et ●●●●●●) (Brannon, 2006). De cette loi découlent deux effets principaux : l'effet de taille selon lequel la comparaison des petites quantités est plus rapide que celle des grandes (ex : comparer 4 vs 8 est plus rapide que comparer 32 vs 36) ; et l'effet de distance selon lequel il est plus rapide de comparer des quantités éloignées que des quantités proches (ex : comparer 2 vs 9 est plus rapide que comparer 2 vs 4). Dès 5 ans, les enfants sont affectés par l'effet de distance (Gilmore, McCarthy, Spelke, 2007), sans par ailleurs qu'un enseignement formel ait été effectué. Brannon (2006) souligne que l'absence de lexique pour les mots-nombres dans les

tribus amazoniennes n'empêche pas la réussite à des tâches non verbales de comparaisons, d'additions et de soustractions d'ensembles de points, suggérant ainsi que ces compétences sont indépendantes du langage et que le SNA est inné.

## Résumé

Le système non symbolique des nombres comporte deux systèmes distincts : le SNP responsable du traitement rapide des petites quantités et le SNA responsable du traitement approximatif des grandes quantités. Les représentations numériques mentales jouent un rôle dans le développement des représentations numériques précises et symboliques, mais il n'existe aucun consensus quant aux rôles respectifs du SNA et du SNP. Feigenson, Dehaene, Spelke (2004) attribuent un rôle certain au SNA, alors que Carey (2001, 2004) attribue au contraire un rôle majeur au SNP (cf. Piazza (2010) pour une revue sur les arguments neurocognitifs aux deux systèmes de représentations numériques). Les sections suivantes sont consacrées à l'étude de ces deux systèmes chez l'enfant et à leurs aspects prédictifs quant au développement des capacités mathématiques.

## 3. SNP et aspects prédictifs en mathématiques

Carey (2001, 2004) attribue un rôle central au SNP pour le développement du concept de nombres naturels, selon un processus appelé *bootstrapping*, à savoir une boucle entre le subitizing des petites quantités et le code numérique oral. Selon cette conception, l'enfant parvient à reconnaître des petites collections ; en les dénombrant (via la routine du comptage), il peut alors associer un mot-nombre à une collection précise. Il peut ainsi comprendre le principe de cardinalité et inférer sur la suite de la comptine numérique et le lien à de plus grandes collections. Trois éléments seraient donc essentiels dans le développement du concept d'entiers naturels : le subitizing des petites quantités, le dénombrement et la comptine numérique. La suite de la section est consacrée au processus de subitizing, dépendant du SNP, qui joue un rôle central dans le développement des habiletés numériques. Les aspects du dénombrement et du langage ne sont pas abordés ici dans une volonté de concentrer la revue sur les systèmes numériques de base.

### Aspects développementaux

Le processus de subitizing est considéré comme une compétence numérique innée. Par exemple, Starkey et Cooper (1980) montrent que des bébés âgés de seulement quelques semaines peuvent identifier des collections de deux ou trois objets. Toutefois, une étude transversale (Schleifer, Landerl, 2011), menée auprès d'enfants de 8 et 11 ans, d'adolescents de 14 ans et de jeunes adultes, vient nuancer cette proposition. Les résultats de cette étude indiquent en effet que les enfants de 11 ans ont les mêmes performances de subitizing des quantités 1, 2 et 3 que les adultes, alors que les enfants plus jeunes (8 ans) sont moins rapides, suggérant que le processus de subitizing, considéré comme inné, évolue et s'améliore jusqu'à l'âge de 11 ans, où il atteint des capacités comparatives à celles des adultes.

### Aspects prédictifs des mathématiques

Quelques études portent sur la nature prédictive des compétences relatives au SNP, démontrées par les très jeunes enfants, sur le développement de leurs habiletés mathématiques. Dans une étude longitudinale portant sur les performances arithmétiques et

pré-numériques (chaîne numérique, comptage, connaissance du système de numération, structures logiques, estimation, subitizing) d'enfants de 5-6 ans, de 6-7 ans, et d'enfants dyscalculiques de 8-9 ans, Desoete et Grégoire (2006) montrent que les enfants de 6-7 ans qui ont des difficultés arithmétiques sont aussi ceux qui présentaient de faibles performances pré-numériques plus jeunes. Toutefois, l'étude n'indique pas la part de prédiction de chaque composante pré-numérique quant aux performances arithmétiques futures. Il est donc nécessaire d'étudier le caractère prédictif du subitizing de manière isolée. L'étude de Lembke et Foegen (2009) porte sur le lien entre les compétences numériques de base à 5-6 ans et les performances à un test standardisé de mathématiques à 6-7 ans. Les auteurs proposent quatre tâches visant à évaluer les habiletés numériques de base : *subitiser* des petits ensembles de points, comparer deux nombres arabes, trouver le chiffre manquant dans une suite, et identifier des nombres arabes. Les résultats montrent que les performances globales en mathématiques à 6-7 ans sont corrélées aux performances de subitizing à 5-6 ans et aux habiletés à identifier un nombre arabe et à trouver un chiffre arabe manquant dans une suite de chiffres. Cette étude montre donc qu'il existe un lien entre les mathématiques et le subitizing d'une part, et la reconnaissance du code arabe d'autre part, mais une corrélation n'implique pas nécessairement une relation causale entre les deux habiletés.

Ces résultats conduisent donc à s'interroger sur la présence possible de difficultés du SNP, et donc des capacités à *subitiser* des petites collections, chez les enfants dyscalculiques. Peu d'études ont spécifiquement porté sur cette question et celles rapportées ci-après ne font pas consensus. Desoete et Grégoire (2006) mettent en évidence un déficit du subitizing chez 33 % des enfants dyscalculiques de 8-9 ans, suggérant donc que ce facteur ne puisse être seul à l'origine de la dyscalculie. Cependant, notons que cette étude ne prend en compte que la performance ; prendre en compte le temps de traitement est primordial dans la mesure où il s'agit d'une compétence quasi-instantanée. Relativement à cet aspect, Schleifer et Landerl (2011) évaluent les aptitudes de subitizing et de dénombrement d'enfants dyscalculiques de 7 à 10 ans et montrent que ceux-ci présentent de bonnes performances mais une lenteur significative par rapport à leurs pairs contrôles au niveau du subitizing.

## Résumé

En conclusion, l'enfant est capable de *subitiser* des petites quantités dès l'âge de 5 ans. Toutefois, cette habileté considérée innée, s'inscrit davantage dans un processus évolutif qui se poursuit jusqu'à la fin de l'enfance et grâce auquel l'enfant devient de plus en plus rapide. Carey (2001, 2004) lui accorde une importance primordiale quant à son rôle dans le développement des concepts de nombre naturel. Ce processus de subitizing semble lié aux performances en mathématiques : on lui reconnaît une valeur prédictive et il semble être affecté chez les enfants dyscalculiques. Cependant, très peu d'études ont spécifiquement porté sur ce processus. Des études sont donc indispensables pour évaluer le développement du SNP de manière plus précise, en particulier avant l'âge de 5 ans, pour déterminer son caractère prédictif quant aux habiletés mathématiques et pour spécifier son intégrité ou son atteinte chez les enfants dyscalculiques.

## 4. SNA et aspects prédictifs en mathématiques

Au contraire de Carey (2001, 2004) qui accorde un rôle primordial au SNP dans la construction du concept de nombre naturel, Feigenson et al. (2004) et Piazza (2010) attribuent



un rôle central au SNA, système à la base de nombreuses activités numériques. Plusieurs arguments appuient cette hypothèse :

- l'indépendance du langage et des activités numériques impliquant le SNA (Brannon, 2006) ;
- l'implication des mêmes aires cérébrales dédiées au traitement numérique (aires pariétales) chez les enfants et les adultes (Temple, Posner, 1998) ;
- les habiletés numériques précoces chez l'enfant.

### **Aspects développementaux**

Le SNA semble tout à fait effectif chez les jeunes enfants qui se montrent capables d'accéder à ce système pour manipuler des quantités présentées dans des modalités diverses (visuelles ou auditives) et dans des formats différents (symboliques ou non). Plusieurs études appuient cette hypothèse. Tout d'abord, les études de Barth, La Mont, Lipton, Spelke (2005) et Barth et al. (2006) montrent que des enfants de 5 ans sont tout à fait en mesure d'estimer le résultat d'additions et de comparer des ensembles de points ou des séquences de sons. L'étude de Laski et Siegler (2007) montre aussi que les enfants de 5-6 ans à 7-8 ans sont capables de comparer des nombres présentés oralement. A l'aide d'une tâche de comparaison de chiffres arabes, White, Szücs, Soltész (2012) montrent que dès l'âge de 6 ans, les enfants réussissent très bien à comparer des chiffres, suggérant donc qu'ils sont capables de référer au SNA via ce code numérique arabe. Plus intéressant encore, Holloway et Ansari (2009) montrent que des enfants de 6 à 8 ans sont déjà affectés par l'effet de distance entre deux collections (symboliques et non symboliques) à comparer. Un même effet de distance est également observé par Gilmore et al. (2007) chez des enfants de 5 ans soumis à une tâche de comparaison de points. Ainsi, l'ensemble de ces études suggère que, dès l'âge de 5 ans, les enfants possèdent des représentations numériques approximatives aussi efficaces que celles des adultes.

White et al. (2012) tentent d'évaluer l'automatisme de l'accès aux représentations numériques et proposent à des enfants de 6 à 8 ans une tâche de comparaison de taille physique de chiffres arabes. Trois conditions sont mises en place : une condition congruente dans laquelle la taille physique et la taille numérique des chiffres correspondent, une condition non congruente dans laquelle la taille physique et la taille numérique des chiffres ne correspondent pas, et une condition neutre dans laquelle les chiffres ne diffèrent qu'au niveau de la taille physique. Les résultats montrent que les enfants sont moins précis et plus lents pour traiter les chiffres dans la condition non congruente que dans les conditions congruente ou neutre. Les auteurs concluent que l'accès automatique aux représentations numériques mentales existe déjà à 6 ans. Toutefois, une étude de Temple et Posner (1998) montre que les temps de réaction neurologiques (mesurés par électroencéphalographie) sont plus longs pour les enfants que pour les adultes lorsqu'ils doivent comparer des nombres arabes ou des ensembles de points. Les auteurs suggèrent alors que, comparativement aux adultes, les enfants ont un accès moins automatisé aux représentations numériques via le SNA. L'automatisme de l'accès aux représentations numériques reste donc à être clarifié.

Les enfants semblent donc posséder des compétences innées pour traiter les représentations numériques de manière approximative leur permettant, par exemple, de comparer des quantités. Certaines études suggèrent cependant que ces représentations ne sont pas tout à fait matures ni aussi précises que celles des adultes. Ces études portent sur l'acuité numérique (i.e., la précision numérique), mesurée par le ratio (i.e., le rapport) entre deux quantités à

comparer (ex : comparer les quantités 3 et 6 correspond à un ratio  $1/2$ , alors que comparer les quantités 3 et 9 correspond à un ratio  $1/3$ ). Dans ces tâches, plus le ratio est faible, plus la précision numérique est élevée. Halberda et Feigenson (2008) réalisent une étude transversale portant sur l'acuité numérique auprès d'enfants de 3, 4, 5 et 6 ans, et auprès d'adultes, et montrent que plus l'enfant est âgé, plus il parvient à comparer des quantités dont le ratio est faible (i.e., le ratio perçu diminue avec l'âge), suggérant donc que l'acuité numérique augmente avec l'âge. Par exemple, les enfants de 3 ans perçoivent seulement des quantités avec un ratio  $3/4$ , les enfants de 6 ans discriminent aussi les quantités avec un ratio  $5/6$ , et les adultes parviennent à discriminer aussi les quantités avec un ratio jusqu'à  $10/11$ . C'est à une conclusion identique (i.e., l'acuité numérique augmente avec l'âge) que parviennent Piazza et al. (2010) dans une étude dans laquelle ils proposent à des enfants de maternelle, des enfants d'âge scolaire de 10 ans et des adultes, une tâche de comparaison d'ensembles de points, en contrôlant le ratio entre les deux quantités à comparer. Ainsi ces deux études mettent en évidence que, si les enfants sont certes capables de comparer des quantités, leurs représentations numériques ne sont pas aussi précises que celles des adultes et qu'elles évoluent donc avec l'âge.

De manière similaire, quelques études ont étudié la précision numérique par le biais de tâches de placement de nombres sur une ligne numérique. Ce type de tâche permet de vérifier si la position du nombre indiquée par l'enfant sur la ligne numérique est proche ou éloignée de sa position attendue, reflétant ainsi ses représentations numériques mentales. Quelques auteurs ont montré, à l'aide de ce type de tâches, que la précision numérique évolue positivement avec l'âge. Par exemple, Siegler et Booth (2004) et Booth et Siegler (2006) montrent que, dans une tâche de placement de nombres sur une ligne numérique, les enfants de 8-9 ans sont meilleurs que ceux de 7-8 ans, qui sont meilleurs que ceux de 6-7 ans, qui sont à leur tour meilleurs que ceux de 5-6 ans. Très jeunes, les enfants mettent en évidence des représentations numériques approximatives : les enfants de 5-6 ans ont des représentations de 0 à 100 s'inscrivant dans une fonction logarithmique (Siegler, Booth, 2004 ; Booth, Siegler, 2006 ; Laski, Siegler, 2007). Ensuite, les représentations se précisent et deviennent davantage linéaires à l'âge de 6-7 ans (Geary, Hoard, Nugent, Byrd-Craven, 2008 ; Booth, Siegler, 2006) ou 7-8 ans (Siegler, Booth, 2004 ; Laski, Siegler, 2007). De même, les représentations numériques jusqu'à 1000 deviennent de plus en plus linéaires et donc plus précises, de l'âge de 9 ans jusqu'à l'âge adulte (Booth, Siegler, 2006 ; Opfer, Siegler, 2007).

### **Aspects prédictifs des mathématiques**

Bien qu'il semble que les compétences relatives au SNA soient évolutives en termes de précision, les très jeunes enfants semblent déjà compétents pour traiter approximativement de grandes quantités. La nature prédictive du développement des habiletés mathématiques de ces compétences doit cependant être confirmée. En effet, plusieurs études mettent en évidence des liens entre les performances mathématiques et le SNA impliqué dans des tâches de comparaison de nombres d'une part et de placement de nombres sur une ligne numérique d'autre part.

Un lien semble d'abord exister entre les performances mathématiques et les capacités à comparer des nombres arabes. Dans une étude longitudinale, Jordan, Kaplan, Ramineni et Locuniak (2009) montrent chez des enfants de 5-6 ans jusqu'à 8-9 ans que de bonnes *compétences de base* (à savoir le comptage, l'identification de nombres, le calcul non verbal, les problèmes sous forme d'histoire et la comparaison de nombres) sont associées à de bonnes

compétences en mathématiques. Toutefois, la part prédictive de chaque sous-test, et en particulier celui portant sur les habiletés à comparer des nombres (qui réfèrent directement au SNA), n'est pas connue. En 2009 également, De Smedt, Verschaffel, Ghesquière montrent aussi que la performance en comparaison de nombres arabes est prédictive des performances mathématiques un an plus tard : les enfants qui obtiennent les meilleures performances dans les tâches de comparaison de nombres arabes à 6-7 ans sont aussi les meilleurs à un test standardisé en mathématiques à 7-8 ans. Enfin, Durand, Hulme, Larkin et Snowling (2005) montrent que les capacités à comparer des nombres arabes (tout comme les habiletés verbales) d'enfants de 7 à 10 ans sont prédicteurs des compétences arithmétiques. L'étude de Mundy et Gilmore (2009) confirme aussi que les performances à un test standardisé en mathématiques d'enfants de 7-8 ans sont corrélées aux performances de comparaison symbolique de nombres arabes. Ces quatre études mettent donc en évidence un lien entre les performances mathématiques et les aptitudes à accéder aux représentations numériques via le SNA.

Deux études ont spécifiquement porté sur les relations entre les performances arithmétiques et les habiletés à placer des nombres sur une ligne numérique, une tâche qui implique directement l'accès aux représentations numériques mentales. De manière tout à fait intéressante, Booth, Siegler (2006) montrent chez des enfants de 5-6 à 8-9 ans une corrélation entre les résultats à un test standardisé en mathématiques et les performances de placement de nombres arabes ou d'estimation de résultats d'un calcul sur une ligne numérique. En 2008, ces mêmes auteurs montrent, chez des enfants de 7-8 ans, une corrélation entre la précision (i.e., la linéarité des représentations) de la ligne numérique et les performances arithmétiques, suggérant ainsi que la précision de la ligne numérique est prédictive des aptitudes arithmétiques.

Plus intéressant encore, des études ciblent le lien entre les performances mathématiques et le SNA lui-même, c'est-à-dire les habiletés à traiter de l'information numérique non symbolique. Quelques études traitent spécifiquement de la relation entre les mathématiques et les habiletés de comparaison de nombres présentés de manière non symbolique. Mazzocco, Feigenson et Halberda (2011) montrent que les compétences de comparaison d'ensembles de points en maternelle (enfants de 3 à 5 ans) sont prédictives des performances à un test standardisé en mathématiques effectué deux ans plus tard (6-8 ans). Inglis, Attridge, Batchelor et Gilmore (2011) mettent en évidence, chez des enfants de 7 à 9 ans, une corrélation entre les performances à une tâche de comparaison d'ensembles et les performances à un test standardisé portant spécifiquement sur l'arithmétique. De même, l'étude de Mundy et Gilmore (2009) confirme que les performances à un test standardisé en mathématiques d'enfants de 7-8 ans sont corrélées aux performances de comparaison non symbolique de nombres. De plus, Gilmore, McCarthy et Spelke (2010) montrent qu'il existe une forte corrélation chez des enfants de 6 ans entre les compétences additives non symboliques et les performances à un test standardisé en mathématiques. Enfin, une étude longitudinale (Mazzocco, Thompson, 2005), qui évalue deux cent vingt-six enfants de 5-6 ans jusqu'à 8-9 ans dans le but de mieux repérer les enfants dyscalculiques, met en évidence deux facteurs prédictifs : l'identification de chiffres arabes, compétence formelle (i.e., qui dépend d'un apprentissage scolaire) et le jugement de quantités, compétence informelle (i.e., qui ne dépend d'aucun apprentissage). Ainsi, ces cinq études mettent en évidence un lien entre les habiletés du SNA et les habiletés arithmétiques.

Ainsi, plusieurs études montrent des liens entre les performances mathématiques globales et le SNA, plus précisément les représentations numériques (mesurées par les habiletés à placer des

nombre sur une ligne numérique), les habiletés à comparer des quantités présentées à la fois symboliquement et non symboliquement. Toutefois, des études supplémentaires sont nécessaires pour préciser les implications mathématiques et les aspects prédictifs du SNA.

## Résumé

En conclusion, l'enfant est capable de manipuler l'information numérique, à savoir comparer des collections, estimer le résultat d'opérations présentées de manière non symbolique, placer des nombres sur une ligne numérique. Toutefois, ce Système Numérique Approximatif (SNA), considéré comme inné par certains, n'est pas totalement identique chez l'enfant jeune, l'enfant plus âgé ou l'adulte : en effet, les enfants sont, certes, capables très jeunes de traiter les quantités, mais leurs représentations mentales numériques deviennent beaucoup plus précises avec l'âge. Feigenson et al. (2004) et Piazza (2010) lui accordent un rôle central dans le développement des habiletés numériques. Plusieurs études montrent d'ailleurs l'existence d'un lien entre les tâches impliquant le SNA et les performances mathématiques. Toutefois, une étude intéressante de Holloway et Ansari (2009) vient contredire cette proposition : ces auteurs montrent en effet que les enfants de 6 à 8 ans sont plus lents pour comparer des collections que des chiffres arabes. Ce résultat remet donc en question le rôle du SNA dans la construction des représentations numériques, puisqu'il semble, dans cette étude, plus facile de traiter un format symbolique que non symbolique. Compte-tenu de cette controverse et du fait que très peu d'études ont spécifiquement porté sur les habiletés numériques directement liées au SNA, des études supplémentaires sont donc nécessaires pour préciser son développement chez le jeune enfant ainsi que son caractère prédictif sur les habiletés numériques.

## ----- CONCLUSIONS -----

Comprendre précisément les processus qui sous-tendent le développement numérique et les prédicteurs de réussite en mathématiques représente un enjeu majeur pour l'apprentissage mathématique et la compréhension de la dyscalculie, trouble spécifique des habiletés numériques. L'objectif de cette revue est ainsi de comprendre les systèmes numériques de base qui sous-tendent le développement des habiletés numériques chez l'enfant.

Selon le modèle du Triple Code proposé par Dehaene (1992), la représentation analogique correspond aux représentations numériques mentales ; elle se distingue en deux systèmes numériques, communément considérés innés : le Système Numérique Approximatif (SNA) permettant la perception et le traitement approximatif des quantités, et le Système Numérique Précis (SNP) permettant la perception rapide et le traitement précis des petites quantités. Les études montrent toutefois que si l'enfant montre des habiletés numériques précoces, celles-ci s'améliorent avec l'âge jusqu'à devenir efficaces à l'âge adulte. En ce qui concerne le SNP, l'enfant est effectivement capable de *subitiser* des petites quantités dès l'âge de 5 ans, mais il devient plus rapide avec l'âge. Quant au SNA, les études montrent que l'enfant est capable de comparer des collections, estimer le résultat d'opérations présentées de manière non symbolique, placer des nombres sur une ligne numérique. Toutefois, ces habiletés ne sont pas totalement identiques chez l'enfant jeune, l'enfant plus âgé ou l'adulte, suggérant ainsi que les enfants sont, certes, capables très jeunes de traiter les quantités de manière approximative, mais que leurs représentations mentales numériques deviennent de plus en plus précises avec l'âge. Ainsi, les enfants possèdent des habiletés numériques précoces qui s'améliorent et se précisent avec l'âge.

Alors que Feigenson, Dehaene, Spelke (2004) attribuent un rôle certain au SNA, Carey (2001, 2004) attribue, au contraire, un rôle majeur au SNP. Plusieurs études montrent l'implication de ces deux systèmes dans la construction des représentations numériques précises, dans le développement des habiletés arithmétiques et dans le développement mathématique plus généralement. En effet, on reconnaît une valeur prédictive des habiletés à *subitiser*, à comparer des nombres et des collections, à placer des nombres sur une ligne numérique pour les performances arithmétiques futures. Toutefois, il n'existe aucun consensus quant aux rôles respectifs du SNA et du SNP.

Des études supplémentaires s'avèrent donc indispensables pour :

- comprendre et connaître le développement typique de ces deux systèmes avec l'âge, et en particulier chez le très jeune enfant avant l'âge de 5 ans ;
- identifier l'implication de chacun des deux systèmes dans le développement arithmétique ;
- identifier leur intégrité ou leur atteinte chez les enfants dyscalculiques.

Comprendre les mécanismes sous-jacents au développement numérique et mathématique engage des implications certaines tant au niveau de l'enseignement des mathématiques à l'école, qu'au niveau du diagnostic et de la remédiation des déficits des enfants dyscalculiques.

## ----- BIBLIOGRAPHIE -----

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Dehaene, S., Kanwisher, N., Spelke, E.S. (2006). Non-symbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition*, 98(3), 199–222. Consulté le 25.02.2013 de Harvard University : <http://www.wjh.harvard.edu/~lds/pdfs/barth2006.pdf>

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Spelke, E.S. (2005). Abstract number and arithmetic in preschool children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(39), 14116–14121. Consulté le 25.02.2013 de Harvard University : <http://www.wjh.harvard.edu/~lds/pdfs/barth2005.pdf>

Booth, J.L., Siegler, R.S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental psychology*, 42(6), 189–201. Consulté le 25.02.2013 de Temple University : <http://astro.temple.edu/~jlynne80/booth-sieg06.pdf>

Booth, J.L., Siegler, R.S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child development*, 79(4), 1016–31. doi:10.1111/j.1467-8624.2008.01173.x

Brannon, E.M. (2006). The representation of numerical magnitude. *Current opinion in neurobiology*, 16(2), 222–229. Consulté le 25.02.2013 de University of Chicago : <http://semantics.uchicago.edu/kennedy/classes/s09/experimentalsemantics/brennan06.pdf>

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal Of Child Psychology And Psychiatry*, 46(1), 3–18. Consulté le 25.02.2013 du site de B. Butterworth : <http://www.mathematicalbrain.com/pdf/BUTTJCPP05.PDF>

- Carey, S. (2001). Cognitive foundations of arithmetic : evolution and ontogenesis. *Mind & Language*, 16(1), 37–55. Consulté le 25.02.2013 de University College Dublin : <http://postcog.ucd.ie/files/Susan%20Careyt.pdf>
- Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Dædalus* 133(1), 59–68. Consulté le 25.02.2013 de Harvard Office for Scholarly Communication : [http://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/5109360/Carey\\_Bootstrapping.pdf?sequence=2](http://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/5109360/Carey_Bootstrapping.pdf?sequence=2)
- De Smedt, B., Verschaffel, L., Ghesquière, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of experimental child psychology*, 103(4), 469–79. Consulté le 25.02.2013 de Katholieke Universiteit Leuven : [https://perswww.kuleuven.be/~u0040938/DeSmedt\\_PredNumComp\\_JECP2009.pdf](https://perswww.kuleuven.be/~u0040938/DeSmedt_PredNumComp_JECP2009.pdf)
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1–42. Consulté le 25.02.2013 de INSERM-CEA Cognitive Neuroimaging Unit : [http://www.unicog.org/publications/Dehaene\\_VarietiesOfNumericalAbilities\\_Cognition\\_1992.pdf](http://www.unicog.org/publications/Dehaene_VarietiesOfNumericalAbilities_Cognition_1992.pdf)
- Desoete, A., Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 351–367. Consulté le 25.02.2013 de OhioLINK Electronic Journal Center : [http://journals.ohiolink.edu/ejc/pdf.cgi/Desoete\\_Annemie.pdf?issn=10416080&issue=v16i0004&article=351\\_nciycaicwml](http://journals.ohiolink.edu/ejc/pdf.cgi/Desoete_Annemie.pdf?issn=10416080&issue=v16i0004&article=351_nciycaicwml)
- Dowker, A. (2005). Early identification and intervention for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 324–332. Doi: 10.1177/00222194050380040801
- Durand, M., Hulme, C., Larkin, R., Snowling, M. (2005). The cognitive foundations of reading and arithmetic skills in 7- to 10-year-olds. *Journal of experimental child psychology*, 91(2), 113–36. Doi: 10.1016/j.jecp.2005.01.003
- Fayol, M., Perros, H., Seron, X. (2004). Les représentations numériques : caractéristiques, troubles et développement. In M. Metz-Lutz, E. Demont, C. Seegmuller, M. de Agostini, N. Bruneau (Eds.), *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre et prendre en charge* (pp. 69–107). Solal : Marseille.
- Feigenson, L., Dehaene, S., Spelke, E.S. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307–14. Consulté le 25.02.2013 de John Hopkins University : <http://pbs.jhu.edu/research/feigenson/Feigenson%20Deheane%20Spelke%202004.pdf>
- Geary, D.C., Hoard, M.K., Nugent, L., Byrd-Craven, J. (2008). Developmental neuropsychology development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Memory*, (March 2012), 37–41.

Gersten, R., Jordan, N.C., Flojo, J.R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 293–304. Consulté le 25.02.2013 de University of Delaware : [http://udel.edu/~njordan/jordan\\_JLD2005.pdf](http://udel.edu/~njordan/jordan_JLD2005.pdf)

Gilmore, C.K., McCarthy, S.E., Spelke, E.S. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature*, 447(7144), 589–91. Consulté le 25.02.2013 de University of Nottingham: <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/lpzcg/files/nature05850.pdf> ; <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/lpzcg/files/nature05850-s1.pdf>

Gilmore, C.K., McCarthy, S.E., Spelke, E.S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, 115(3), 394–406. Consulté le 25.02.2013 de US National Institutes of Health's National library of Medicine : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3129629/>

Halberda, J., Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the “Number Sense” : the approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental psychology*, 44(5), 1457–65. Consulté le 25.02.2013 de John Hopkins University : <http://www.psy.jhu.edu/~visionandcognition/publications/HalberdaFeigenson2008,NumAcuity.pdf>

Hauser, M.D., Carey, S. (2003). Spontaneous representations of small numbers of objects by rhesus macaques : examinations of content and format. *Cognitive psychology*, (47), 367–401. Consulté le 25.02.2013 de Harvard University : <http://www.wjh.harvard.edu/~lds/pdfs/hauser2003.pdf>

Hauser, M.D., Carey, S., Hauser, L.B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 267(1445), 829–833. Doi:10.1098/rspb.2000.1078

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(1), 17–29. Consulté le 25.02.2013 de Numeral Cognition Laboratory, University of Western Ontario : [http://www.numericalcognition.org/wp-content/uploads/2010/04/Holloway-Ansari\\_2009\\_Mapping-numerical-magnitudes-onto-symbols.pdf](http://www.numericalcognition.org/wp-content/uploads/2010/04/Holloway-Ansari_2009_Mapping-numerical-magnitudes-onto-symbols.pdf)

Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., Gilmore, C.K. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement : but only in children. *Psychonomic bulletin & review*, 18(6), 1222–9. Consulté le 25.02.2013 de Springer Link : [http://download.springer.com/static/pdf/603/art%253A10.3758%252Fs13423-011-0154-1.pdf?auth66=1364318035\\_ed2605a84483f7057a75cbf057ac1c90&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/603/art%253A10.3758%252Fs13423-011-0154-1.pdf?auth66=1364318035_ed2605a84483f7057a75cbf057ac1c90&ext=.pdf)

Jordan, N.C. (2010). Prédicteurs de réussite et de difficultés d’apprentissage en mathématiques chez le jeune enfant. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants - Numératie* (pp.12-19). Alberta. Consulté le 25.02.2013 de : <http://www.enfant-encyclopedie.com/pages/PDF/numeratie.pdf>

Jordan, N.C., Huttenlocher, J., Levine, S.C. (1992). Differential calculation abilities in young children from middle- and low-income families. *Developmental psychology*, 28(4), 644–653. Consulté le 25.02.2013 de University of Chicago : <http://psychology.uchicago.edu/people/faculty/levine/Jordan1992.pdf>

Jordan, N.C., Kaplan, D., Ramineni, C., Locuniak, M.N. (2009). Early math matters : kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental psychology*, 45(3), 850–67. Consulté le 25.02.2013 de US National Institutes of Health's National library of Medecine : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2782699/?tool=pubmed>

Jordan, N.C., Levine, S.C., Huttenlocher, J. (1994). Development of calculation abilities in middle- and low-income children after formal instruction in school. *Journal of applied developmental psychology*, 15(2), 223–240. Consulté le 25.02.2013 de OhioLINK Electronic Journal Center : [http://journals.ohiolink.edu/ejc/article.cgi?issn=01933973&issue=v15i0002&article=223\\_docaimcafiis](http://journals.ohiolink.edu/ejc/article.cgi?issn=01933973&issue=v15i0002&article=223_docaimcafiis)

Laski, E.V., Siegler, R.S. (2007). Is 27 a big number ? Correlational and causal connections among numerical categorization, number line estimation, and numerical magnitude comparison. *Child development*, 78(6), 1723–43. Consulté le 25.02.2013 de the Thinking and learning lab, Boston College : <http://www.bclearninglab.bc.edu/downloads/laskisieg07.pdf>

Lembke, E., Foegen, A. (2009). Identifying early numeracy indicators for kindergarten and first-grade students. *Learning Disabilities Research & Practice*, 24(1), 12–20. Doi: 10.1111/j.1540-5826.2008.01273.x

Levine, S.C., Jordan, N.C., Huttenlocher, J. (1992). Development of calculation abilities in young children. *Journal of experimental child psychology*, 53(1), 72–103. Consulté le 25.02.2013 de University of Chicago : <http://psychology.uchicago.edu/people/faculty/levine/LevineJordan1992.pdf>

Mazzocco, M.M.M., Feigenson, L., Halberda, J. (2011). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. (L. Santos, Ed.) *PLoS ONE*, 6(9), e23749. Consulté le 25.02.2013 de PLOS ONE : <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0023749>

Mazzocco, M.M.M., Thompson, R.E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning disabilities research & practice : a publication of the Division for Learning Disabilities, Council for Exceptional Children*, 20(3), 142–155.

McCrink, K., Wynn, K. (2004). Large number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychological Science*, 15(11), 776–791.

Mundy, E., Gilmore, C.K. (2009). Children's mapping between symbolic and nonsymbolic representations of number. *Journal of experimental child psychology*, 103(4), 490–502. Doi: 10.1016/j.jecp.2009.02.003



- Opfer, J.E., Siegler, R.S. (2007). Representational change and children's numerical estimation. *Cognitive psychology*, 55(3), 169–95. Consulté le 25.02.2013 de Carnegie Mellon : <http://www.psy.cmu.edu/~siegler/opfersieg07.pdf>
- Piaget, J., Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.
- Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in cognitive sciences*, 14(12), 542–51. Consulté le 25.02.2013 de Research Gate : [http://www.researchgate.net/publication/47699940\\_Neurocognitive\\_start-up\\_tools\\_for\\_symbolic\\_number\\_representations](http://www.researchgate.net/publication/47699940_Neurocognitive_start-up_tools_for_symbolic_number_representations)
- Piazza, M., Facoetti, A., Noemi, A., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., Dehaene, S. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33–41. Consulté le 25.02.2013 de INSERM-CEA Cognitive Neuroimaging Unit : [http://www.unicog.org/publications/Piazza\\_ANSInDyscalculia\\_Cognition2010.pdf](http://www.unicog.org/publications/Piazza_ANSInDyscalculia_Cognition2010.pdf)
- Schleifer, P., Landerl, K. (2011). Subitizing and counting in typical and atypical development. *Developmental Science*, 2(14), 280–291. Doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.00976.x
- Siegler, R.S., Booth, J.L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child development*, 75(2), 428–44. Consulté le 25.02.2013 de Carnegie Mellon : <http://www.psy.cmu.edu/~siegler/sieglerbooth-cd04.pdf>
- Starkey, P., Cooper, R.G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210(4473), 1033–1035. Consulté le 25.02.2013 de The Ohio State University : [http://faculty.psy.ohio-state.edu/opfer/lab/courses/846-Concepts\\_files/StarkeyCooper\(1980\).pdf](http://faculty.psy.ohio-state.edu/opfer/lab/courses/846-Concepts_files/StarkeyCooper(1980).pdf)
- Starkey, P., Cooper, R.G. (1995). The development of subitizing in young children. *British Journal of Developmental psychology*, 13(4), 399–420. Doi: 10.1111/j.2044-835X.1995.tb00688.x
- Temple, E., Posner, M.I. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-old children and adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(13), 7836–41. Consulté le 25.02.2013 de US National Institutes of Health's National library of Medicine : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC22775/>
- White, S.L.J., Szücs, D., Soltész, F. (2012). Symbolic number : the integration of magnitude and spatial representations in children aged 6 to 8 years. *Frontiers in Psychology*, 2(January), 1–11. Consulté le 25.02.2013 de US National Institutes of Health's National library of Medicine : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3249610/>
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749–750. Consulté le 25.02.2013 de US National Institutes of Health's National library of Medicine : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1508269>