

L'effet SNARC : un effet précoce ?

Jeanne Desmarestz, Geneviève Rétif-Mosca

▶ **To cite this version:**

Jeanne Desmarestz, Geneviève Rétif-Mosca. L'effet SNARC : un effet précoce ?. Sciences cognitives. 2016. dumas-01357422

HAL Id: dumas-01357422
https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01357422

Submitted on 29 Aug 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ACADÉMIE DE PARIS

UNIVERSITÉ PARIS VI PIERRE et MARIE CURIE

MÉMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITÉ D'ORTHOPHONISTE

L'EFFET SNARC : UN EFFET PRÉCOCE ?

DIRECTEUR DE MÉMOIRE : Michel FAYOL

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2015-2016

DESMARESTZ
Jeanne
Née le 22 octobre 1977

RÉTIF-MOSCA
Geneviève
Née le 20 juillet 1976

REMERCIEMENTS

Nous tenions à adresser nos sincères remerciements :

au Professeur Michel Fayol pour sa grande disponibilité, les conseils qu'il a pu nous fournir tout au long de ce travail et les encouragements prodigués,

à Madame Anne Mirassou, orthophoniste, d'avoir accepté d'être rapporteure de notre mémoire,

à Mesdames Willemot et Vann respectivement directrices des écoles maternelles du Centre d'Orsay (91) et La fontaine de Meudon (92) ainsi qu'aux enseignantes qui ont accepté que notre expérimentation ait lieu dans leur établissement. Un grand merci pour l'intérêt manifesté pour ce travail et la qualité de leur accueil,

à tous les enfants qui ont participé avec spontanéité et enthousiasme à notre protocole et à leurs parents qui nous ont autorisées à les rencontrer,

à nos maîtres de stage qui nous ont transmis leurs connaissances et expériences avec dévouement,

à nos proches, qui nous ont soutenues pendant ces quatre années de formation, grâce auxquels nous avons pu mener à bien nos projets de reconversion professionnelle.

ATTESTATION DE NON PLAGIAT

Nous soussignées Jeanne DESMARESTZ et Geneviève MOSCA, déclarons être pleinement conscientes que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, nous nous m'engageons à citer toutes les sources que nous avons utilisées pour écrire ce mémoire.

Signature :

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 1

PARTIE THÉORIQUE 3

I. QU'EST-CE QUE L'EFFET SNARC ? 3

1. Une Association Spatio-Numérique 3

1.1. Les associations spatio-numériques 3

1.2. La ligne numérique mentale 3

1.3. Les liens entre troubles visuo-spatiaux et mathématiques 4

2. L'effet SNARC : définition et histoire de sa découverte 5

3. Les bases neuro-anatomiques sous-tendant l'effet SNARC 6

II. LES THESES QUI S'AFFRONTENT QUANT A L'ORIGINE DE L'EFFET SNARC 7

1. La thèse de l'origine biologique 7

1.1. Les études portant sur les espèces animales 7

1.2. Les relations nombre-espace en absence de lexique numérique développé 8

1.3. Les études menées auprès des bébés 9

2. La thèse de l'origine culturelle 10

2.1. Les effets de la scolarisation sur la nature des associations spatio-numériques 10

2.2. L'impact de l'apprentissage de la lecture sur les associations spatio-numériques 10

3. Le SNARC, un effet qui se forge, avant tout, au fil des expériences 11

3.1. L'imprégnation par imitation de l'adulte ou accommodation environnementale 11

3.2. L'influence des expériences en lien avec le corps (*embodiement*) 13

3.3. L'impact de la latéralité 15

PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES 17

I. PROBLEMATIQUE 17

II. HYPOTHESES 17

PARTIE EXPÉRIMENTALE 19

I. METHODOLOGIE 19

1. Population étudiée 19

2. Description du matériel 20

3. Description des épreuves et cotations 22

3.1. Epreuves A, B, C, D 24

3.1.1 Trame narrative n°1 des épreuves A, B, C, D 25

3.1.1.a. Épreuve A : Ajouts de figurines 25
3.1.1.b. Épreuve B : Retraits de wagonnets 25
3.1.1.c. Épreuve C : Retraits de figurines 26
3.1.1.d. Épreuve D : Ajouts de wagonnets 26
3.1.2. Trame narrative n°2 des épreuves A, B, C, D 27
3.1.2.a. Épreuve C : Retraits de figurines 27
3.1.2.b. Épreuve D : Ajouts de wagonnets 27
3.1.2.c. Épreuve A : Ajouts de figurines 28
3.1.2.d. Épreuve B : Retraits de wagonnets 28
3.1.3 Cotation des épreuves A, B, C, D 29
3.2. Épreuve E : Connaissance de la chaîne numérique verbale 29
3.3 Épreuve F : Épreuve des constellations 31
3.4. Épreuve G : Épreuve des dominos 31
3.5. Épreuve H : Épreuve de dénombrement 32
3.6. Épreuve I : Latéralité 32

II. RESULTATS ET ANALYSE 33
1.L'impact de l'âge sur les comportements d'ajouts et de retraits 33
1.1.Évaluation de l'impact de l'âge 33
1.2. Conclusion 34
2. L'impact du matériel sur les comportements d'ajouts et de retraits 34
2.1. Mise à l'épreuve du matériel dans les situations d'ajouts 35
2.1.1. Étude des ajouts effectués par les enfants de PSM 35
2.1.2. Étude des ajouts effectués par les enfants de MSM 35
2.1.3. Étude des ajouts effectués par les enfants de GSM 36
2.2. Mise à l'épreuve du matériel dans les situations de retraits 36
2.2.1. Étude des retraits effectués par les enfants de PSM 36
2.2.2. Étude des retraits effectués par les enfants de MSM 37
2.2.3. Étude des retraits effectués par les enfants de GSM 37
2.3. Conclusion 38
3.L'impact de la dimension verbale 38
4.L'impact de la dimension analogique 39
5.La question de la latéralité 41
6.Conclusion 42

III. ANALYSE DE PROFILS 42
1. Profil 1 : les enfants qui tendent à ajouter ou retirer à l'extrémité droite de la collection 43
2. Profil 2 : les enfants qui tendent à ajouter ou retirer à l'extrémité gauche de la collection 43
3. Profil 3 : les enfants qui tendent à effectuer des mouvements « d'équilibre » gauche/droite 43
4. Profil 4 : les enfants qui ajoutent ou retirent de façon aléatoire 44
5. Profil 5 : les enfants qui tendent à ajouter par la droite et à retirer par la gauche 44
6. Les autres enfants 44

IV. ÉTUDES DE CAS 45
1.1er cas : Augustin, 5 ans et 1 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon 45
2. 2ème cas : Maxime, 5 ans et 4 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon... 46
3. 3ème cas : Zoé, 5 ans et 3 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon..... 46
4. 4ème cas : Alice, 4 ans et 10 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon 47
5. 5ème cas : Pablo, 5 ans et 3 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon..... 47
6. Proposition d'intervention 48

V. DISCUSSION..... 50
1. Rappel de notre étude..... 50
2. Confrontation aux hypothèses..... 51
3. Questions soulevées..... 52
4. Limites de l'étude 54
5. Prolongements de l'étude..... 54

CONCLUSION..... 56

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 57

ANNEXES..... 65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données démographiques des participants
Tableau 2 : Ajouts à droite et retraits à gauche en fonction du niveau scolaire
Tableau 3 : Performances aux ajouts de figurines chez les enfants de PSM
Tableau 4 : Performances aux ajouts de wagons chez les enfants de PSM
Tableau 5 : Performances aux ajouts de figurines chez les enfants de MSM
Tableau 6 : Performances aux ajouts de wagons chez les enfants de MSM
Tableau 7 : Performances aux ajouts de figurines chez les enfants de GSM
Tableau 8 : Performances aux ajouts de wagons chez les enfants de GSM
Tableau 9 : Performances aux retraits de figurines chez les enfants de PSM
Tableau 10 : Performances aux retraits de wagons chez les enfants de PSM
Tableau 11 : Performances aux retraits de figurines chez les enfants de MSM
Tableau 12 : Performances aux retraits de wagons chez les enfants de MSM
Tableau 13 : Performances aux retraits de figurines chez les enfants de GSM
Tableau 14 : Performances aux retraits de wagons chez les enfants de GSM
Tableau 15 : Performances aux ajouts et retraits en fonction de l'âge et e la latéralité
Tableau 16 : Performances d'Augustin aux épreuves de A à I
Tableau 17 : Performances de Maxime aux épreuves de A à I
Tableau 18 : Performances de Zoé aux épreuves de A à I
Tableau 19 : Performances d'Alice aux épreuves de A à I
Tableau 20 : Performances de Pablo aux épreuves de A à I

Liste des graphiques

Graphique 1 : Panorama des différents mécanismes sous-tendant l'acquisition des SNAs
Graphique 2 : Répartition de la population par niveau scolaire
Graphique 3 : Répartition de la population par sexe et niveau scolaire
Graphique 4 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances numériques verbales en PSM
Graphique 5 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances numériques verbales en PSM
Graphique 6 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances numériques verbales en MSM

Graphique 7 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances numériques verbales en MSM
Graphique 8 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances numériques verbales en GSM
Graphique 9 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances numériques verbales en GSM
Graphique 10 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances analogiques en PSM
Graphique 11 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances analogiques en PSM
Graphique 12 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances analogiques en MSM
Graphique 13 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances analogiques en MSM
Graphique 14 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances analogiques en GSM
Graphique 15 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances analogiques en GSM
Graphique 16 : Répartition de la population par profils

Liste des abréviations

SNARC : Spatial-Numerical Association Of Response Codes (Association Numérique et Spatiale des Codes Réponses)

SNAs : Associations Spatio-Numériques

LNM : Ligne Numérique Mentale

ATOM: A Theory Of Magnitude

PSM: Petite Section de Maternelle

MSM : Moyenne Section de Maternelle

GSM : Grande Section de Maternelle

AJDROIT : Ajouts à droite

REGAU : Retraits à gauche

INTRODUCTION

(Rédaction commune de Jeanne Desmarestz et Geneviève Mosca)

Les chercheurs et cliniciens ont depuis longtemps établi l'existence d'une relation entre l'espace et le nombre. Les troubles d'une part, les données issues des expériences conduites auprès d'adultes et d'enfants d'autre part ont conforté cet état de fait. Toutefois, la nature précise de la relation, son origine et son évolution font encore l'objet de débats. Parmi ceux-ci, les chercheurs ne s'accordent pas sur la période à partir de laquelle certains effets deviennent observables. Il en va ainsi de l'organisation des nombres et quantités sur une ligne numérique censée correspondre à la représentation mentale que nous aurions des relations entre espace et nombres.

La ligne numérique mentale (LNM) est postulée orientée de gauche à droite, les petites quantités ou petits nombres se situant à gauche et les grands à droite. Plusieurs thèses s'affrontent quant à l'origine de cette association entre l'orientation gauche-droite de la ligne et celle des quantités ou des nombres. La thèse la première défendue reliait l'existence de cette association à l'apprentissage de la lecture ; elle reste étayée par plusieurs résultats mais ne rend pas compte de l'intégralité des observations (Opfer et Furlong, 2011 ; Patro et coll., 2014 ; Nuerk et coll., 2015 ; Bulf et coll., 2016) [48] [53] [46] [2]. Ainsi, l'analyse des mouvements oculaires ou du traitement des opérations simples (additions et soustractions) met en évidence que les additions induisent un dépassement vers la droite (vers les grands nombres) alors que les soustractions entraînent un dépassement à gauche (vers les petits nombres). Tout se passe comme si les traitements arithmétiques élémentaires étaient associés à des mouvements oculaires et manuels correspondant aux ajouts à droite et retraits à gauche. Une autre thèse, plus radicale, envisage que l'orientation gauche-droite préexiste à l'apprentissage des systèmes symboliques et correspond à une capacité de base déjà observable chez certains animaux et chez les nouveau-nés, bien avant la scolarisation des enfants (de Hevia et coll., 2012; de Hevia et Spelke, 2009) [29] [30].

L'objectif de notre recherche est précisément d'étudier si les ajouts versus les retraits de quantités discrètes d'objets sont traités par des enfants de 3, 4 et 5 ans en congruence avec l'orientation de la LNM censées sous-tendre les performances dans une tâche de production. Si tel est le cas, les enfants auxquels les expérimentateurs demandent d'agrandir ou de réduire la taille de collections devraient ajouter à droite et retirer à gauche à partir des points de départ.

Nous retracerons, dans un premier temps, le champ des données théoriques présentées ci-dessus. Nous décrirons, ensuite, les épreuves du protocole que nous avons mené avant d'exposer, analyser, interpréter et discuter les résultats obtenus à partir de notre population d'enfants âgés de 3 à 5 ans.

PARTIE THÉORIQUE

I. Qu'est-ce que l'effet SNARC ?

(Rédaction de Jeanne Desmarestz)

1. Une Association Spatio-Numérique

Comment les nombres sont-ils représentés dans notre cerveau ? Leur représentation est-elle de nature spatiale ? Linguistique ? La nature de la représentation et du traitement du nombre fait l'objet d'un débat mais une relation étroite entre les représentations numériques et l'espace est le plus souvent évoquée, notamment avec l'idée qu'il existe un effet dit SNARC (Spatial-Numerical Association Of Response Codes : Association Numérique et Spatiale des Codes Réponses). Selon cet effet, il y aurait une automaticité du lien entre les nombres et l'espace chez l'homme adulte : « la simple présentation d'un chiffre arabe suffit à biaiser les réponses motrices et l'attention visuo-spatiale, en direction de la droite pour les grands nombres et de la gauche pour les petits nombres. » (Dehaene et coll., 1993) [8].

1.1. Les associations spatio-numériques

Le lien attesté entre l'espace et le nombre est communément appelé « Association Spatio-Numérique », Spatial Numerical Association - SNA (Patro et coll., 2014) [53]. Ces associations spatio-numériques se manifestent, lorsque des adultes sont confrontés à des magnitudes : ils conceptualisent les nombres comme croissants (logarithmiquement) de la gauche vers la droite, comme s'ils possédaient dans leur esprit ou dans leur manière de se comporter une ligne numérique mentale (Hubbard et coll., 2005; Longo and Lourenco, 2007; Opfer et coll., 2010) [33] [42] [49]. Un débat subsiste en ce qui concerne le statut de cette ligne numérique : correspond-elle à une représentation mentale effective ou n'est-elle qu'une métaphore commode ? Nous ne discuterons pas ce point mais il reste à ce jour un objet de débat.

1.2. La ligne numérique mentale

La métaphore de la ligne numérique mentale est utilisée pour parler des représentations numériques liées à l'évaluation approximative. Il s'agirait d'une représentation possible de

la magnitude du nombre, c'est-à-dire de la quantité (ou de la grandeur) à laquelle il réfère. L'idée d'association entre les nombres et l'espace a conduit à l'hypothèse suivant laquelle les nombres seraient représentés non pas de manière discrète et indépendante, mais sous forme d'un continuum analogique. « Tout se passe effectivement comme si les différents nombres étaient alignés mentalement sur une ligne où chaque position correspond à une certaine quantité. » (Dehaene, 2010) [7].

La nature spatiale de la ligne numérique mentale a été étayée par des données lésionnelles en neuropsychologie, entre autres par des expériences conduites auprès de patients héminégligents. Ceux-ci devaient effectuer des tâches de bissection sur une ligne physique dessinée. Ils plaçaient systématiquement le point central à droite du milieu réel. Zorzi et coll. en déduisaient que cela confirmait la nature spatiale de la ligne numérique mentale (Zorzi et coll., 2002) [67].

Les données expérimentales recueillies chez l'adulte décrivent une ligne orientée de gauche à droite, les petits nombres se situant à gauche (Fias et coll., 1996) [18]. Le zéro serait à l'extrême gauche et les grands nombres s'étireraient vers la droite. La même structure se retrouve également lors du traitement de matériel non numérique ordonné comme les lettres de l'alphabet ou les mois de l'année (Gevers et coll., 2003) [22], ce qui soulève la question du caractère spécifiquement numérique de la ligne mentale.

1.3.Les liens entre troubles visuo-spatiaux et mathématiques

Les troubles en mathématiques sont souvent associés à d'autres difficultés d'apprentissage (troubles de la lecture ou de l'orthographe) ou à des faiblesses de certaines capacités.

Selon certains auteurs (Mazeau, 2000) [44] certains troubles en mathématiques sont fortement corrélés à un déficit des habiletés visuo-spatiales. Ces troubles auraient un impact négatif sur la résolution d'opérations posées (mauvais alignement des chiffres, saut de colonnes) ou encore sur le transcodage (l'écriture positionnelle notamment). Toutefois, ces troubles n'affecteraient pas le sens du nombre mais auraient un impact plus périphérique, retentissant seulement sur le traitement des codes : selon cette auteure, la conception de la ligne numérique ne reflèterait donc pas l'organisation réelle des quantités ou des grandeurs dans l'esprit.

Pour d'autres, les troubles visuo-spatiaux traduiraient une influence plus profonde et impacteraient la représentation et/ou l'utilisation de la ligne numérique correspondant au sens-même du nombre. Un tel trouble engendrerait un effet en cascade retentissant sur l'ensemble des activités numériques et en affectant toutes les dimensions (Fayol, 2013) [17].

2. L'effet SNARC : définition et histoire de sa découverte

L'effet SNARC a été découvert de manière fortuite en 1993 par Stanislas Dehaene, Serge Bossini et Pascal Giraux alors qu'ils soumettaient des sujets à une tâche de jugement de parité sur des chiffres de 0 à 9. Pour une partie de la population, la réponse « pair » était à donner avec la main droite et « impair » avec la main gauche, et inversement pour d'autres participants de l'étude. Cela permettait d'obtenir un temps de réaction au niveau des deux mains pour chaque nombre. Les chercheurs se sont alors aperçus que, quelle que soit leur parité, les sujets répondaient plus vite aux petits nombres avec la main gauche et aux grands avec la main droite (Dehaene et coll., 1993) [8].

Plusieurs études ont ensuite été menées par cette même équipe en vue de confirmer ce phénomène. Elles ont montré que ce dernier dépendait tout d'abord de l'espace abstrait (extérieur) et non de la main qui actionne le bouton réponse (en refaisant faire l'expérience avec les mains croisées). Par ailleurs, elles ont constaté que l'effet ne dépendait pas de la latéralité des participants ou de la dominance hémisphérique (Dehaene, 2010) [7].

Il existerait donc un effet de la taille relative des nombres, cette dernière déterminant le côté de l'espace sur lequel les sujets préfèrent cliquer : une réponse avec la main gauche pour les plus petits nombres proposés et avec la main droite pour les plus grands nombres.

D'autres études ont rapporté que cet effet tendait à s'inverser chez des participants qui lisent de droite à gauche (en Iran par exemple), mettant ainsi en évidence une influence culturelle sur l'effet SNARC (Hung et coll., 2008 ; Shaki et coll., 2012; Zebian, 2005) [34] [60] [66]. Cette influence culturelle est aussi relevée dans les populations orientales puisqu'un effet vertical, bi-directionnel, y est observé : les nombres au Japon sous-tendent une association petits nombres/bas et grands nombres/haut, alors que la lecture en japonais s'opère de haut en bas quand elle est verticale (Ito et Hatta, 2004) [35]. Cette association se trouve inversée en Chine, les petits nombres étant relié spatialement en haut, les grands en bas, le sens prédominant de lecture des mots chinois de nombres allant bien du haut vers le bas (Hung et coll., 2008) [34].
La mise en évidence de cet effet a donné lieu à une dualité d'hypothèses : son origine est-elle structurelle, c'est-à-dire le fruit de données innées ou résulte-t-elle de l'imprégnation culturelle ? Les études du fonctionnement cérébral pourraient-elle éclairer le débat ?

3. Les bases neuro-anatomiques sous-tendant l'effet SNARC

Le traitement des nombres mobilise une région intrapariétale (le segment horizontal du sillon intrapariétal) mais aussi des zones latérales des lobes pariétaux. Les interactions entre les aires pariétales ventrales et latérales pourraient être responsables d'une association nombre/espace. On note d'ailleurs qu'une tâche concurrente de mémoire visuo-spatiale a pour conséquence d'abolir l'effet SNARC alors qu'une tâche de mémoire phonologique ne l'affecte pas (Herrera et coll., 2008) [27].

La thèse neurologique considère que les mécanismes de la représentation spatiale aident à la représentation sémantique du nombre chez l'adulte. En effet, les connexions neuronales fondamentales relatives aux représentations numériques se trouvent dans des régions qui se superposent aux circuits neuronaux servant aux représentations spatiales (Fias et coll., 2003 ; Pinel et coll., 2001, 2004 ; Zorzi et coll., 2002) [19] [55] [56] [67]. Par exemple, le lobe postérieur supérieur pariétal (PSPL) est activé lors de la réalisation de tâches spatiales (pointage par exemple), d'attention visuo-spatiale et de tâches numériques telles que les additions et soustractions approximatives et l'estimation de magnitudes (Corbetta et coll., 2000 ; Dehaene et coll., 1999; Lee, 2000; Piazza et coll., 2002; Simon et coll., 2002) [5] [11] [39] [54] [63]. De plus, la stimulation magnétique transcrânienne répétitive entraîne une « lésion virtuelle » dans le gyrus angulaire gauche qui entrave à la fois la recherche visuelle et la rapidité des comparaisons numériques, suggérant que la représentation des magnitudes dépend du circuit intervenant aussi pour le codage spatial (Göbel et coll., 2001) [24].
On note d'ailleurs qu'en situation de tâche de type Posner (tâche liée au traitement perceptif préférentiel consistant à déterminer l'exactitude d'un repérage de cible tout en calculant le temps de réaction du sujet) dans laquelle on insère des nombres plus ou moins grands sur l'écran, il existe une forte attraction de l'attention en fonction de la taille des nombres. Dès lors que l'on a un chiffre à l'esprit, il serait donc automatiquement cartographié dans l'espace, dans une sorte « d'intuition proto-mathématique ». En effet, selon Dehaene : « Nos intuitions mathématiques s'ancrent dans les représentations concrètes, adaptées au monde qui nous entoure : tous les enfants possèdent des intuitions proto-mathématiques. » (Dehaene, 2010) [7].

L'existence d'un substrat cérébral commun est aussi suggérée par le fait que, dans certains syndromes (Syndromes de Gerstmann, Williams, du X fragile, de DiGeorge), des difficultés

en mathématiques sont associées à des déficits spatiaux. Nombres et espace peuvent donc se retrouver étroitement corrélés au sein de mêmes troubles (Hoffmann et coll., 2013) [32].

L'effet SNARC apparaîtrait pour certains auteurs vers le CE1-CE2, approximativement au moment où émergent chez l'enfant les premiers effets de l'automatisation du lien entre chiffres et quantités (Van Galen et Reitsma, 2008; Girelli et coll., 2000) [21] [23] et des mécanismes de la lecture, et plus précocement pour d'autres.

II. Les thèses qui s'affrontent quant à l'origine de l'effet SNARC

(Rédaction de Geneviève Mosca)

1. La thèse de l'origine biologique

Les fondements des concepts mathématiques humains ne trouveraient-ils pas leur origine dans l'évolution biologique ? Nuñez et Fias rapportent que des efforts ont été déployés ces 20 dernières années pour explorer cette question (Núñez et Fias, 2015) [47].

Des études développementales (de Hevia et Spelke, 2009, 2010) [30] [31], cross-culturelles (Dehaene et coll., 2008) [9] et comparatives (Drucker and Brannon, 2014) [15] ont suggéré que les associations nombres-espace sont biologiquement données de façon universelle et émergent indépendamment de la langue et de la culture.

1.1. Les études portant sur les espèces animales

Rugani et coll. ont observé que les poussins domestiques associaient aux nombres un espace ressemblant à la ligne numérique mentale humaine (Rugani et coll., 2015) [57]. Leur étude les a conduits à écrire que « l'association spatiale des nombres de gauche à droite pourrait être une stratégie cognitive universelle disponible bien avant la naissance ». D'autres exemples évoquant un lien entre nombres et positions spatiales horizontales se retrouvent aussi dans les travaux menés par l'équipe de de Hevia (de Hevia et coll., 2014) [28]. Cette dernière relate en effet que, lorsqu'on entraîne des poussins à donner des coups de bec à la 4ème position d'une série de jetons orientés verticalement, ils montrent une préférence significative spontanée plus tardive que si les jetons avaient été orientés horizontalement. Cette préférence attentionnelle pourrait être attribuée à la dominance de l'hémisphère droit

dans les traitements visuo-spatiaux, ce qui favoriserait l'allocation de l'attention dans l'hémisphère gauche.

Les modèles provenant d'expériences avec des poissons (Dadda et coll., 2009) [6] confirment ce point de vue : en manipulant de façon expérimentale la direction de la latéralisation hémisphérique, il est possible de moduler la direction des préférences spatiales observable lorsque les animaux effectuent une tâche de bissection.

Des études électro-physiologiques menées par ailleurs auprès de primates vont dans le même sens, révélant que le cortex pariétal postérieur de ces animaux contient une information précise sur les quantités discrètes (nombre d'items) et les quantités continues (longueur), avec les mêmes neurones qui codent pour les quantités non-symboliques et la longueur spatiale (Tudusciuc et Nieder, 2007) [64].
Ainsi, conformément au modèle ATOM (A Theory Of Magnitude) proposé par Walsh (Walsh, 2003) [65], les magnitudes pourraient ne pas être représentées isolément mais seraient spontanément connectées à une représentation spatiale. Les travaux menés auprès de populations qui ne présentent pas de lexique numérique développé confirment la part universelle que comportent ces liens spatio-numériques.

1.2. Les relations nombre-espace en absence de lexique numérique développé

L'équipe de Dehaene, s'est intéressée aux réactions mathématiques déployées dans des populations humaines qui ne possèdent pas de lexique numérique (Dehaene et coll., 2008) [9].
L'étude du cas des Mundurucus, indiens d'Amazonie qui présentent un lexique numérique restreint aux petits nombres (de 1 à 5), met en exergue une étonnante capacité à manipuler de grandes quantités et de « riches intuitions spatiales et géométriques. ».
Ces travaux étayent l'idée de l'aspect « naturel » du lien qu'entretiennent les nombres et l'espace et confortent la conception selon laquelle certains neurones, issus de structures pariétales, coderaient à la fois pour l'espace et la numérosité (Dehaene et coll., 2003; Fias et coll., 2003) [10] [19].

Les études portant sur les mécanismes cérébraux des nouveau-nés nous permettent-elles maintenant de retrouver le même lien intrinsèque entre ces deux dimensions ?

1.3. Les études menées auprès des bébés

L'étude conduite par de Hevia et coll. soutient la conception que l'hémisphère droit des bébés humains se développe plus vite que le gauche, avant et après la naissance (de Hevia et coll., 2014) [28]. Tout comme chez les animaux, il est donc possible que les contraintes spatio-temporelles du développement du cerveau humain déterminent une exploration asymétrique de l'espace visuel dans les débuts de la vie post-natale. De plus, il est possible qu'une telle préférence pour la gauche contraigne non seulement l'exploration de l'espace externe, mais aussi la structure de la représentation spatiale des tout jeunes enfants, dans laquelle l'information emmagasinée serait organisée selon un continuum spatial qui prendrait son origine à gauche.

On sait, depuis les études fondatrices menées par Haith en 1980 [25], qu'à la naissance et durant les premiers mois de vie, les balayages du regard horizontaux sont plus nombreux et fréquents que les balayages verticaux, avec une exploration visuelle et une détection de stimulus plus efficaces à l'horizontale qu'à la verticale. De plus, les temps de regard dans les tâches de regard préférentiel sont plus longs sur les stimuli orientés horizontalement que verticalement. Une exploration automatique de l'espace interne et externe de la gauche vers la droite pourrait aussi être présente dans la prime enfance et contribuer à l'émergence d'une ligne numérique mentale orientée au cours du développement.

L'étude de de Hevia et coll., confirme l'idée selon laquelle cette cartographie spatio-numérique apparaîtrait très précocement et contribuerait aux fondements de la cognition mathématique humaine (de Hevia et coll., 2012) [29].

Ces résultats suggérant une prédisposition biologique aux associations spatio-numériques chez les très jeunes enfants se heurtent cependant à des objections. Comme le soulignent Nuerk et coll., la présence précoce d'un mécanisme n'implique pas forcément un facteur inné : « Sept mois, [notent-ils au sujet des bébés], peuvent être assez longs pour apprendre des régularités spatio-directionnelles dans une culture donnée » (Nuerk et coll., 2015) [46]. La composante biologique ne peut en effet pas expliquer ces modulations en lien avec le monde de l'écrit. Revenons alors sur la thèse la première défendue qui reliait l'existence de ces associations aux apprentissages formels dispensés à l'école.

2. La thèse de l'origine culturelle

2.1. Les effets de la scolarisation sur la nature des associations spatio-numériques

La nature des liens entre nombres et espace évolue au cours du développement. L'enfant passe en effet d'une représentation initiale des nombres de type logarithmique, dans laquelle la place conférée aux petits nombres est plus importante que celle allouée aux grands, à une représentation de type linéaire, disposant les nombres selon des intervalles réguliers. La dimension logarithmique des relations spatio-numériques est première, c'est celle que l'on retrouve chez les jeunes enfants ou encore dans les populations qui ont une approche très « naturelle », non scolaire, de la numérosité (cas des Mundurucus, par exemple). Ce phénomène, qui permettrait de passer d'une représentation initiale logarithmique à une configuration linéaire, résulterait donc d'une évolution liée aux apprentissages formels (Siegler et Booth, 2004; Siegler et Opfer, 2003) [61] [62]. « L'idée d'une ligne numérique linéaire, qui nous apparaît si intuitive, est en fait une invention culturelle, dont l'apprentissage se fait lentement, au cours du cursus scolaire », écrivent Izard et coll. en 2008 [36].

2.2. L'impact de l'apprentissage de la lecture sur les associations spatio-numériques

L'Effet SNARC est attesté chez les enfants de 9 ans scolarisés, c'est-à-dire à un âge où l'apprentissage du langage écrit est normalement assez bien établi (Berch et coll., 1999) [1]. Cet effet refléterait donc l'intégration de savoirs et pratiques scolaires. D'ailleurs, les populations illettrées ne présentent pas de formes classiques de SNAs (Shaki et coll., 2012; Zebian, 2005) [60] [66].

L'idée initialement développée en 1993 par l'équipe de Dehaene, selon laquelle l'effet SNARC trouverait son origine dans les habitudes de lecture, est amplement corroborée par une série d'études (Berch et coll., 1999; Van Galen and Reitsma, 2008; Opfer et coll., 2010) [1] [21] [49]. Les nombres, chez le lecteur expert, sont automatiquement associés à la dimension horizontale, orientée selon un vecteur qui suit le sens de lecture en vigueur dans une culture donnée. En effet, une exposition à un sens d'écriture droite/gauche modifie voire inverse l'effet SNARC observé dans les cultures occidentales. Dans certains pays orientaux, où la lecture se fait en saccades verticales, l'effet suit l'axe de lecture.

Ces observations conduisent à s'interroger quant aux situations d'ajouts et de retraits : seraient-elles en adéquation avec le sens de lecture ? Les additions, nous indiquent Knops et coll. sont biaisées vers les grands nombres, c'est-à-dire vers le côté droit ; les soustractions le sont quant à elles en direction des petits nombres, vers la gauche (Knops et coll., 2009) [37].

Toutefois, les travaux qui ont suivi ces premières découvertes les ont affinées : de nombreux résultats indiquent en effet que les associations spatio-numériques se développent, bien avant que les enfants n'entrent dans les apprentissages formels de la lecture et de l'écriture (Opfer et Furlong, 2011) [48]. L'effet SNARC apparaîtrait-il donc plus précocement ?

3. Le SNARC, un effet qui se forge, avant tout, au fil des expériences

Toutes les expériences pré-scolaires auxquelles l'enfant est confronté dès le plus jeune âge pourraient, par imprégnation, façonner sa conception spatio-numérique. Telle est une hypothèse envisageable.

3.1. L'imprégnation par imitation de l'adulte ou accommodation environnementale

L'instauration d'un effet SNARC chez l'enfant trouve ses prémices dans l'imprégnation culturelle à laquelle l'adulte contribue de façon implicite, par les attitudes et conduites spatio-numériques que véhicule son comportement.

L'activité de lecture conjointe promeut tout d'abord l'émergence d'une pré-alphabétisation chez les enfants qui ne sont pas encore lecteurs (Sénéchal et coll., 1996) [59]. Les jeunes enfants se sensibilisent au sens d'écriture en observant les adultes utiliser un doigt curseur pour suivre un texte, pointer des endroits particuliers, se référer à des illustrations en adéquation avec le contenu écrit d'un album (Dobel et coll., 2007) [13].
L'équipe de Sénéchal montre que la connaissance de cette organisation spatiale du texte et des illustrations dans les livres pourrait se mettre en place très tôt, les adultes initiant les activités de lecture conjointe auprès des enfants dès l'âge de 12-24 mois. Ces initiatives imposent, au niveau attentionnel, un sens que les enfants acquièrent implicitement très tôt, bien avant qu'ils n'aient été confrontés à un méthodique apprentissage de la lecture.

Plus tard, l'enfant renforce ces habiletés rudimentaires de traitement de l'écrit en imitant les comportements de lecteurs/scripteurs des adultes. Dyson, dès 1982 [16], montre que des enfants encore non-lecteurs font semblant d'écrire des listes, des mots de remerciements et Doake en 1985 [12] met en évidence que ceux de 3 ans qui se développent dans la norme ne savent pas seulement tenir un livre et en tourner les pages selon leur système d'écriture mais qu'ils possèdent déjà aussi la notion de progression de l'histoire au fil des pages et l'idée que celle-ci se déploie en respectant un début, un milieu et une fin.

A la fin de la troisième année, un pointage approximatif mot à mot peut être observé (Dooley, 2010) [14] et le traitement directionnel lié au système d'écriture d'une culture donnée devient efficient pour s'affiner plus tard, chez les plus âgés des enfants en âge préscolaire (Nuerk et coll., 2015) [46].

Aussi, toutes ces activités en rapport avec le lire/écrire auxquelles les enfants sont très tôt confrontés peuvent-elles contribuer à développer de façon implicite les SNAs. De plus, les jeunes enfants s'engagent aussi par imitation dans divers comportements directionnels qui ne sont pas explicitement liés à la lecture/écriture mais qui concordent néanmoins avec le sens en usage dans la société (dessins, représentations temporelles sur un axe orienté selon le sens de lecture, utilisation d'appareils électroniques…). Ces activités de la vie quotidienne qui ne sont pas directement en lien avec le comportement de lecteur coïncideraient avec le sens de lecture à l'œuvre dans une culture donnée.
Elles véhiculent par là-même des préférences spatio-directionnelles susceptibles d'influencer la « direction attentionnelle » chez les enfants encore non lecteurs.
Ces divers comportements directionnels observés, induits par l'imitation, se trouveraient transposés dans des situations par essence numériques.

Patro et Haman ont effectivement identifié un effet SNARC dans une tâche de comparaison numérique non symbolique chez des enfants dès l'âge de 4 ans (Patro et Haman, 2012) [51]. Ils ont montré que ces enfants occidentaux jugeaient plus rapidement les petites quantités numériques lorsqu'elles étaient présentées sur la gauche, et inversement pour les grandes quantités. Or, ces enfants n'étaient pas encore rentrés dans les apprentissages formels de la langue écrite. Aussi leurs habitudes de lecture ne pouvaient-elles pas expliquer les associations spatio-numériques qu'ils mettaient en œuvre.
De plus, les SNAs chez les enfants en âge préscolaire sont déjà automatiques et présentes, même quand la magnitude n'est pas pertinente pour la tâche. Hoffmann et coll. ont relevé

un effet SNARC classique chez les enfants âgés de 5 ans et 5 mois qui devaient décider si les chiffres arabes devenaient rouges ou verts en appuyant sur un bouton situé à gauche ou à droite (Hoffmann et coll., 2013) [32]. Une interaction semblable à l'effet SNARC fut alors mise en évidence entre le côté des réponses et la magnitude du nombre. Ainsi, alors que la magnitude numérique n'était pas pertinente pour la tâche (les enfants devaient choisir une couleur) elle se trouvait activée de façon irrépressible. En outre, ce comportement ne pouvait s'expliquer par l'existence d'un enseignement explicite selon lequel la magnitude devait être reliée à un côté de l'espace.

La présence des SNAs chez les enfants en âge préscolaire remet par conséquent clairement en question l'explication courante par la lecture, puisque ces enfants n'ont pas encore développé d'habitudes de lecture proprement dites. Les expériences auxquelles ces jeunes enfants sont confrontés engagent une dimension corporelle sur laquelle il convient à présent de s'interroger pour mesurer l'impact que celle-ci peut prendre dans la construction précoce des SNAs.

3.2. L'influence des expériences en lien avec le corps (*embodiement*)

De nombreuses associations spatio-numériques sont en effet vécues à travers le corps et pourraient être représentées de façon « incarnée », par exemple en utilisant les doigts pour la magnitude des nombres.

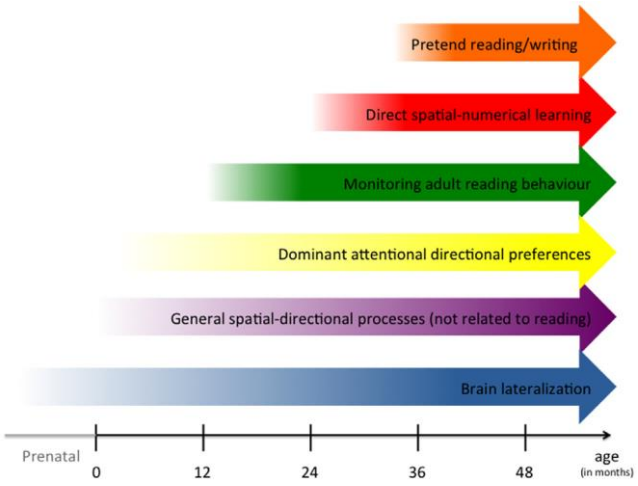
Patro et coll. ont observé cet engagement du corps dans le comptage (Patro et coll., 2015) [52]. Ils ont mis en évidence un *pattern* de comptage ipsilatéral dominant chez les enfants de 3 à 5 ans : les enfants commencent leur activité de comptage d'une collection d'objets par la droite s'ils sont droitiers. Or, la stratégie de comptage qui domine chez l'adulte s'avère controlatérale : presque tous les adultes lisant de gauche à droite (91 à 100%) comptent à partir de la gauche (Opfer et Thomson, 2006) [50] et la majeure partie de cette population adulte est droitière. Il semble donc que le fait de croiser la ligne médiane corporelle soit la stratégie dominante de comptage chez l'adulte, laquelle remplace presque toujours le *pattern* ipsilatéral observé chez l'enfant.

Les mécanismes sous-jacents à ce changement développemental pourraient s'expliquer à la fois par l'expérience culturelle croissante sollicitant l'orientation gauche/droite et par l'amélioration de la capacité à croiser la ligne médiane du corps avec la main (en relation

avec le développement de la latéralisation et d'une meilleure communication interhémisphérique (Carlier et coll., 2006; Hausmann et coll., 2003) [3] [26]. Ces deux mécanismes peuvent se développer en parallèle et les auteurs notent que les stratégies ipsilatérales disparaissent à 8-9 ans, quand les enfants commencent à écrire de façon plus fluide et donc à croiser spontanément les lignes médianes de leur corps.
Ces réflexions traduisent l'importance des expériences spatiales qui se jouent de façon « incarnée » dans la construction des SNAs. L'enfant se confronte à ce type d'expériences bien avant les apprentissages formels.

Lindemann et coll. ont montré que les habitudes de comptage avec les doigts différeraient en fonction des cultures (Lindemann et coll., 2011) [40]. Il existerait donc une composante spatio-numérique dans le comptage en pointant qui se déploierait selon le sens de lecture en vigueur dans une culture donnée. Un apprentissage direct des SNAs pourrait ainsi se mettre en place dès 2-3 ans, quand les enfants commencent à compter. De récentes études ont d'ailleurs montré l'importance de la dimension corporelle dans la construction des SNAs (Fischer et Brugger, 2011; Link et coll., 2013) [20] [41].

La figure proposée ci-dessous montre six mécanismes distincts, « incarnés » pour la plupart, qui pourraient être responsables de l'émergence des préférences spatio-numériques directionnelles se mettant en place avant l'apprentissage formel du lire/écrire (Nuerk et coll., 2015) [46].



Graphique 1 : Panorama des différents mécanismes sous-tendant l'acquisition des SNAs

Bien que les habiletés de lecture/écriture ne soient pas indispensables à proprement parler pour que s'établisse une association mentale entre les nombres et la représentation spatiale gauche-droite, des formes de routines culturelles développées dans la prime enfance, comme

la comptine numérique ou la lecture d'illustrés, influencent donc déjà l'orientation spécifique de la cartographie espace-nombre chez l'enfant (McCrink et coll., 2014) [45]. Cette mise en place de SNAs avant tout apprentissage formel de la lecture apparaît aujourd'hui assez nettement à travers ces multiples données empiriques. Cependant, il manque encore, pour reprendre les termes de Nuerk et coll. « une proposition théorique cohérente qui pourrait expliquer les mécanismes ou traitements qui contribuent à l'émergence des effets spatio-numériques chez les jeunes enfants. » (Nuerk et coll., 2015) [46].

Par ailleurs, les effets de la latéralité méritent aussi d'être explorés afin de mesurer un éventuel impact de cette dimension sur les SNAs.

3.3. L'impact de la latéralité

La question de l'impact de la latéralité a jusqu'alors été peu investiguée.

Conant et, bien plus tard, Fischer lors d'études portant sur la manière de compter sur les doigts, chez les enfants et les adultes, ont trouvé que le début du comptage est pris en charge par la main gauche, sans qu'aucune mesure de la latéralité n'ait été rapportée (Conant, 1896; Fischer 2011) [4] [20].

Dans leur étude menée auprès d'enfants et d'adultes de quatre tranches d'âge différentes (4-5 ans, 6-7 ans, 10-11 ans et 24-47 ans), Sato et Lalain ont quant à eux mis en évidence une forte tendance chez les droitiers à commencer par la main droite pour compter de 1 à 5 puis à utiliser la main gauche pour compter de 6 à 10, quelle que soit la tranche d'âge prise en compte (Sato et Lalain, 2008) [58]. La procédure inverse est observée chez les gauchers, ce qui suggère une corrélation entre latéralité et procédure de comptage.

Les travaux actuels en cognition numérique ont donc mis en exergue, à un âge précoce, cette asymétrie dans le traitement de l'information ordinale qui se conjugue à celle mise en œuvre dans l'exploration spatiale. Ces données suggèrent que les enfants de niveau préscolaire pourraient être en mesure de manifester une association spatio-numérique dans la réalisation de transformations d'ajouts et de retraits. Cette association se manifesterait par des ajouts à droite et des retraits à gauche.

L'expérience que nous avons menée s'inscrit dans cette perspective. Elle se centre sur la conduite des actions d'ajouts et de retraits de quantités discrètes qu'entreprennent des

enfants entre 3 et 5 ans. Un effet SNARC peut-il être précocement relevé dans de telles situations ? La latéralité impacte-t-elle les résultats ?

PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES

(Rédaction commune de Jeanne Desmarestz et Geneviève Mosca)

I. Problématique

L'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) correspond au fait que, lors d'une tâche de comparaison de nombres, on met moins de temps à répondre en appuyant sur un bouton situé à gauche si le nombre présenté est petit (inférieur à 5) et moins de temps en appuyant sur un bouton situé à droite si le nombre présenté est grand (supérieur à 5).
Ce phénomène serait lié au fait que les grandeurs et quantités seraient mentalement représentées selon une ligne numérique orientée dans l'espace avec les petits nombres à gauche et les grands à droite. Cet effet est attesté chez les enfants à partir du CE2. Toutefois, la précocité de certaines manifestations associées aux grandeurs et quantités conduit à s'interroger sur la possibilité que cette orientation gauche-droite de la ligne numérique pourrait être présente beaucoup plus tôt chez les enfants.
En particulier, il se pourrait que les ajouts de grandeurs et quantités par rapport à une surface ou une collection s'effectuent majoritairement à droite et les retraits à gauche chez des enfants qui ne sont pas encore entrés dans le langage écrit.
Si tel était le cas, l'orientation droite (ajout) / gauche (retrait) effectuée sur les grandeurs et quantités pourrait constituer un précurseur « en acte » de la ligne numérique mentale.

II. Hypothèses

Notre première hypothèse est que les jeunes enfants (de 3 à 6 ans), avant même tout enseignement formel du langage écrit, dès les tout débuts de la scolarisation, réalisent de manière dominante les ajouts à droite et les retraits à gauche d'une collection de référence.

Notre deuxième hypothèse est que ces mêmes enfants se comportent de façon similaire quel que soit le matériel proposé : s'ils ajoutent à droite des figurines et les retirent par la gauche ou inversement, ils procèderont de la même manière avec des wagonnets.

Notre troisième hypothèse est qu'il existe un effet d'âge : plus les enfants avancent en âge, plus l'effet s'avère prononcé.

Par ailleurs, dans la mesure où nous avons contrôlé le niveau de maîtrise de la chaîne verbale numérique, la capacité à dénombrer et la latéralité (manuelle et oculaire) des enfants testés, notre travail soulèvera la question d'un potentiel effet que pourraient avoir ces trois paramètres sur les comportements en situation d'ajouts et de retraits.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

I. Méthodologie

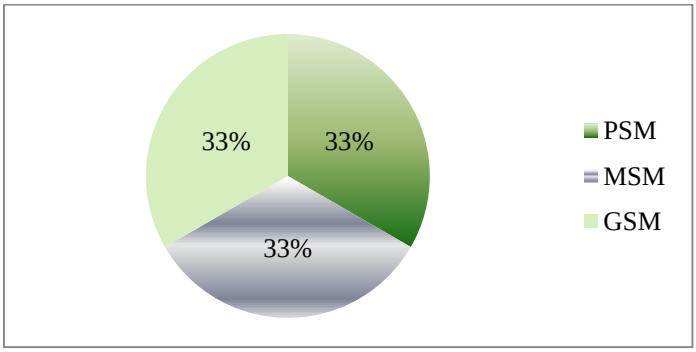
(Rédaction de Jeanne Desmarestz)

1. Population étudiée

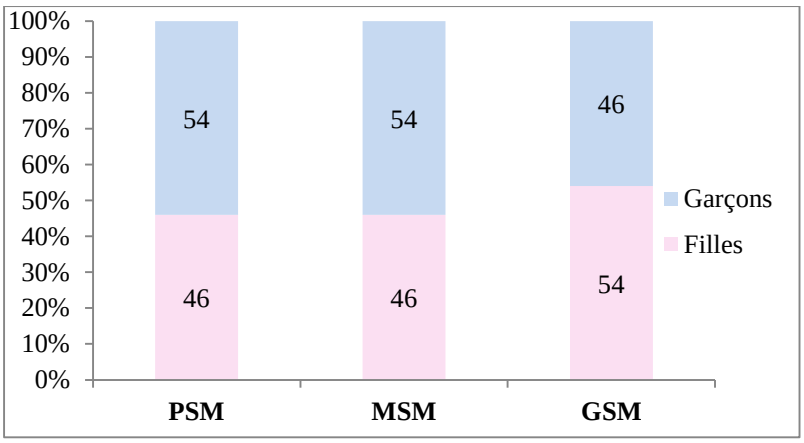
Notre étude a été réalisée auprès de 84 enfants de maternelle : 28 enfants de petite section (PSM), 28 enfants de moyenne section (MSM) et 28 enfants de grande section (GSM).
Les passations se sont déroulées au cours du mois d'octobre 2015 auprès d'enfants de l'Ecole Maternelle du Centre à Orsay (91) et de l'Ecole Maternelle Jean de la Fontaine à Meudon (92). Nous avons retenu les enfants bénéficiant d'une autorisation parentale, ne présentant pas de troubles avérés et non suivis en orthophonie au moment des passations.

	PSM	**MSM**	**GSM**
Âge :			
-Moyenne	39 mois (3 ans 3 mois)	52 mois (4 ans 4 mois)	64 mois (5 ans 4 mois)
-Âge min	36 mois (3 ans)	46 mois (3 ans 10 mois)	58 mois (4 ans 10 mois)
-Âge max	44 mois (3 ans 8 mois)	56 mois (4 ans 8 mois)	68 mois (5 ans 8 mois)
Sexe :			
-Filles	13 (46%)	13 (46%)	15 (54%)
-Garçons	15 (54%)	15 (54%)	13 (46%)
Effectif	28	28	28

Tableau 1 : Données démographiques des participants



Graphique 2 : Répartition de la population par niveau scolaire



Graphique 3 : Répartition de la population par sexe et niveau scolaire

2. Description du matériel

- La première partie de notre protocole repose sur une trame narrative élaborée à partir du matériel suivant :

- 8 figurines représentant des lionceaux (7 cm le long ; 2 cm de large ; 5 cm de haut)



- Une bande de papier canson mimant une rivière (65 cm de long ; 13 cm de large)



- Une coupelle en céramique utilisée pour faire office de barque

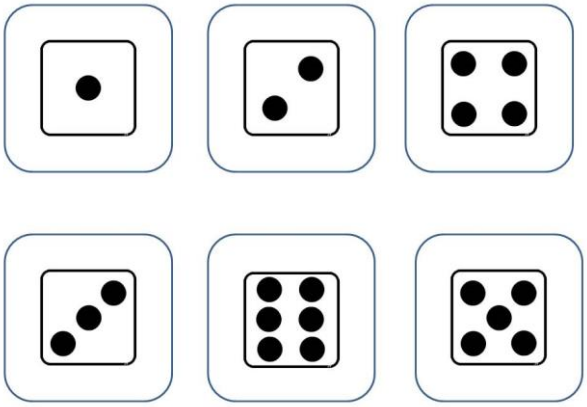


- 8 wagonnets de trains aimantés (7 cm le long ; 4 cm de large ; 1,5 cm de haut)

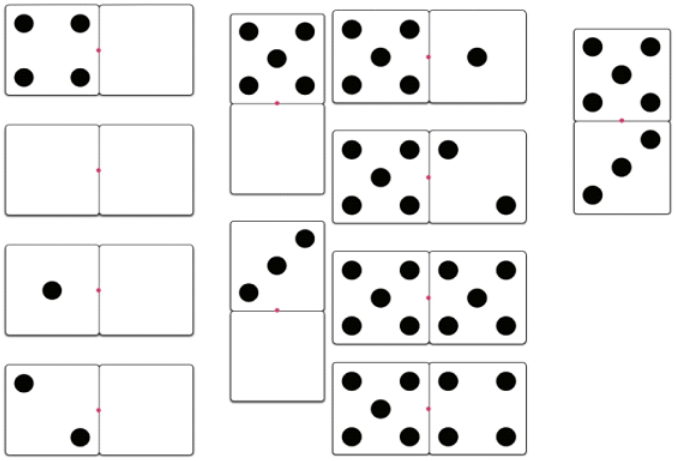


- La seconde partie du protocole repose sur le matériel suivant :

- Un jeu de constellations représentant 1 à 6 points



- Un jeu de dominos de 1 à 10 points



- 10 jetons

- 1 crayon présenté dans un pot

- 1 rouleau de scotch

Lors des passations, nous disposions l'une et l'autre d'un jeu de matériel identique.

3. Description des épreuves et cotations

Avant de faire passer les tests desquels nous avons tiré les résultats qui seront présentés et discutés par la suite, nous avons effectué des pré-tests auprès de 80 enfants présentant les mêmes caractéristiques que ceux qui ont fait l'objet de notre étude finale.
Ces pré-tests ont été réalisés au mois de juin 2015, dans le but d'évaluer la pertinence du matériel que nous avions élaboré et de nous assurer que les différentes épreuves étaient bien comprises et acceptées par les enfants. Ces pré-tests nous ont permis de mettre en place un certain nombre d'ajustements concernant le matériel et le protocole retenus pour l'étude.

Nous avons ensuite fait passer le protocole définitif à 84 enfants (28 enfants de PSM, 28 de MSM et 28 de GSM). Le protocole a été répété en amont des évaluations afin qu'il soit rigoureusement identique chez l'une ou l'autre examinatrice. La durée globale des passations est de dix à quinze minutes selon les enfants.

Lors des épreuves, l'enfant et l'examinatrice sont installés face à face autour d'une table, dans une salle extérieure à la salle de classe. Avant chaque passation, le matériel nécessaire est préinstallé avant l'arrivée de l'enfant. Tout le matériel reste sur la table de passation, placé entre l'enfant et l'examinatrice, tout au long du protocole et ce jusqu'à la fin.

Notre protocole est constitué de 9 épreuves que nous avons nommées :

- Épreuve A : Ajouts de figurines
- Épreuve B : Retraits de wagonnets
- Épreuve C : Retraits de figurines
- Épreuve D : Ajouts de wagonnets
- Épreuve E : Connaissance de la chaîne numérique
- Épreuve F : Épreuve des constellations
- Épreuve G : Épreuve des dominos
- Épreuve H : Épreuve de dénombrement
- Épreuve I : Epreuve de latéralité

Les quatre premières épreuves (de A à D) ont été proposées aux enfants selon une chronologie respectant la permutation circulaire décrite ci-dessous.
Nous avons appelé :

- « Enfants 1 », les enfants auxquels nous avons proposé les épreuves suivant l'enchaînement suivant : **épreuve A - épreuve B - épreuve C - épreuve D**.
- « Enfants 2 », ceux auxquels nous avons proposé les épreuves suivant l'enchaînement suivant : **épreuve D - épreuve C - épreuve B - épreuve A**.
- « Enfants 3 », les enfants auxquels nous avons proposé les épreuves suivant l'enchaînement suivant : **épreuve C - épreuve D - épreuve A - épreuve B**.
- « Enfants 4 », ceux auxquels nous avons proposé les épreuves suivant l'enchaînement suivant : **épreuve B - épreuve A - épreuve D - épreuve C**.

Cette rotation a été mise en place afin de garantir la levée d'un biais éventuel qui aurait pu être induit par un ordre de passation figé.

Pour chaque groupe (PSM, MSM, GSM), 7 participants ont effectué les quatre premières épreuves selon l'ordre « Enfants 1 », 7 selon l'ordre « Enfants 2 », 7 selon l'ordre « Enfants 3 » et 7 selon l'ordre « Enfants 4 ».

Les autres épreuves (de E à I) ont toutes été proposées dans le même ordre, suite aux quatre premières, et ce pour tous les sujets de l'étude.

3.1. Epreuves A, B, C, D

Les épreuves A, B, C et D sont présentées ensemble car il est difficile de les dissocier. Elles consistent en effet en des ajouts et des retraits d'objets qui s'alternent, en utilisant deux types de matériels (des figurines et des wagonnets de train), c'est-à-dire que l'on passe d'un matériel à l'autre en s'appuyant de façon successive sur les collections auxquelles l'enfant vient de faire subir une transformation dans l'une des situations données.

Avant de décrire concrètement ces épreuves, il convient d'expliciter deux points :

- Il a été demandé aux enfants d'ajouter et de retirer les éléments d'une collection « deux par deux ». Nous avons fait ce choix car avons considéré que si nous demandions aux enfants d'ajouter ou de retirer chaque élément un par un, cela les plaçait dans une conduite routinière, le « un par un » étant davantage utilisé pour le comptage. Or, nous souhaitions proposer une situation induisant une action « nouvelle », inhabituelle.
- Nous avons veillé, lors de toutes nos passations, à ne pas influencer le comportement des enfants par nos paroles, regards ou gestes qui auraient pu conditionner les choix qu'ils devaient opérer pour les ajouts et les retraits qui leur étaient demandés. Pour la même raison, nous avons pris soin de replacer le matériel après chaque manipulation de l'enfant de façon à ce que celui-ci soit toujours équidistant de chacune de ses deux mains. C'est pourquoi cette mention figure avant et après la description de chaque épreuve.

Les « Enfants 1 » et « Enfants 2 » ont débuté par des épreuves correspondant à des situations d'ajouts (épreuve A ou D) alors que les « Enfants 3 » et « Enfants 4 » ont été confrontés en premier lieu à des situations de retrait (épreuve B ou C). Aussi, la trame narrative a-t-elle été ajustée en fonction de la première situation rencontrée.

Nous déclinons ci-dessous les deux scénarios possibles :

3.1.1 Trame narrative n°1 des épreuves A, B, C, D

Le descriptif des épreuves suivantes correspond à ce qui a été proposé aux « Enfants 1 », soumis aux épreuves A, B, C puis D. Des consignes similaires, dans un ordre différent, ont été données aux « Enfants 2 », confrontés aux épreuves D, C, B puis A.

3.1.1.a. Épreuve A : Ajouts de figurines

Quatre figurines de lionceaux ont préalablement été placés en ligne devant la rivière en carton, comme s'ils étaient en train d'y boire, du côté de l'enfant, de façon équidistante par rapport à ses mains. L'examinateur a devant lui une cohorte de quatre lionceaux, placées de façon regroupée et équidistante des 2 mains de l'enfant.

Consigne donnée à l'enfant : *« Regarde, j'ai devant moi des lionceaux. Ils se sont reposés dans une clairière en plein soleil où il faisait très chaud et ils ont à présent envie d'aller boire. Tu vas les aider à aller se désaltérer à la rivière avec les autres. Tu vas prendre deux lionceaux qui sont l'un à côté de l'autre, leur faire traverser ensemble la rivière et les poser côte à côte au bord de l'eau pour qu'ils puissent boire… ».*
Renfort de consigne : *« Attention, ils sont frères et il ne faut surtout pas les séparer ! ».*

L'examinateur reprend la barque et demande de nouveau à l'enfant : *« maintenant tu vas prendre les deux animaux qui restent, les mettre dans la barque, leur faire traverser ensemble la rivière et les poser au bord de l'eau côte à côte pour qu'ils puissent boire… ».*
Il laisse l'enfant prendre les animaux restants et les installer devant la rivière.

3.1.1.b. Épreuve B : Retraits de wagonnets

L'enfant a devant lui huit wagonnets accrochés les uns aux autres, formant un train, placés de façon équidistante par rapport à ses mains.

Consigne donnée à l'enfant : *« Le train que tu as devant toi est trop long, trop lourd, il ne peut pas démarrer. Peux-tu s'il te plaît lui retirer deux wagons ? ».* Lorsque l'enfant a effectué le retrait on déplace alors le train pour le recentrer par rapport à ses mains. Puis l'examinateur demande à nouveau : « *C'est encore trop lourd… Peux-tu retirer encore deux wagons ? ».*

L'examinateur récupère les wagonnets que lui tend l'enfant et les conserve devant lui, accrochés deux à deux.

3.1.1.c. Épreuve C : Retraits de figurines

Nous revenons à la situation mettant en scène les huit lionceaux.
Ils sont restés en ligne devant la rivière en carton, comme s'ils étaient en train d'y boire, du côté de l'enfant, de façon équidistante par rapport à ses mains.

Consigne donnée à l'enfant : « *Regarde, tu as devant toi les lionceaux qui boivent à la rivière. Cela fait un moment qu'ils sont en train de boire et certains n'ont plus soif. Tu vas en prendre deux, mais rappelle-toi, les frères se sont mis côte à côte pour boire, il ne faut pas que tu les sépares. Alors, est-ce-que tu peux en mettre deux dans la barque pour qu'ils traversent la rivière et rentrent chez eux ? ».*

L'examinateur récupère de l'autre côté de la rivière les deux animaux, les sort de la barque et les regroupe devant lui. Il redonne à l'enfant la barque et lui dit : *« Remets deux autres frères pour qu'ils traversent à leur tour la rivière. ».*
L'adulte récupère de l'autre côté de la rivière les 2 animaux, les sort de la barque, les regroupe avec les autres et dit à l'enfant : « *Les autres animaux ont encore un peu soif : nous allons tranquillement les laisser boire encore un peu...* ».

3.1.1.d. Épreuve D : Ajouts de wagonnets

Nous revenons à la situation mettant en scène le petit train.
L'enfant a devant lui quatre wagonnets accrochés les uns aux autres, formant un train, équidistants par rapport à ses deux mains.
L'adulte a devant lui les deux groupes de deux wagons, précédemment retirés par l'enfant dans l'épreuve B, et également placés de façon équidistante par rapport aux mains de l'enfant.

Consigne donnée à l'enfant : « *Je t'ai demandé tout à l'heure de retirer des wagons car le train était trop long mais, à présent, il n'y a plus assez de places pour que tous les voyageurs puissent monter ! Peux-tu s'il te plaît prendre deux wagons et les raccrocher au train qui est déjà formé ».* L'examinateur déplace alors le train pour le recentrer par rapport aux mains

de l'enfant puis dit *: « Il n'y a toujours pas assez de places ! Peux-tu encore raccrocher deux wagons ? »*.

3.1.2. Trame narrative n°2 des épreuves A, B, C, D

Le descriptif des épreuves suivantes correspond à ce qui a été proposé aux « Enfants 3 », soumis aux épreuves C, D, A puis B. Des consignes similaires, dans un ordre différent, ont été données aux « Enfants 4 », confrontés aux épreuves D, A, B puis C.

3.1.2.a. Épreuve C : Retraits de figurines

Huit figurines de lionceaux ont préalablement été placées en ligne devant la rivière en carton, comme s'ils étaient en train d'y boire, du côté de l'enfant, de façon équidistante par rapport à ses mains.

Consigne donnée à l'enfant : « *Regarde, tu as devant toi des lionceaux. Ils sont dans un pays où il fait très chaud, dans la savane africaine. Ils avaient très soif, mais heureusement, en se promenant, ils ont trouvé une rivière. Cela fait un moment qu'ils sont en train de boire, et certains ont assez bu. Tu vas prendre deux lionceaux qui sont l'un à côté de l'autre, leur faire traverser ensemble la rivière et les poser côte à côte au bord de l'eau pour qu'ils puissent boire… ».*
Renfort de consigne : *« Attention, ils sont frères et il ne faut surtout pas les séparer ! ».*

L'examinateur récupère de l'autre côté de la rivière les deux animaux, les sort de la barque et les regroupe devant lui. Il redonne à l'enfant la barque et lui dit : *« Remets deux autres frères pour qu'ils traversent à leur tour la rivière ».*

L'examinateur récupère de l'autre côté de la rivière les deux animaux, les sort de la barque et les regroupe. Il a maintenant devant lui une cohorte de quatre figurines placées de façon regroupée et équidistante des deux mains de l'enfant.

3.1.2.b. Épreuve D : Ajouts de wagonnets

L'enfant a devant lui quatre wagonnets accrochés les uns aux autres, formant un train.

L'adulte en a également quatre devant lui, accrochés deux par deux, placés de façon équidistante par rapport aux mains de l'enfant.
Consigne donnée à l'enfant : « *Tu as devant toi un train qui n'est pas complet, il est trop petit. Il faut lui remettre des wagons pour que tous les voyageurs puissent monter dedans. Tu vas prendre deux wagons et les raccrocher au train qui est déjà formé... Maintenant, tu prends les deux wagons qui restent et tu les raccroches aussi au train. ».*

Une fois que l'enfant a complété le train, maintenant constitué de huit wagonnets, on le replace de façon équidistante par rapport à ses deux mains.

3.1.2.c. Épreuve A : Ajouts de figurines

Nous revenons à la situation mettant en scène les huit lionceaux.
La rivière en carton est toujours placée face à l'enfant avec les quatre animaux qui sont restés y boire suite à l'épreuve C. L'adulte a devant lui la cohorte des quatre lionceaux placés de façon regroupée et équidistante des deux mains de l'enfant.

Consigne donnée à l'enfant : *« Regarde, j'ai devant moi les lionceaux que tu m'as donnés tout à l'heure. Ils se sont reposés dans une clairière en plein soleil où il faisait très chaud et ils ont à nouveau envie d'aller boire. Tu vas maintenant les aider à retourner se désaltérer à la rivière. Tu vas prendre deux lionceaux qui sont l'un à côté de l'autre, les mettre dans la barque, leur faire traverser ensemble la rivière et les poser côte à côte au bord de l'eau pour qu'ils puissent boire… ».*
Renfort de consigne *: « Attention, ils sont frères et il ne faut surtout pas les séparer ! »*

L'examinateur reprend la barque et demande de nouveau à l'enfant : *« maintenant tu vas prendre les deux animaux qui restent, les mettre dans la barque, leur faire traverser ensemble la rivière et les poser au bord de l'eau côte à côte pour qu'ils puissent boire… ».*
L'adulte laisse l'enfant prendre les animaux deux par deux et les installer devant la rivière.

3.1.2.d. Épreuve B : Retraits de wagonnets

Nous revenons à la situation mettant en scène le petit train.
Les huit wagonnets sont face à l'enfant, suite à l'épreuve D.

Consigne donnée à l'enfant : « *Tout à l'heure tu as remis des wagons au train, c'est très bien, c'est ce que je t'avais demandé de faire... Mais il y a un petit problème : maintenant le train est trop long, trop lourd, il ne peut pas démarrer, il va falloir enlever des wagons pour qu'il puisse partir. Est-ce que tu peux en enlever deux ? »*. Puis *: « c'est encore trop lourd, encore deux autres s'il te plaît …* ».

L'adulte prend les quatre wagons que l'enfant lui tend deux par deux et les conserve face à lui.

3.1.3 Cotation des épreuves A, B, C, D

Au cours des épreuves d'ajouts et de retraits d'éléments d'une collection d'objets, les enfants étaient amenés à effectuer deux mouvements successifs, selon la consigne donnée. Chaque enfant a donc eu à traiter quatre ajouts (deux ajouts avec des figurines, deux avec des wagons) et quatre retraits (deux retraits avec des figurines, deux avec des wagons).
Aussi a-t-on affecté à chacun de ces mouvements une cotation qui lui est propre afin de bien prendre en compte chacun d'entre eux.
Pour les ajouts, nous avons attribué un score de 1 pour les mouvements effectués par la droite et de 0 pour ceux effectués par la gauche ou de façon aléatoire (au milieu de la collection).
Pour les retraits, nous avons attribué un score de 1 pour les mouvements effectués par la gauche et de 0 pour ceux effectués par la droite ou de manière aléatoire.

3.2. Épreuve E : Connaissance de la chaîne numérique verbale

L'objectif de cette épreuve est d'évaluer à quel niveau de la chaîne numérique verbale se situe l'enfant (le chapelet, la chaîne insécable, la chaîne sécable, ou la chaîne terminale selon Fuson), ainsi que l'acquisition du principe d'ordre stable (énonciation des mots-nombres dans l'ordre approprié).

Elle se compose de 6 subtests :

- **Consigne 1** : *« Montre-moi jusqu'où tu sais compter ».*

L'enfant énonce la chaîne numérique à l'oral et l'examinateur note le dernier mot-nombre de la chaîne verbale produite correctement, c'est-à-dire respectant l'ordre conventionnel. Il arrête l'enfant à 30.

Cotation :

Nous avons attribué des scores oscillant entre 0 et 10, selon le principe d'intervalles suivant :

- 10 points pour un comptage jusqu'à 30
- 9 points pour un comptage allant de 1 à 29, 28 ou 27
- 8 points pour un comptage allant de 1 à 26, 25 ou 24
- 7 points pour un comptage allant de 1 à 23, 22 ou 21
- 6 points pour un comptage allant de 1 à 20, 19 ou 18
- 5 points pour un comptage allant de 1 à 17, 16 ou 15
- 4 points pour un comptage allant de 1 à 14, 13 ou 12
- 3 points pour un comptage allant de 1 à 11, 10 ou 9
- 2 points pour un comptage allant de 1 à 8, 7 ou 6
- 1 point pour un comptage allant de 1 à 5, 4 ou 3
- 0 point pour un comptage n'excédant pas 2 ou pour une absence de réponse

- **Consigne 2** : *« Maintenant, si je te dis 3, est-ce que tu peux continuer à compter ? ...3... ».*

- **Consigne 3** : « *Et si je te dis 5, est-ce que tu peux continuer à compter ?...5…* ».

- **Consigne 4 :** « *Est-ce que tu peux maintenant compter à l'envers, comme quand une fusée va partir ? Peux-tu compter à l'envers à partir de 3 ?*».

- **Consigne 5 :** « *Peux-tu compter à l'envers à partir de 5 ?* ».

- **Consigne 6 :** « *Peux-tu compter à l'envers à partir de 10 ?*».

Cotation des épreuves correspondant aux consignes de 2 à 6 :

L'enfant obtient un score de 1 en cas de réussite et de 0 en cas d'échec ou de non réponse, soit un total variant de 0 à 15.

3.3 Épreuve F : Épreuve des constellations

Cette épreuve évalue la capacité qu'a l'enfant à reconnaître une magnitude, soit de façon globale puisque de la constellation émane un principe visuel organisé, soit après une approche de comptage « terme à terme » suite auquel l'enfant énonce le cardinal du nombre. L'examinateur présente à l'enfant des constellations de points allant de 1 à 6 points, présentées de façon aléatoire sur la table.

Consigne donnée à l'enfant : « *Peux-tu me monter la carte sur laquelle il y a : 3 points…, 5 points…, 2 points…, 6 points…, 1 point…, 4 points… ».*

Cotation :

L'enfant obtient 1 point par constellation correctement montrée, les scores varient donc de 0 à 6.

3.4. Épreuve G : Épreuve des dominos

Cette épreuve évalue elle aussi la capacité qu'a l'enfant à reconnaître une magnitude, soit par une reconnaissance de configuration de points soit après une approche de comptage « terme à terme » suite à laquelle l'enfant associe le cardinal du nombre.

L'examinateur présente à l'enfant des dominos allant de 1 à 10 présentés de façon aléatoire sur la table.

Consigne donnée à l'enfant : « *Peux-tu me montrer le domino sur lequel il y a : 5 points…, 10 points…, 8 points…, 7 points…, 9 point…, 6 points… ».*

Cotation :

L'enfant obtient 1 point par domino correctement montré, les scores varient donc de 0 à 6.

3.5. Épreuve H : Épreuve de dénombrement

Cette épreuve évalue l'acquisition du principe cardinal, c'est-à-dire le fait de comprendre que le dernier mot-nombre énoncé lors du comptage correspond au cardinal de l'ensemble. Le comptage nécessite l'énonciation de la chaîne verbale et le pointage visuel ou digital.
Nous avons utilisé des jetons.

Consigne donnée à l'enfant : *« Je vais maintenant te montrer des jetons. Tu me diras à chaque fois combien il y en a* ».
L'examinateur montre à l'enfant les quantités de jetons suivantes, présentés de façon aléatoire sur la table : 3, 2, 1 puis 5, 7, 10.
Cotation :
L'enfant obtient 1 point par collection correctement dénombrée, les scores varient donc de 0 à 6.

Les épreuves F, G et H nous ont permis d'attribuer à chaque enfant un score global sur 18, permettant de mesurer leur performance analogique.

3.6. Épreuve I : Latéralité

Nous avons évalué la latéralité des sujets à partir de deux épreuves, l'une testant la préférence manuelle et l'autre l'œil directeur.

- **Consigne 1** : « *Peux-tu s'il te plaît prendre le crayon qui est dans le pot et me le donner ? »*. Le pot est placé du côté de l'examinateur, face à l'enfant, centré par rapport à sa main gauche et à sa main droite.

- **Consigne 2** *: « Peux-tu s'il te plaît maintenant regarder à travers ce rouleau de scotch ? »*

Cotation :
Nous avons attribué 1 point au côté où le mouvement était effectué et 0 à l'autre côté.

Nous avons considéré comme droitiers les enfants répondant systématiquement en mobilisant à deux reprises leur droite. Tous les autres ont été regroupés et considérés comme

gauchers (les enfants ayant mobilisé leur gauche lors des deux épreuves étant trop peu nombreux pour disposer de sous-groupes permettant des traitements statistiques).

Un modèle de la feuille de recueil des résultats lors des passassions du protocole est présenté en annexe 1.

II. Résultats et analyse

(Rédaction de Geneviève Mosca)

L'objectif de l'analyse des résultats qui va suivre est d'infirmer ou de confirmer les hypothèses que nous avons précédemment posées.

1.L'impact de l'âge sur les comportements d'ajouts et de retraits

Nous rappelons que chaque enfant a eu à traiter 4 ajouts (2 mouvements successifs pour les figurines, 2 mouvements successifs pour les wagons) et 4 retraits (2 mouvements successifs pour les figurines, 2 mouvements successifs pour les wagons).
Il s'agissait pour eux de compléter ou de réduire des suites d'animaux ou de wagons. Ils pouvaient effectuer ces différentes transformations par la droite ou par la gauche du dispositif face auquel ils se trouvaient.

1.1.Évaluation de l'impact de l'âge

Nous avons établi pour chaque enfant un score sur 4 pour chacune des conditions proposées. Si ces derniers procèdent au hasard, le score moyen devrait s'établir autour d'une moyenne de 2 (2 à droite, 2 à gauche) pour chaque condition d'ajout ou de retrait. Si, par contraste, ils opèrent en congruence avec l'organisation supposée de la ligne numérique mentale, ils devraient se rapprocher de 4 déplacements à droite pour les ajouts et de 4 déplacements à gauche pour les retraits.

Le tableau ci-dessous fournit les moyennes (sur 4) d'ajouts à droite (AJDROIT) et de retraits à gauche (REGAU) en fonction du niveau scolaire (PSM, MSM et GSM).

	PSM (n = 28)	**MSM** (n = 28)	**GSM** (n = 28)
AJDROIT	**2,63*** **	**2,64*** **	**2,64*** **
REGAU	1,25	1,46	1,82

La significativité du *t* de Student par rapport au hasard (= 2) est indiquée par : * (p <0.05) ; ** (p<0.02) et * (p <0 .01)**

Tableau 2 : Ajouts à droite et retraits à gauche en fonction du niveau scolaire

Ces données montrent que les ajouts s'effectuent massivement à droite : on les observe réalisés de cette manière dans environ deux tiers des cas. Les retraits s'avèrent quant à eux rarement opérés à gauche en PSM et MSM. où ils ne représentent en moyenne qu'un tiers des cas . En revanche, les retraits à gauches s'intensifient en GSM, se rapprochant de la moyenne.

1.2. Conclusion

Nous remarquons que les enfants ajoutent prioritairement à droite d'une collection donnée mais ne retirent pas majoritairement par la gauche, même si cette tendance s'accroît avec l'âge. Ainsi, notre première hypothèse qui stipulait que les jeunes enfants, avant même tout enseignement formel du langage écrit, réalisent de manière dominante les ajouts à droite et les retraits à gauche d'une collection de référence ne se trouve que partiellement vérifiée.

En outre, notre troisième hypothèse selon laquelle il existe un effet d'âge se trouve confirmée : plus les enfants avancent en âge plus l'effet attendu (ajouts à droite et retraits à gauche) s'avère prononcé.

2. L'impact du matériel sur les comportements d'ajouts et de retraits

Nous allons à présent nous interroger sur l'existence d'un éventuel impact du matériel proposé sur les situations d'ajouts et retraits auxquelles les enfants ont été confrontés.

2.1. Mise à l'épreuve du matériel dans les situations d'ajouts

Les enfants ont-ils des comportements similaires selon qu'on leur propose d'ajouter des figurines d'animaux à une collection donnée ou des wagons à un train déjà partiellement constitué ?

2.1.1. Étude des ajouts effectués par les enfants de PSM

	AJOUTS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	20	8	0	16	11	1
POURCENTAGE	**71%**	29%	0%	**57%**	39%	4%

Tableau 3 : Performances aux ajouts de figurines chez les enfants de PSM

	AJOUT DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	20	8	0	19	9	0
POURCENTAGE	**71%**	29%	0%	**68%**	32%	0%

Tableau 4 : Performances aux ajouts de wagons chez les enfants de PSM

Nous notons que les enfants de PSM ajoutent davantage par la droite et ce, quel que soit le matériel proposé.

2.1.2. Étude des ajouts effectués par les enfants de MSM

	AJOUTS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	24	4	0	17	11	0
POURCENTAGE	**86%**	14%	0%	**61%**	39%	0%

Tableau 5 : Performances aux ajouts de figurines chez les enfants de MSM

	AJOUTS WAGONS (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	17	11	0	16	12	0
POURCENTAGE	**61%**	39%	0%	**57%**	43%	0%

Tableau 6 : Performances aux ajouts de wagons chez les enfants de MSM

Nous observons que les enfants de MSM ajoutent davantage par la droite et ce, quel que soit le matériel proposé. On note toutefois que les ajouts par la droite se font plus massivement avec les figurines qu'avec les wagons.

2.1.3. Étude des ajouts effectués par les enfants de GSM

	AJOUTS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	21	7	0	16	10	2
POURCENTAGE	**75%**	25%	0%	**57%**	36%	7%

Tableau 7 : Performances aux ajouts de figurines chez les enfants de GSM

	AJOUTS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	21	7	0	16	12	0
POURCENTAGE	**75%**	25%	0%	**57%**	43%	**0%**

Tableau 8 : Performances aux ajouts de wagons chez les enfants de GSM

Nous observons que les enfants de GSM ajoutent davantage par la droite et ce, quel que soit le matériel proposé.

Nous constatons donc que quel que soit l'âge des enfants testés, le matériel proposé n'impacte pas les comportements d'ajouts, qui se font toujours plus volontiers par la droite de la collection.

2.2. Mise à l'épreuve du matériel dans les situations de retraits

Les enfants ont-ils des comportements similaires selon qu'on leur propose de retirer des figurines d'animaux d'une collection donnée ou des wagons d'un train déjà constitué ?

2.2.1. Étude des retraits effectués par les enfants de PSM

	RETRAITS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	19	7	2	21	4	3
POURCENTAGE	**68%**	25%	7%	**75%**	14%	11%

Tableau 9 : Performances aux retraits de figurines chez les enfants de PSM

	RETRAITS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	18	6	4	19	6	3
POURCENTAGE	**64%**	21%	14%	**68%**	21%	11%

Tableau 10 : Performances aux retraits de wagons chez les enfants de PSM

Nous observons que les enfants de GSM retirent davantage par la droite et ce, quel que soit le matériel proposé.

2.2.2. Étude des retraits effectués par les enfants de MSM

	RETRAITS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	20	6	2	21	6	1
POURCENTAGE	**71%**	21%	7%	**75%**	21%	4%

Tableau 11 : Performances aux de figurines d'animaux chez les enfants de MSM

	RETRAITS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	14,00	14,00	0	16	12	0
POURCENTAGE	**50%**	50%	0%	**57%**	43%	0%

Tableau 12 : Performances aux retraits de wagons chez les enfants de MSM

Nous notons que les enfants de MSM retirent davantage par la droite et ce, quel que soit le matériel proposé. Nous notons cependant que les retraits par la droite se font plus massivement avec les figurines qu'avec les wagons.

2.2.3. Étude des retraits effectués par les enfants de GSM

	RETRAITS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	19	7	2	16	10	2
POURCENTAGE	**68%**	25%	7%	**57%**	36%	7%

Tableau 13 : Performances aux retraits de figurines chez les enfants de GSM

	RETRAITS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
	1 DROITE	1 GAUCHE	1 ALEATOIRE	2 DROITE	2 GAUCHE	2 ALEATOIRE
TOTAL	15	13	0	13	15	0
POURCENTAGE	**54%**	46%	0%	46%	**54%**	0%

Tableau 14 : Performances aux retraits de wagons chez les enfants de GSM

Nous remarquons que les enfants de GSM ont tendance à retirer les figurines plutôt par la droite. En revanche, en situation de retraits de wagons, cette tendance semble s'amenuiser voire s'inverser au profit de mouvements par la gauche. Dans cette situation précise de retraits effectués par les enfants de GSM la nature du matériel proposé semble avoir un léger impact.

Nous constatons donc que quel que soit l'âge des enfants testés, le matériel proposé n'impacte pas les comportements de retrait, excepté de façon légère dans le cas particulier des enfants de GSM.

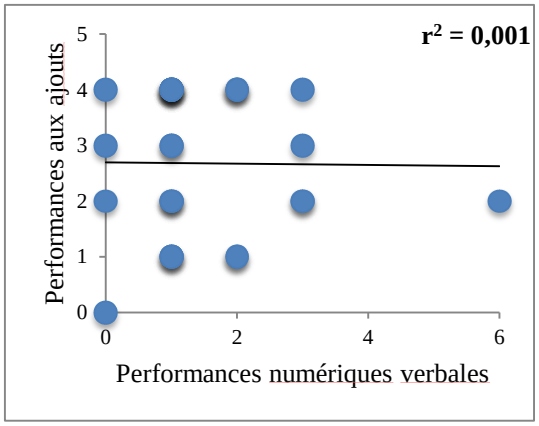
2.3. Conclusion

Notre deuxième hypothèse selon laquelle les enfants se comportent de façon similaire quel que soit le matériel proposé se trouve globalement vérifiée : lorsqu'ils ajoutent à droite des figurines et qu'ils les retirent par la gauche et inversement, ils procèdent de la même manière avec des wagonnets.

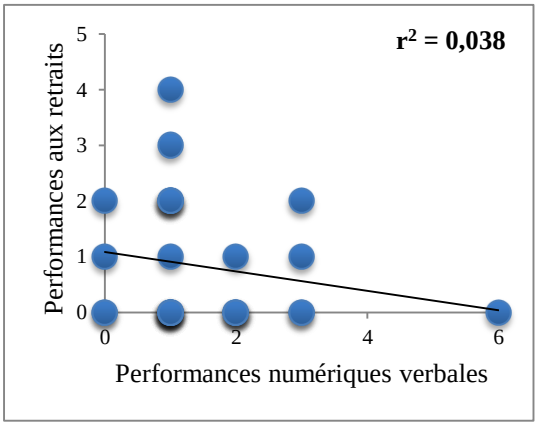
3.L'impact de la dimension verbale

Les corrélations entre les comportements d'ajouts à droite et de retraits à gauche et le niveau de maîtrise de la chaîne numérique verbale ont été évaluées au moyen de tests de corrélations de Pearson. Les graphiques ci-dessous présentent ces niveaux de corrélations.

PSM

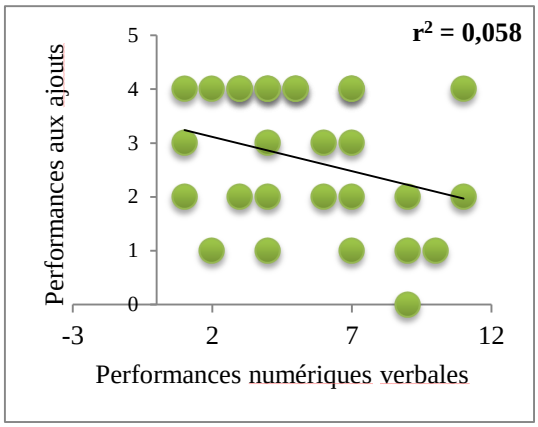


Graphique 4 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances numériques verbales en PSM

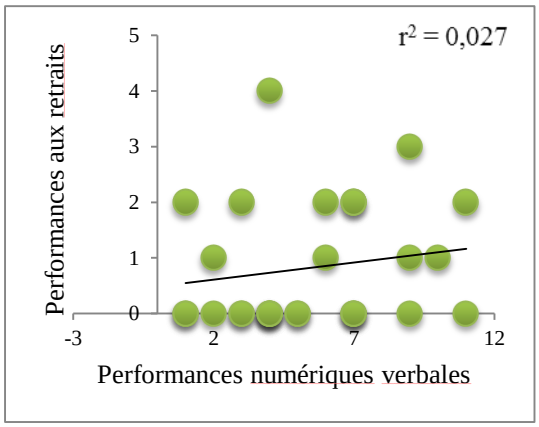


Graphique 5 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances numériques verbales en PSM

MSM

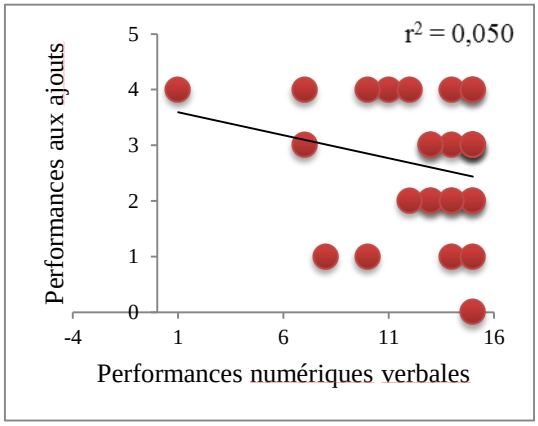


Graphique 6 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances numériques verbales en MSM

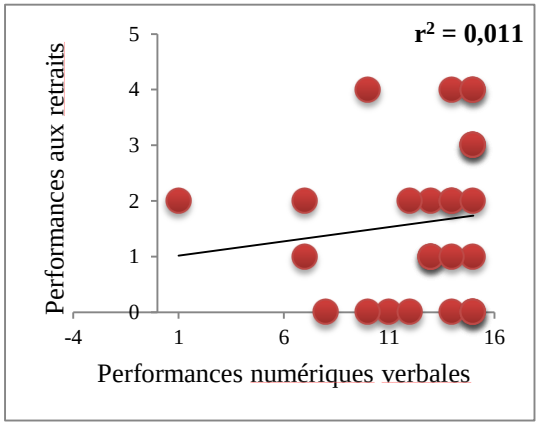


Graphique 7 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances numériques verbales en MSM

GSM



Graphique 8 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances numériques verbales en GSM



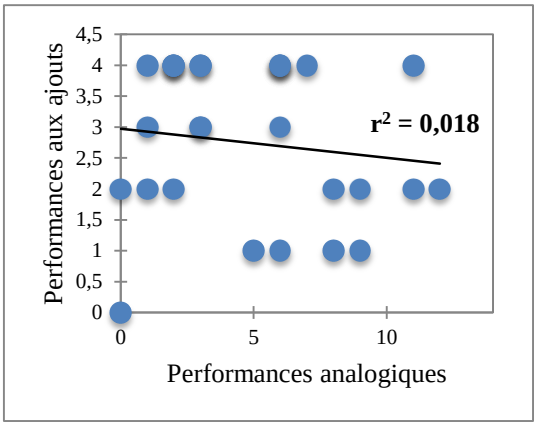
Graphique 9 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances numériques verbales en GSM

Les corrélations entre les comportements d'ajouts par la droite et de retraits par la gauche et le niveau de comptage sont très modestes, les coefficients de corrélation restant tous inférieurs à 0,058. Le poids de la dimension verbale apparaît donc très réduit sur les performances d'ajouts et de retraits.

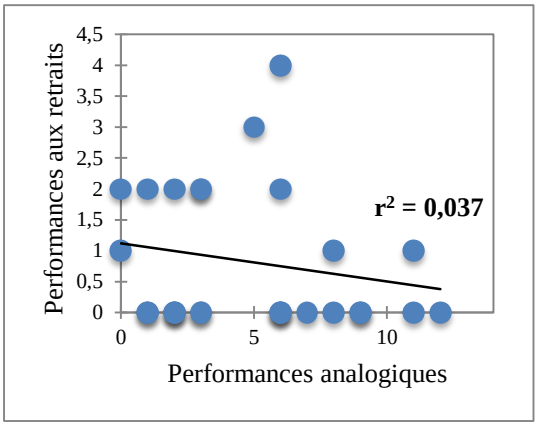
4.L'impact de la dimension analogique

Les corrélations entre les comportements d'ajouts à droite et de retraits à gauche et les performances analogiques ont été évaluées au moyen de tests de corrélations de Pearson. Les graphiques ci-dessous présentent ces niveaux de corrélations.

PSM

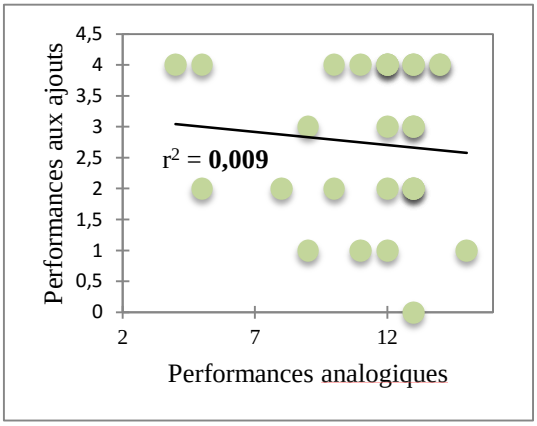


Graphique 10 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances analogiques en PSM

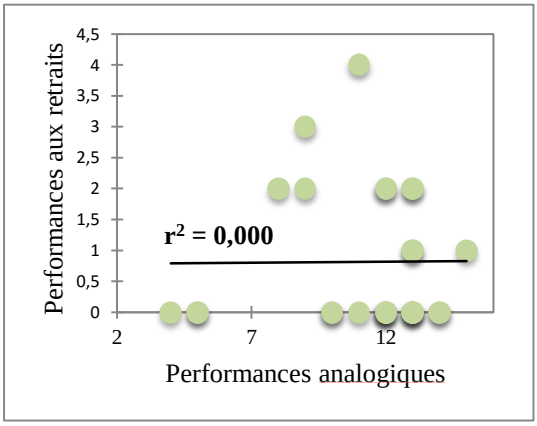


Graphique 11 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances analogiques en PSM

MSM

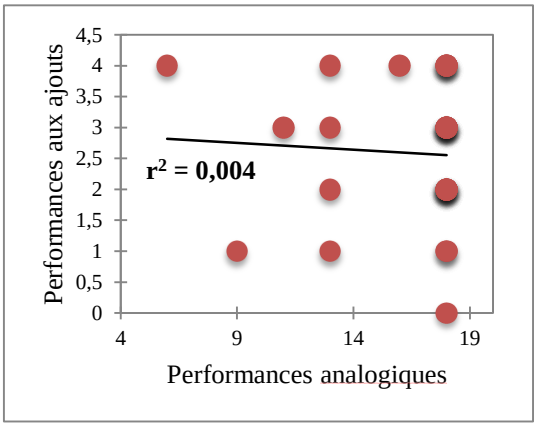


Graphique 12 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances analogiques en MSM

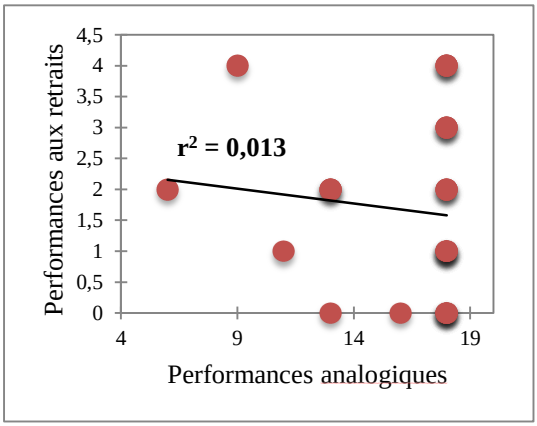


Graphique 13 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances analogiques en MSM

GSM



Graphique 14 : Corrélations entre les performances aux ajouts par la droite et les performances analogiques en GSM



Graphique 15 : Corrélations entre les performances aux retraits par la gauche et les performances analogiques en GSM

Les corrélations entre les comportements d'ajouts par la droite et de retraits par la gauche et le niveau de performances analogiques sont très faibles, les coefficients de corrélation restant tous inférieurs à 0,037. Le poids de la dimension analogique ne présenterait donc pas d'impact sur les comportements d'ajouts et de retraits.

5.La question de la latéralité

Une importante question a enfin trait à l'éventuel impact de la latéralité. Celle-ci influe-t-elle les performances ?

Comme les productions des enfants pouvaient dépendre de leur latéralité, nous avons évalué celle-ci en les soumettant à deux épreuves, l'une de latéralité manuelle et l'autre consistant à déterminer l'œil directeur. Nous avons considéré comme droitiers les enfants répondant systématiquement en mobilisant à deux reprises leur droite. Tous les autres ont été regroupés et considérés comme non-droitiers (ils étaient trop peu nombreux pour disposer de sous-groupes permettant des traitements statistiques).

Le tableau ci-dessous rapporte les scores des enfants droitiers (score maximal de 2 aux épreuves de latéralité) et des non-droitiers.

	PSM (D*=16)	**MSM** (D*=16)	**GSM** (D*=15)
AJDROIT			
Droitiers	**2,69*** **	**2,81*** **	**2,8*** **
Non-Droitiers	**2,67*** **	**2,42*** **	**2,46*** **
REGAU			
Droitiers	1,19	1,25	1,33
Non-Droitiers	1,33	1,75	**2,38** **

La significativité du *t* de Student par rapport au hasard (= 2) est indiquée par : ** (p<0.02) et *** (p <0 .01)

*D= nombre de droitiers

Tableau 15 : Performances aux ajouts et retraits en fonction de l'âge et e la latéralité

Qu'ils soient droitiers ou que la latéralité dominante soit mal déterminée ou à gauche, nous constatons que les enfants effectuent le plus souvent les ajouts à droite. Par contraste, si les retraits sont opérés à droite pour les PSM et MSM quelle que soit la dominante de latéralité, cela cesse d'être vrai en GSM.

6.Conclusion

L'étude que nous avons menée nous permet ainsi de mettre en évidence que, à partir de la GSM, les enfants dont la latéralité est de manière dominante à gauche ou encore indéterminée retirent majoritairement les entités à gauche.
C'est donc seulement à cette période des débuts de la scolarité que se mettrait en place l'exploitation de la ligne numérique pour le traitement des transformations d'ajouts (vers la droite) et de retraits (vers la gauche), et seulement pour les non-droitiers.

L'ensemble des résultats recueillis lors des passassions sont présentés en annexes (annexes 2 à 7).

III. Analyse de profils

(Rédaction de Jeanne Desmarestz)

Afin de tester d'une manière plus qualitative nos hypothèses, nous avons cherché à affiner les résultats statistiques obtenus. Nous nous sommes pour cela demandées si les corrélations précédemment dégagées se vérifiaient, en cherchant à mettre en exergue des profils comportementaux vis-à-vis des situations d'ajouts et de retraits proposées.

Les constats cliniques effectués lors des passations nous ont permis de mettre en évidence différents profils d'enfants :

- Ceux qui tendent à ajouter ou retirer à l'extrémité droite de la collection ;
- Ceux qui tendent à ajouter ou retirer à l'extrémité gauche de la collection ;
- Ceux qui tendent à effectuer des mouvements « d'équilibre » gauche/droite ;
- Ceux qui ajoutent ou retirent de façon aléatoire ;
- Ceux qui tendent à ajouter par la droite et à retirer par la gauche.

Dans l'analyse qui suit, nous entendrons par « enfants non-droitiers » ceux dont la latéralité n'est pas encore clairement définie (c'est-à-dire qui n'ont pas mobilisé à deux reprises leur côté droit dans les épreuves de latéralité proposées) ou qui ont mobilisé deux fois leur côté gauche.

1. Profil 1 : les enfants qui tendent à ajouter ou retirer à l'extrémité droite de la collection

Nous avons pu observer que 24 enfants dont 13 de PSM, 6 de MSM et 5 de GSM se comportaient de cette manière vis-à-vis des situations d'ajouts et de retraits proposées.
Cette façon d'opérer semble donc s'atténuer avec l'âge.
Nous avons par ailleurs relevé que cette tendance s'avérait hétérogène au niveau de la latéralité des enfants : sur les 13 enfants de PSM on retrouve 6 droitiers et 7 non-droitiers alors qu'en MSM seul 1 non-droitier pour 5 droitiers adopte cette démarche. On observe 100% de droitiers chez les enfants de GSM regroupés dans ce profil, ce qui nous amène à énoncer le fait que cette tendance ne perdurerait au fil du temps, de façon préférentielle, que chez les droitiers.

2. Profil 2 : les enfants qui tendent à ajouter ou retirer à l'extrémité gauche de la collection

Nous avons pu observer que seuls 5 enfants dont 1 de PSM, 2 de MSM et 3 de GSM optaient pour cette manière d'opérer vis-à-vis des situations d'ajouts et de retraits.
Cette tendance s'observe de façon préférentielle chez les non-droitiers (1 enfant de PSM, 1 enfant de MSM et 2 de GSM non-droitiers).
Par ailleurs, cette façon de procéder semblerait s'accentuer avec l'âge.

3. Profil 3 : les enfants qui tendent à effectuer des mouvements « d'équilibre » gauche/droite

Nous avons relevé 8 cas d'enfants ayant effectué un mouvement par la gauche ou la droite, suivi d'un mouvement en direction du côté opposé, comme dans une recherche de conservation d'équilibre, de « symétrie » de la collection initialement proposée.
Ces enfants ont eu cette tendance à l'équilibre dans trois situations proposées sur quatre.

Cette tendance a davantage été remarquée chez les grands (1 enfants de PSM, 2 de MSM et 5 de GSM) et chez les droitiers (5 droitiers sur les 8 enfants observés).

4. Profil 4 : les enfants qui ajoutent ou retirent de façon aléatoire

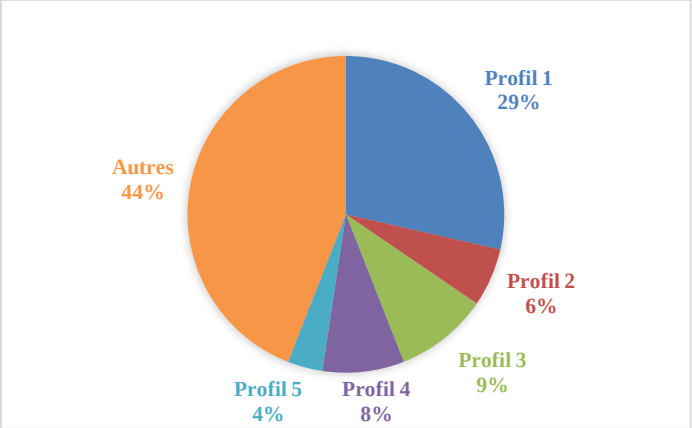
Nous avons recensé dans ce groupe les enfants qui ajoutaient ou retiraient les éléments au cœur de la collection et non sur l'une de ses extrémités.
Nous retrouvons dans ce profil 7 enfants dont 3 PSM, 1 MSM et 3 GSM, ce qui nous amène à dire que ni l'âge ni la latéralité (4 droitiers pour 3 non-droitiers) ne semblent être des facteurs influençant cette tendance.

5. Profil 5 : les enfants qui tendent à ajouter par la droite et à retirer par la gauche

Nous avons recensé dans ce profil les enfants, au nombre de 3, qui se comportent face à des situations d'ajouts et de retraits comme attendu au regard de l'effet SNARC.
Des mouvements d'ajouts et de retraits de ces enfants émanent des comportements spatio-numériques que nous pourrions qualifier de « matures » : leurs ajouts par la droite et retraits par la gauche semblent bien être conditionnés par la LNM.
Ces enfants sont en GSM, majoritairement non-droitiers (2 enfants sur 3), et présentent tous les 3 une chaîne numérique parvenue à un stade terminal.

6. Les autres enfants

Presque la moitié (44%) des enfants n'ont pas pu être référencés dans l'un des 5 profils précédemment décrits.
Cette population a en effet révélé des comportements d'ajouts de retraits si hétérogènes qu'aucune autre tendance n'a pu en être dégagée.



Graphique 16 : Répartition de la population par profils

IV. Études de cas

(Rédaction de Geneviève Mosca)

Afin d'illustrer chaque profil précédemment mis en exergue, nous présenterons des exemples individuels d'enfants appartenant à chacun des profils. Les cas sélectionnés se veulent représentatifs des profils dont ils sont issus.

Nos résultats ayant mis en évidence des prémices d'installation de l'effet SNARC au début de la GSM, nous avons choisi de présenter des enfants de cette classe d'âge adoptant des comportements différents en situations d'ajouts et de retraits.

Dans un souci de respect de l'anonymat des enfants sélectionnés, nous avons modifié leur prénom. Nous détaillerons pour chacun d'entre eux les données recueillies lors des épreuves proposées.

1.1er cas : Augustin, 5 ans et 1 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon (92)

Augustin est représentatif du profil n°1 : il tend à ajouter et à retirer à l'extrémité droite de la collection.

ÉPREUVE A			ÉPREUVE D			ÉPREUVE B			ÉPREUVE C			ÉPREUVE E	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I		
AJOUTS DE FIGURINES SCORE sur 2			AJOUTS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE FIGURINES SCORE sur 2			Performance aux épreuves numériques verbales SCORE sur 15	Performance aux épreuves de représentation analogique SCORE sur 18	L*main	L* œil	L* globale
D	G	A*	D	G	A	D	G	A	D	G	A			D	D	D
2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	11	13	1	1	1

***A= mouvement effectué de manière aléatoire ; *L = latéralité**

Tableau 16 : Performances d'Augustin aux épreuves de A à I

Cet enfant, droitier, se comporte de la même manière en situations d'ajouts et de retraits. On note par ailleurs qu'il présente d'assez bonnes performances aux épreuves de connaissances de la chaîne numérique verbale et de représentation analogique. C'est un enfant qui ne maîtrise pas le comptage à rebours ce qui pourrait peut-être être mis en lien avec le fait qu'il n'adopte pas deux comportements différents en situations d'ajouts et de retraits. Il en est au stade de la chaîne numérique sécable.

2. 2ème cas : Maxime, 5 ans et 4 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon (92)

Maxime est représentatif du profil n°2 : il tend à ajouter et à retirer à l'extrémité gauche de la collection.

ÉPREUVE A			ÉPREUVE D			ÉPREUVE B			ÉPREUVE C			ÉPREUVE E	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I		
AJOUTS DE FIGURINES SCORE sur 2			AJOUTS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE FIGURINES SCORE sur 2			Performance aux épreuves numériques verbales SCORE sur 15	Performance aux épreuves de représentation analogique SCORE sur 18	L*main	L* œil	L* globale
D	G	A*	D	G	A	D	G	A	D	G	A			D	D	D
0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	15	18	1	1	1

***A= mouvement effectué de manière aléatoire ; *L = latéralité**

Tableau 17 : Performances de Maxime aux épreuves de A à I

Maxime, droitier, se comporte de la même manière en situations d'ajouts et de retraits. On note qu'il présente de très bonnes performances aux épreuves de connaissances de la chaîne numérique verbale et de représentation analogique, il est en effet arrivé au stade de la chaîne numérique terminale.

3. 3ème cas : Zoé, 5 ans et 3 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon (92)

Zoé est représentative du profil n°3 : elle tend à effectuer des mouvements « d'équilibre » gauche/droite.

ÉPREUVE A			ÉPREUVE D			ÉPREUVE B			ÉPREUVE C			ÉPREUVE E	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I		
AJOUTS DE FIGURINES SCORE sur 2			AJOUTS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE FIGURINES SCORE sur 2			Performance aux épreuves numériques verbales SCORE sur 15	Performance aux épreuves de représentation analogique SCORE sur 18	L*main	L* œil	L* globale
D	G	A*	D	G	A	D	G	A	D	G	A			D	D	D
1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	2	0	15	18	1	1	1

***A= mouvement effectué de manière aléatoire ; *L = latéralité**

Tableau 18 : Performances de Zoé aux épreuves de A à I

Zoé, droitière, a eu cette tendance à l'équilibre dans trois situations proposées sur quatre.
On note qu'elle présente de très bonnes performances aux épreuves de connaissances de la chaîne numérique verbale et de représentation analogique, elle est en effet arrivée au stade de la chaîne numérique terminale.
La réponse qu'elle adopte pour les consignes proposées émanerait d'un effet autre que l'effet SNARC, sa démarche semblant guidée par un souci de conservation de la symétrie de la

collection initiale (lorsqu'elle ajoute ou retire des éléments d'un côté, elle en ajoute ou retire aussi de l'autre).

4. 4ème cas : Alice, 4 ans et 10 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon (92)

Alice est représentative du profil n°4 : elle a tendance à ajouter et à retirer des éléments d'une collection de façon aléatoire.

ÉPREUVE A			ÉPREUVE D			ÉPREUVE B			ÉPREUVE C			ÉPREUVE E	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I		
AJOUTS DE FIGURINES SCORE sur 2			AJOUTS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE FIGURINES SCORE sur 2			Performance aux épreuves numériques verbales SCORE sur 15	Performance aux épreuves de représentation analogique SCORE sur 18	L*main	L* œil	L* globale
D	G	A*	D	G	A	D	G	A	D	G	A			G	D	ND
1	0	1	0	2	0	2	0	0	0	0	2	8	13	1	1	1

***A= mouvement effectué de manière aléatoire ; *L = latéralité**

Tableau 19 : Performances d'Alice aux épreuves de A à I

Alice, non-droitière, n'a pas adopté de comportement homogène lors des situations d'ajouts et de retraits proposées. En situations d'ajouts, elle a aussi bien pu opérer à droite, qu'à gauche ou de façon aléatoire, c'est-à-dire en ajoutant les objets proposés au cœur de la collection initiale et non sur l'une de ses extrémités. En situations de retraits, elle a dans certains cas, procédé par la droite, et dans d'autres de façon aléatoire.

On note qu'elle présente des performances moyennes aux épreuves de connaissances de la chaîne numérique verbale et de représentation analogique. Sa chaîne numérique commence à atteindre le stade sécable et manque un peu de maturité.

5. 5ème cas : Pablo, 5 ans et 3 mois, en GSM à l'école La Fontaine de Meudon (92)

Pablo est représentatif du profil n°5 : il tend à ajouter par la droite et à retirer par la gauche.

ÉPREUVE A			ÉPREUVE D			ÉPREUVE B			ÉPREUVE C			ÉPREUVE E	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I		
AJOUTS DE FIGURINES SCORE sur 2			AJOUTS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE WAGONS SCORE sur 2			RETRAITS DE FIGURINES SCORE sur 2			Performance aux épreuves numériques verbales SCORE sur 15	Performance aux épreuves de représentation analogique SCORE sur 18	L*main	L* œil	L* globale
D	G	A*	D	G	A	D	G	A	D	G	A			D	G	ND
2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	14	18	1	1	1

***A= mouvement effectué de manière aléatoire ; *L = latéralité**

Tableau 20 : Performances de Pablo aux épreuves de A à I

Cet enfant, lors des épreuves de latéralité, n'a pas mobilisé sa droite de façon systématique et n'a donc pas été considéré comme droitier pour notre traitement statistique.

Nous constatons, comme l'ont montré les résultats de l'étude menée, qu'il effectue dans 100% des cas les ajouts par la droite et les retraits par la gauche. Le traitement des agrandissements ou réductions de collections qu'il opère constitue un exemple canonique du phénomène d'exploitation de la ligne numérique que l'on peut observer, à partir de la GSM, chez les enfants considérés comme non-droitiers.

Aussi ces focus sur des cas de sujets qui adoptent différentes procédures peuvent-ils nous amener à nous poser les questions suivantes : peut-on favoriser la mise en place de cette installation de la LNM ? Quel intérêt clinique présenterait l'instauration précoce d'un effet SNARC ?

6. Proposition d'intervention

Il a aujourd'hui amplement été démontré que le développement des compétences logico-mathématiques chez le jeune enfant reposait sur le développement du langage mais, aussi, sur celui de compétences non-verbales (Fayol, 2013).

La capacité à exploiter la LNM, qui se trouve au cœur de notre étude, est un exemple de compétences non-verbales à partir de laquelle se tisse la cognition mathématique (Fischer et coll. 2011 ; Link, 2013) [20] [41]. Faciliter la mise en place de cette LNM pourrait donc favoriser le développement de compétences logico-mathématiques et prévenir ainsi d'éventuels écueils chez les enfants pour lesquels la construction de la dimension spatiale que comportent les concepts numériques s'instaure plus tardivement ou de façon déviante.

Parmi les enfants que nous avons observés, le cas d'Alice (cas n°4) met en exergue des comportements aléatoires face aux situations d'ajouts et de retraits proposées. Dans l'optique de faire évoluer ses schèmes d'actions, nous pourrions la confronter à des épreuves de jugements qui consisteraient en l'observation de transformations de collections effectuées par trois marionnettes, par exemple. La première d'entre elles opérerait toutes les transformations, ajouts et retraits confondus, par la droite ; la seconde procéderait systématiquement par la gauche et la dernière adopterait le comportement « mature » d'ajouts par la droite et de retraits par la gauche. Un jugement des procédures mises en place par ces 3 personnages actionnés serait successivement demandé à l'enfant : « *Qu'a fait la marionnette* ? », « *Qu'en penses-tu* ? ». L'idée serait d'inviter ce dernier à observer d'autres

schèmes d'actions possibles et à lui faire prendre conscience de nouvelles procédures par rapport à sa démarche initiale.
Tout d'abord, cela permettrait à Alice d'observer que ces transformations sont effectuées par les personnages au niveau de l'une des extrémités des alignements d'objets. Cette démarche l'inviterait davantage à constater l'accroissement ou la réduction des collections proposées puisque celles-ci ne verraient pas leur état initial perturbé (Alice avait tendance à ajouter ou retirer des éléments au cœur des collections proposées). Cette démarche « activerait » davantage la LNM puisqu'un sens serait ? mis en évidence et, avec ce dernier, un déplacement qui mimerait ? la représentation en cours d'élaboration de la LNM chez les enfants de la classe d'âge que nous avons testés.
Par ailleurs, le fait que la 3ème marionnette associe un sens respectif à chacune des deux transformations proposées amènerait Alice à progresser dans sa structuration des mouvements opérés, la LNM se voyant en retour implicitement consolidée dans une sorte de cercle vertueux puisque chaque transformation d'ajouts par la droite activerait le côté des nombres plus grands et chaque transformation de retraits par la gauche activerait celui des nombres les plus petits.

Soumettre des enfants qui n'ont pas encore atteint, comme Pablo (cas n°5), une maturité d'actions à des épreuves de jugements de transformations opérées par des marionnettes permettrait de les exposer à un conflit cognitif dont on pourrait se servir pour les engager dans une démarche de réflexion sur leurs propres procédures et sur d'autres possibles. Nous pourrions en outre supposer qu'un enfant comme Zoé (cas n°3) qui agit selon un principe d'équilibre des collections (si elle ajoute un élément à droite, elle en ajoute ensuite un à gauche) entrerait en conflit cognitif avec les démarches de chacune des 3 marionnettes qui « déséquilibrent » les alignements initialement proposés en ajoutant ou retirant sur un seul côté. Aussi Zoé se trouverait-elle confrontée à d'autres schèmes d'action activant davantage la LNM, dont elle pourrait par la suite s'emparer, « s'accommoder » pour reprendre la terminologie piagétienne. Cette enfant présente en effet de très bonnes performances aux épreuves de connaissances de la chaîne numérique verbale et de représentation analogique. Aussi peut-on supposer qu'elle aurait un niveau de cognition numérique lui permettant d'être réceptive à d'autres propositions de démarche.

Des enfants comme Augustin (cas n°1) ou Maxime (cas n°2) qui n'opèrent que sur l'une des extrémités des collections pourraient aussi bénéficier de ces épreuves de jugement dans la mesure où elles les confronteraient à l'idée selon laquelle à une transformation peut être

associée un mouvement qui lui est propre : si j'ajoute, j'agis par la droite selon la LNM et je n'opère pas de la même manière quand je retire. J'active au contraire dans ce cas le côté opposé, comme pour signifier qu'il s'agit d'une transformation opposée, elle aussi.

Aussi cette proposition d'intervention consistant à soumettre les enfants à des épreuves de jugement leur permettrait-elle de réfléchir individuellement sur leurs propres procédures et de parvenir, après être passés ou non par une phase de déséquilibre de leurs représentations, à en assimiler de nouveaux, qui activeraient la LNM, en en favorisant ainsi l'installation recherchée.

V. Discussion

(Rédaction de Jeanne Desmarestz et Geneviève Mosca)

1. Rappel de notre étude

L'objectif de notre travail était de s'interroger sur la possible précocité d'installation d'une ligne numérique mentale orientée selon un vecteur gauche-droite, installation jusqu'alors attestée à partir du CE2 (Van Galen et Reitsma, 2008) [21], c'est-à-dire à un âge où commencent à se consolider les apprentissages du langage écrit puis, plus récemment démontrée dès l'âge de 5 ans (Izard et coll., 2008) [36].

L'originalité de cette étude réside dans le choix qui a été effectué d'opérationnaliser les transformations d'ajouts et de retraits plutôt que de tester de façon plus directe l'exploitation de la LNM.

Aussi avons-nous mesuré chez de jeunes sujets (âgés de 3 à 5 ans) la tendance à réaliser de manière dominante, à partir d'une collection de référence, des ajouts à droite et des retraits à gauche. Cette démarche nous a alors permis de tester la prédiction selon laquelle, s'il existait une LNM précocement installée, alors les enfants opéreraient, de façon préférentielle, les transformations d'ajouts par la droite et celles relatives à des retraits par la gauche.

Pour ce faire, nous avons mené une étude transversale auprès d'une population de 84 enfants tout-venants de la tranche d'âge concernée (28 de chacun des 3 niveaux de classe maternelle).

Chaque enfant a été soumis à un dispositif protocolaire, mis en place avec l'objectif d'évaluer ses performances aux ajouts et retraits et les éventuelles corrélations que ces dernières pourraient présenter avec le niveau de maîtrise en cours de la chaîne numérique verbale, la capacité à dénombrer et avec le facteur « latéralité », jusqu'alors peu exploré.
Notre protocole a été dans cette optique construit à partir de neuf épreuves : deux épreuves d'ajouts et deux de retraits, s'appuyant sur deux types de matériels différents (épreuves A à D), une épreuve testant le niveau de maîtrise de la chaîne numérique verbale de l'enfant (épreuve E), trois épreuves évaluant ses capacités analogiques (épreuves F, G, H) et une dernière s'intéressant à la latéralité de l'enfant testé (épreuve I).
Suite aux passations effectuées, les données collectées ont fait l'objet de deux d'analyses : une analyse statistique basée d'une part sur la significativité du *t* de Student par rapport au hasard et d'autre part sur des tests de corrélations de Pearson, et une analyse et qualitative de profils, ayant permis de dégager 5 principales tendances comportementales par rapport aux situations d'ajouts et de retraits.

2. Confrontation aux hypothèses

Rappelons tout d'abord que notre **première hypothèse** stipulait que de jeunes enfants âgés de 3 à 5 ans, avant même tout enseignement formel du langage écrit, étaient peut-être en mesure de réaliser de manière dominante des ajouts à droite et des retraits à gauche à partir d'une collection de référence. L'effet de transformations observé est alors apparu plus tardif que ce que l'on aurait pu prédire : ce n'est que vers l'âge de 5 ans qu'il se met en place, comme cela a déjà été montré dans de précédentes études (Sato et Lalain, 2008; Opfer et coll., 2010; Hoffmann et coll., 2013) [58] [49] [32].
Cet effet s'est montré aussi moins net que prévu, mettant en évidence une dissociation entre les performances aux ajouts et celles mesurées en situations de retraits. En situation d'ajouts, qu'ils soient droitiers, gauchers ou que leur latéralité dominante soit encore mal déterminée, notre étude a révélé que les enfants effectuaient le plus souvent les ajouts par la droite.
En situation de retraits, les opérations s'effectuent majoritairement à droite également, quelle que soit la dominante de latéralité.

Quant à notre **deuxième hypothèse** formulant que les enfants se comportaient de façon similaire quel que soit le matériel proposé, elle s'est trouvée globalement vérifiée : lorsqu'ils ajoutent à droite des figurines et qu'ils les retirent par la gauche, ils procèdent de la même manière avec des wagonnets.

Enfin, conformément à notre **troisième et dernière hypothèse**, les résultats de l'analyse statistique ont révélé l'effet d'âge attendu : plus les enfants avancent en âge, plus ils ajoutent par la droite et retirent par la gauche.

Nos résultats ont en outre montré l'existence d'un **effet de latéralité** qui n'avait jusqu'alors été que peu décrit dans la littérature. Cet effet, qui peut s'observer à partir des débuts de la GSM, concerne les enfants dont la latéralité n'est pas clairement ancrée à droite : ces enfants mettent en exergue une exploitation de la ligne numérique mentale, en présentant des retraits de quantités préférentiellement effectués par la gauche et des ajouts par la droite.

3. Questions soulevées

L'étude que nous avons menée nous conduit donc à nous interroger sur différents aspects des résultats mis en évidence.

- Tout d'abord, ils nous invitent à nous questionner sur les fondements de l'aspect tardif de l'apparition de cette possibilité d'exploitation de la LNM, en situations d'ajouts et de retraits. Le caractère relativement lent de cette installation pourrait être en lien avec la nécessité d'un développement cognitif, de celle de la maturation des substrats cérébraux sur lesquels s'appuient les SNAs (tout particulièrement le lobe postérieur supérieur pariétal et le gyrus angulaire gauche) (Opfer et coll., 2010) [49]. Cet aspect pourrait aussi être la résultante d'un apprentissage et, avant même que celui-ci ne devienne formel, d'une imprégnation gauche/droite des situations auxquelles les enfants de cultures occidentales sont soumis dès leur plus jeune âge et qui façonne au niveau attentionnel leur *pattern* de préférences directionnelles (Nuerk et coll., 2015) [46]. Si cet effet n'est pas inné, cela nous conforte donc dans l'idée qu'il serait intéressant de les soumettre à des épreuves de jugement ou de comparaison, comme cela a été mis en évidence dans nos études de cas. Ceci permettrait en effet de mesurer la capacité d'adaptation que ces derniers pourraient présenter en se trouvant confrontés aux schèmes d'action attendus.

- D'autre part, nos résultats soulèvent la question de l'éventuel impact du matériel proposé aux enfants. Effectivement, en dépit du fait qu'ils se soient en règle générale comportés de manière plutôt similaire avec les deux types de matériels, nous avons remarqué une légère différence chez les enfants de GSM.

Ces derniers avaient tendance à retirer les figurines d'animaux plutôt par la droite alors qu'en situation de retraits de wagons, cette tendance semblait s'amenuiser voire s'inverser au profit de mouvements par la gauche. Dans cette situation précise de retraits effectués par les enfants de GSM, la nature du matériel proposé a donc semblé présenter un léger impact. Ceci pourrait être à mettre en lien avec la nature du matériel manipulé : alors que les figurines étaient orientées spatialement, les wagons, eux, ne l'étaient pas.
Aussi, pourrait-il être intéressant de confronter les enfants à d'autres situations avec un matériel différent afin d'évaluer s'ils présenteraient un comportement analogue face à de nouvelles collections proposées.

- Par ailleurs, dans les études menées sur l'installation des SNAs chez l'enfant, la question de la latéralité n'a été que très peu prise en compte. Nous avons constaté que l'effet SNARC commençait à s'exprimer plus tardivement que ce à quoi nous aurions pu nous attendre, seulement vers 5 ans, en début de GSM, au moment où la latéralité commence à s'installer chez la plupart des enfants, comme cela a déjà pu être démontré (Krings, 2009). [38].
Le *pattern* ipsilatéral est dominant chez l'enfant (Patro et coll., 2015) [52]. Notre protocole les invitait en effet à croiser à un moment donné la ligne médiane de leur corps, quelles que soient leur latéralité et les transformations demandées (ajouts et retraits).
On note, en outre, que parmi les enfants qui ont tendance à effectuer toutes les transformations à droite se trouvent près d'un tiers d'enfants non-droitiers. Ce résultat prouve que ces enfants sont parvenus à dépasser leurs tendances ipsilatérales : en effectuant ces transformations à droite alors qu'ils n'utilisent pas forcément de façon privilégiée leur main droite, ils mettent en évidence une capacité à croiser la ligne médiane du corps pour effectuer ces mouvements.
L'hétérogénéité des résultats que nous avons obtenus est peut-être en partie liée à l'effort nécessité par ce dépassement des tendances naturelles ipsilatérales qu'ils devaient effectuer pour certaines transformations demandées.
Cette difficulté pourrait être l'une des raisons pour lesquelles l'effet SNARC ne peut pas se mettre en place aussi précocement que nous l'avions formulé dans notre première hypothèse.
Aussi, l'étude que nous avons menée, qui mettait les enfants en situations d'ajouts et de retraits d'éléments, met-elle pleinement en exergue le fait que les transformations, y compris les plus abstraites, s'enracinent d'abord dans des actions liées au corps.

- Cette notion, *l'embodiement*, se trouve au cœur de l'expérience que nous avons menée, et rappelle l'importance des expériences spatiales qui se jouent de façon « incarnée » dans la

construction des SNAs et celle du rôle des comportements moteurs dans les apprentissages spatio-numériques (McCrink et coll., 2014; Patro et coll., 2015) [45] [52].
Notre étude met ainsi l'accent sur le fort ancrage dans la motricité spatiale que présentent ces SNAs. Nos résultats ont bien montré le faible impact des dimensions verbale et analogique sur les comportements des enfants lors des situations d'ajouts et de retraits.

4. Limites de l'étude

- La population : Notre étude aurait gagné en pertinence en s'appuyant sur une cohorte d'enfants plus importante.
Pour lever le biais éventuel de la latéralité, il aurait idéalement fallu une population équilibrée entre gauchers et droitiers, mais tendre à une telle équivalence est difficilement réalisable étant donnée la faible proportion de gauchers dans la population totale (de l'ordre de 10%). Cette difficulté était d'autant plus marquée que les enfants de la tranche d'âge étudiée ne sont pas tous encore définitivement latéralisés.
Enfin, les épreuves de manipulations d'objets requièrent des aptitudes praxiques et visuelles. Nous n'avons cependant pas pu évaluer et prendre en compte dans notre recrutement d'éventuelles difficultés qu'auraient pu rencontrer les élèves dans ces domaines.

- Le protocole : L'insertion dans notre protocole d'un plus grand nombre de situations d'ajouts et de retraits aurait permis d'affiner et de renforcer les résultats obtenus.
La détermination de la latéralité aurait aussi gagné en précision en s'appuyant sur davantage d'épreuves (contrôle de la latéralité du pied, par exemple).
Les conditions matérielles ne nous ont en outre pas permis de mesurer les saccades oculaires des enfants lors des transformations effectuées, ce qui aurait pu nous donner davantage d'informations quant au traitement spatial opéré en termes de balayage visuel dans les situations proposées. Or, comme le soulignent par exemple Bulf et coll., le fait de mesurer ce déploiement de l'attention visuelle fait à l'heure actuelle l'objet de recherches dans ce domaine (Bulf et coll., 2016;) [2].

5. Prolongements de l'étude

Notre travail pourrait tout d'abord pleinement faire l'objet d'une étude longitudinale afin de mesurer l'évolution de l'installation de l'effet SNARC chez de mêmes participants. Retrouver en fin d'année scolaire les enfants qui avaient au premier trimestre participé à

notre protocole serait un prolongement intéressant dans le cadre d'une étude comparative des comportements mis en place face aux situations d'ajouts et de retraits.
Tester des enfants qui ne sont pas bien latéralisés à un âge où ils devraient l'être de façon plus affirmée (entre 6 et 7 ans) pourrait aussi apporter un surcroît d'informations quant à l'effet de latéralité mis en évidence sur les SNAs.
L'importance de la dimension corporelle et la mise en évidence d'une corrélation entre la latéralité et les SNAs, pourrait par ailleurs justifier le prolongement de cette étude par un travail conjoint avec des psychomotriciens.

Ce travail gagnerait également en ampleur grâce à une analyse plus fine des saccades oculaires effectuées par les enfants lors des situations d'ajouts et de retraits.

CONCLUSION

(Rédaction de Jeanne Desmarestz et Geneviève Mosca)

Cette étude nous a permis de tester si l'installation d'une ligne numérique mentale, spatialement déployée de la gauche vers la droite, apparaissait précocement dans les cultures occidentales. Notre démarche a consisté en une opérationnalisation des transformations d'ajouts et de retraits, au travers de manipulations effectuées à partir de collections, chez des sujets âgés de 3 à 5 ans. Parallèlement, nous avons évalué, d'une part, le niveau de développement de ces enfants en termes de capacités symboliques et analogiques et, d'autre part, la latéralité dominante qu'ils présentaient afin de mettre en lumière d'éventuelles corrélations entre ces différents paramètres et la gestion des situations d'ajouts et de retraits effectuée lors de manipulations d'objets.

Nous avons confirmé qu'il existe un effet d'âge dans l'apparition de l'exploitation de la LNM, mais que cet effet est observable plus tardivement que ce qui était attendu, puisqu'on ne le retrouve qu'à partir de 5 ans, chez les enfants en début de GSM.
Notre étude a également démontré que l'installation de la LNM n'est pas innée, mais qu'elle est le fruit du développement des fonctions cognitives de l'enfant, et d'une nécessaire maturation des substrats cérébraux correspondants.
L'émergence d'un certain effet de latéralité, observable également à partir de la GSM, mais uniquement chez les enfants dont la latéralité dominante n'est pas ancrée à droite, souligne l'importance des expériences spatiales qui se jouent de façon « incarnée » dans la construction des SNAs.

Comme il a été montré que les sujets adultes effectuent plus rapidement les ajouts et retraits lorsque les nombres sont respectivement présentés par la droite et la gauche (Mathieu et coll., 2016) [43], nos résultats indiquent qu'il semblerait préférable de favoriser l'installation de la LNM dès le plus jeune âge afin de prévenir l'expression de stratégies déviantes ultérieures dans le traitement spatial du nombre.
Cette hypothèse devra être confirmée par des études de cohortes longitudinales davantage équilibrées en sujets latéralisés à gauche, et s'appuyant sur des tâches de jugement, d'imitation ou d'apprentissage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Berch, D. B., Foley, E. J., Hill, R. J., et Ryan, P. M. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of Experimental Child Psychology*. 74, 286–308. doi:10.1006/jecp.1999.2518.

[2] Bulf, H., de Hevia, M. D., et Macchi Cassia, V. (2016). Small on the left, large on the right: numbers orient visual attention onto space in preverbal infants. D*evelopmental Science.* 19, 394–401. doi:10.1111/desc.12315.

[3] Carlier, M., Doyen, A.-L., et Lamard, C. (2006). Midline crossing: developmental trend from 3 to 10 years of age in a preferential card-reaching task. *Brain Cognition.* 61, 255–261. doi:10.1016/j.bandc.2006.01.007.

[4] Conant, L. L. (1896). The number concept; its origin and development. New York and London: Macmillan and Co. Available at: //catalog.hathitrust.org/Record/012326561 [Accessed May 6, 2016].

[5] Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., McAvoy, M. P., et Shulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience.* 3, 292–297. doi:10.1038/73009.

[6] Dadda, M., Zandonà, E., Agrillo, C., et Bisazza, A. (2009). The costs of hemispheric specialization in a fish. *Proc. Biological. Sciences.* 276, 4399–4407. doi:10.1098/rspb.2009.1406.

[7] Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths - 15 ans après.* Paris: Odile Jacob.

[8] Dehaene, S., Bossini, S., et Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology. Gen.* 122, 371–396. doi:10.1037/0096-3445.122.3.371.

[9] Dehaene, S., Izard, V., Spelke, E., et Pica, P. (2008). Log or linear? Distinct intuitions of the number scale in Western and Amazonian indigene cultures. *Science* 320, 1217–1220. doi:10.1126/science.1156540.

[10] Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., et Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitiv Neuropsycholy* 20, 487–506. doi:10.1080/02643290244000239.

[11] Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., et Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 284, 970–974.

[12] Doake, D. (1985). "Reading-like behaver: its role in learning to read," in *Reading-like behaver: its role in learning to read*, 82–98.

[13] Dobel, C., Diesendruck, G., et Bölte, J. (2007). How writing system and age influence spatial representations of actions: a developmental, cross-linguistic study. *Psychology Science* 18, 487–491. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01926.x.

[14] Dooley, C. M. (2010). Young Children's Approaches to Books: The Emergence of Comprehension. *The Reading Teacher* 64, 120–130. doi:10.1598/RT.64.2.4.

[15] Drucker, C. B., et Brannon, E. M. (2014). Rhesus monkeys (Macaca mulatta) map number onto space. *Cognition* 132, 57–67. doi:10.1016/j.cognition.2014.03.011.

[16] Dyson, A. H. (1982). Reading, Writing, and Language: Young Children Solving the Written Language Puzzle. *Language Arts* 59, 829–839.

[17] Fayol, M. (2013*). L'acquisition du nombre*. Paris: puf.

[18] Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F., et d' Ydewalle, G. (1996). The importance of magnitude information in numerical processing: Evidence from the SNARC effect. *Mathematical Cognition.* 2.

[19] Fias, W., Lammertyn, J., Reynvoet, B., Dupont, P., et Orban, G. A. (2003). Parietal representation of symbolic and nonsymbolic magnitude. *J. Cognition Neuroscience* 15, 47–56. doi:10.1162/089892903321107819.

[20] Fischer, M. H., et Brugger, P. (2011). When digits help digits: spatial-numerical associations point to finger counting as prime example of embodied cognition. *Frontiers in Psychology.* 2, 260. doi:10.3389/fpsyg.2011.00260.

[21] Van Galen, M. S., et Reitsma, P. (2008). Developing access to number magnitude: a study of the SNARC effect in 7- to 9-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology.* 101, 99–113. doi:10.1016/j.jecp.2008.05.001.

[22] Gevers, W., Reynvoet, B., et Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition* 87, B87–95.

[23] Girelli, L., Lucangeli, D., et Butterworth, B. (2000). The development of automaticity in accessing number magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology.* 76, 104–122. doi:10.1006/jecp.2000.2564.

[24] Göbel, S., Walsh, V., et Rushworth, M. F. (2001). The mental number line and the human angular gyrus. *NeuroImage* 14, 1278–1289. doi:10.1006/nimg.2001.0927.

[25] Haith, M. M. (1980). Rules that Babies Look by: The Organization of Newborn Visual Activity. L. Erlbaum Associates.

[26] Hausmann, M., Waldie, K. E., et Corballis, M. C. (2003). Developmental changes in line bisection: a result of callosal maturation? *Neuropsychology* 17, 155–160.

[27] Herrera, A., Macizo, P., et Semenza, C. (2008). The role of working memory in the association between number magnitude and space. *Acta Psychologica. (Amst.)* 128, 225–237. doi:10.1016/j.actpsy.2008.01.002.

[28] De Hevia, M. D., Girelli, L., Addabbo, M., et Macchi Cassia, V. (2014). Human infants' preference for left-to-right oriented increasing numerical sequences. *PloS One* 9, e96412. doi:10.1371/journal.pone.0096412.

[29] De Hevia, M. D., Girelli, L., et Macchi Cassia, V. (2012). Minds without language represent number through space: origins of the mental number line. *Frontiers in Psychology.* 3, 466. doi:10.3389/fpsyg.2012.00466.

[30] De Hevia, M. D., et Spelke, E. S. (2009). Spontaneous mapping of number and space in adults and young children. *Cognition* 110, 198–207. doi:10.1016/j.cognition.2008.11.003.

[31] De Hevia, M. D., et Spelke, E. S. (2010). Number-Space Mapping in Human Infants. *Psychology Science.* 21, 653–660. doi:10.1177/0956797610366091.

[32] Hoffmann, D., Hornung, C., Martin, R., et Schiltz, C. (2013). Developing number-space associations: SNARC effects using a color discrimination task in 5-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology.* 116, 775–791. doi:10.1016/j.jecp.2013.07.013.

[33] Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., et Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience.* 6, 435–448. doi:10.1038/nrn1684.

[34] Hung, Y., Hung, D. L., Tzeng, O. J.-L., et Wu, D. H. (2008). Flexible spatial mapping of different notations of numbers in Chinese readers. *Cognition* 106, 1441–1450. doi:10.1016/j.cognition.2007.04.017.

[35] Ito, Y., et Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers: Evidence from the SNARC effect. *Memory & Cognition.* 32, 662–673.

[36] Izard, V., Pica, P., Spelke, E., et Dehaene, S. (2008). Comment les nombres se répartissent dans l'espace: Une intuition originelle logarithmique. *médecine/sciences* 24, 1014–1016. doi:10.1051/medsci/200824121014.

[37] Knops, A., Viarouge, A., et Dehaene, S. (2009). Dynamic representations underlying symbolic and nonsymbolic calculation: evidence from the operational momentum effect. *Attention Perception & Psychophysics.* 71, 803–821. doi:10.3758/APP.71.4.803.

[38] Krings, F. (2009). Psychomotricité à l'école maternelle : Les situations motrices au service du développement de l'enfant. De Boeck.

[39] Lee, K. M. (2000). Cortical areas differentially involved in multiplication and subtraction: a functional magnetic resonance imaging study and correlation with a case of selective acalculia. *Annals of Neurology* 48, 657–661.

[40] Lindemann, O., Alipour, A., et Fischer, M. H. (2011). Finger Counting Habits in Middle Eastern and Western Individuals: An Online Survey. *Journal of Cross-Cultural Psychology* 42, 566–578. doi:10.1177/0022022111406254.

[41] Link, T., Huber, S., Nuerk, H.-C., et Moeller, K. (2013). Unbounding the mental number line-new evidence on children's spatial representation of numbers. *Frontiers in Psychology.* 4, 1021. doi:10.3389/fpsyg.2013.01021.

[42] Longo, M. R., et Lourenco, S. F. (2007). Spatial attention and the mental number line: evidence for characteristic biases and compression. *Neuropsychologia* 45, 1400–1407. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.11.002.

[43] Mathieu, R., Gourjon, A., Couderc, A., Thevenot, C., et Prado, J. (2016). Running the number line: Rapid shifts of attention in single-digit arithmetic. *Cognition* 146, 229–239. doi:10.1016/j.cognition.2015.10.002.

[44] Mazeau (2000). Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant. Paris: Editions Masson.

[45] McCrink, K., Shaki, S., et Berkowitz, T. (2014). Culturally-Driven Biases in Preschoolers' Spatial Search Strategies for Ordinal and Non-Ordinal Dimensions. *Cognitive Development* 30, 1–14. doi:10.1016/j.cogdev.2013.11.002.

[46] Nuerk, H.-C., Patro, K., Cress, U., Schild, U., Friedrich, C. K., et Göbel, S. M. (2015). How space-number associations may be created in preliterate children: six distinct mechanisms. *Frontiers in Psychology.* 6, 215. doi:10.3389/fpsyg.2015.00215.

[47] Núñez, R., et Fias, W. (2015). Ancestral Mental Number Lines: What Is the Evidence? *Cognitive Science.*, n/a–n/a. doi:10.1111/cogs.12296.

[48] Opfer, J. E., and Furlong, E. E. (2011). How Numbers Bias Preschoolers' Spatial Search. *Journal of Cross-Cultural Psychology.* 42, 682–695. doi:10.1177/0022022111406098.

[49] Opfer, J. E., Thompson, C. A., et Furlong, E. E. (2010). Early development of spatial-numeric associations: evidence from spatial and quantitative performance of preschoolers. *Developmental Science* 13, 761–771. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00934.x.

[50] Opfer, J., and Thomson, C. (2006). Even early representations of numerical magnitude are spatially organized: Evidence for a directional magnitude bias in pre-reading preschoolers. in 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society.

[51] Patro, K., et Haman, M. (2012). The spatial-numerical congruity effect in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology.* 111, 534–542. doi:10.1016/j.jecp.2011.09.006.

[52] Patro, K., Nuerk, H.-C., et Cress, U. (2015). Does your body count? Embodied influences on the preferred counting direction of preschoolers. *Journal of Cognitive Psychology.* 27, 413–425. doi:10.1080/20445911.2015.1008005.

[53] Patro, K., Nuerk, H.-C., Cress, U., et Haman, M. (2014). How number-space relationships are assessed before formal schooling: A taxonomy proposal. *Frontiers in Psychology.* 5, 419. doi:10.3389/fpsyg.2014.00419.

[54] Piazza, M., Mechelli, A., Butterworth, B., et Price, C. J. (2002). Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes? *NeuroImage* 15, 435–446. doi:10.1006/nimg.2001.0980.

[55] Pinel, P., Dehaene, S., Rivière, D., et LeBihan, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *NeuroImage* 14, 1013–1026. doi:10.1006/nimg.2001.0913.

[56] Pinel, P., Piazza, M., Le Bihan, D., et Dehaene, S. (2004). Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgments. *Neuron* 41, 983–993.

[57] Rugani, R., Vallortigara, G., Priftis, K., et Regolin, L. (2015). Number-space mapping in the newborn chick resembles humans' mental number line. *Science* 347, 534–536. doi:10.1126/science.aaa1379.

[58] Sato, M., et Lalain, M. (2008). On the relationship between handedness and hand-digit mapping in finger counting. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 44, 393–399. doi:10.1016/j.cortex.2007.08.005.

[59] Sénéchal, M., LeFevre, J.-A., Hudson, E., et Penelope, E. (1996). Knowledge of storybooks as a predictor of young children's vocabulary. *Journal of Educational Psychology* 88, 520–536. doi:10.1037/0022-0663.88.3.520.

[60] Shaki, S., Fischer, M. H., et Göbel, S. M. (2012). Direction counts: a comparative study of spatially directional counting biases in cultures with different reading directions. *Journal of Experimental Child Psychology.* 112, 275–281. doi:10.1016/j.jecp.2011.12.005.

[61] Siegler, R. S., et Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development.* 75, 428–444. doi:10.1111/j.1467-8624.2004.00684.x.

[62] Siegler, R. S., et Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science.* 14, 237–243.

[63] Simon, O., Mangin, J. F., Cohen, L., Le Bihan, D., et Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe. *Neuron* 33, 475–487.

[64] Tudusciuc, O., et Nieder, A. (2007). Neuronal population coding of continuous and discrete quantity in the primate posterior parietal cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 14513–14518. doi:10.1073/pnas.0705495104.

[65] Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences.* 7, 483–488.

[66] Zebian, S. (2005). Linkages between Number Concepts, Spatial Thinking, and Directionality of Writing: The SNARC Effect and the REVERSE SNARC Effect in English and Arabic Monoliterates, Biliterates, and Illiterate Arabic Speakers. *Journal of Cognition and Culture.* 5, 165–190. doi:10.1163/1568537054068660.

[67] Zorzi, M., Priftis, K., et Umiltà, C. (2002). Brain damage: Neglect disrupts the mental number line. *Nature* 417, 138–139. doi:10.1038/417138a.

ANNEXES

Liste des annexes :

Annexe 1 : Feuilles de passations

Annexe 2 : Recueil des données PSM - partie I (épreuves A à D)

Annexe 3 : Recueil des données PSM - partie II (épreuves E à I)

Annexe 4 : Recueil des données MSM - partie I (épreuves A à D)

Annexe 5 : Recueil des données MSM - partie II (épreuves E à I)

Annexe 6 : Recueil des données GSM - partie I (épreuves A à D)

Annexe 7 : Recueil des données GSM - partie II (épreuves E à I)

ANNEXE 1 : FEUILLES DE PASSATIONS

Passations du XX/XX/XX

Ecole maternelle XXXXX

Prénom :……...

Fille - Garçon (rayer la mention inutile)

Date de naissance :……...

Âge:……ans……

PSM - MSP – GSM (rayer les mentions inutiles)

Trouble suspecté ou avéré :…….....

Epreuve A : Ajouts de figurines

	Mouvement 1	Mouvement 2
OBSERVATIONS		
Ajout par la DROITE		
Ajout par la GAUCHE		
Ajout ALEATOIRE		
ECHEC		

Epreuve B : Retraits des wagonnets

OBSERVATIONS	Mouvement 1	Mouvement 2
Retrait par la GAUCHE		
Retrait par la DROITE		
Retrait ALEATOIRE		
ECHEC		

Epreuve C : Retraits de figurines

OBSERVATIONS	Mouvement 1	Mouvement 2
Retrait par la GAUCHE		
Retrait par la DROITE		
Retrait ALEATOIRE		
ECHEC		

Epreuve D : Ajouts de wagonnets

OBSERVATIONS	Mouvement 1	Mouvement 2
Ajout par la DROITE		
Ajout par la GAUCHE		
Ajout ALEATOIRE		
ECHEC		

Epreuve E : connaissance de la chaîne numérique

- ✓ **Consigne 1 :** L'enfant a compté jusqu'à : ……
- ✓ **Consigne 2 :** L'enfant a compté à partir de 3 : oui/non
- ✓ **Consigne 3 :** L'enfant a compté à partir de 5 : oui/non
- ✓ **Consigne 4 :** L'enfant a compté à rebours à partir de 3 : oui/non
- ✓ **Consigne 5 :** L'enfant a compté à rebours à partir de 5 : oui/non
- ✓ **Consigne 6 :** L'enfant a compté à rebours à partir de 10 : oui/non

Epreuve F : Les dominos

L'enfant a correctement montré les constellations : 3 5 2 6 1 4

Epreuve G : Les Constellations

L'enfant a correctement montré les dominos : 5 10 8 7 9 6

Epreuve H : dénombrement

L'enfant a correctement dénombré : 3 2 1 5 7 10

Epreuve I : tests de latéralisation

Main DROITE		Œil DROIT	
Main GAUCHE		Œil GAUCHE	
ECHEC		ECHEC	

ANNEXE 2 : RECUEIL DES DONNÉES PSM - PARTIE I (épreuves A à D)

ENFANT	ECOLE	ROTATION	SEXE		AGE	ÉPREUVE A						ÉPREUVE B						ÉPREUVE C						ÉPREUVE D					
						AJOUTS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)						RETRAITS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)						RETRAITS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)						AJOUTS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
			F	G	en mois	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE
1	ORSAY	ENFANT 1	1	0	36	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	ORSAY	ENFANT 1	1	0	44	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
3	ORSAY	ENFANT 1	1	0	44	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
4	ORSAY	ENFANT 1	0	1	41	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
5	ORSAY	ENFANT 1	0	1	44	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
6	ORSAY	ENFANT 1	1	0	44	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
7	MEUDON	ENFANT 1	0	1	37	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
8	ORSAY	ENFANT 2	0	1	38	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
9	ORSAY	ENFANT 2	0	1	39	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
10	ORSAY	ENFANT 2	0	1	35	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
11	ORSAY	ENFANT 2	0	1	38	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
12	ORSAY	ENFANT 2	0	1	33	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
13	ORSAY	ENFANT 2	1	0	35	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
14	ORSAY	ENFANT 2	0	1	38	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
15	MEUDON	ENFANT 3	0	1	35	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
16	MEUDON	ENFANT 3	0	1	38	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
17	MEUDON	ENFANT 3	1	0	36	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
18	MEUDON	ENFANT 3	0	1	34	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
19	MEUDON	ENFANT 3	1	0	41	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
20	MEUDON	ENFANT 3	1	0	42	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
21	MEUDON	ENFANT 3	1	0	40	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
22	MEUDON	ENFANT 4	1	0	43	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
23	MEUDON	ENFANT 4	1	0	41	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
24	ORSAY	ENFANT 4	0	1	43	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
25	ORSAY	ENFANT 4	0	1	36	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
26	ORSAY	ENFANT 4	0	1	39	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
27	MEUDON	ENFANT 4	1	0	45	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
28	MEUDON	ENFANT 4	1	0	44	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
TOTAL			**13**	**15**		**20**	**8**	**0**	**16**	**11**	**1**	**18**	**6**	**4**	**19**	**6**	**3**	**19**	**7**	**2**	**21**	**4**	**3**	**20**	**8**	**0**	**19**	**9**	**0**
MOYENNE					**39,39**																								
POURCENTAGE			**46%**	**54%**		**71%**	**29%**	**0%**	**57%**	**39%**	**4%**	**64,3%**	**21,4%**	**14,3%**	**68%**	**21%**	**11%**	**68%**	**25%**	**7%**	**75%**	**14%**	**11%**	**71%**	**29%**	**0%**	**68%**	**32%**	**0%**

ANNEXE 3 : RECUEIL DES DONNÉES PSM - PARTIE II (épreuves E à I)

ENFANT	ECOLE	ROTATION	SEXE		AGE	ÉPREUVE E						ÉPREUVE E	ÉPREUVE F	ÉPREUVE G	ÉPREUVE H	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I					
						CONSIGNE 1	CONSIGNE 2	CONSIGNE 3	CONSIGNE 4	CONSIGNE 5	CONSIGNE 6						CONSIGNE 1		CONSIGNE 2			
						COMPTER							CONSTELLATIONS	DOMINOS	DENOMBRER		LATERALITÉ MAIN		LATERALITÉ ŒIL		LATERALITÉ GLOBALE	
							A PARTIR DE 3	A PARTIR DE 5	A REBOURS A PARTIR DE 3	A REBOURS A PARTIR DE 5	A REBOURS A PARTIR DE 10											
			F	G	en mois	SCORE SUR 10	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 15	SCORE SUR 6	SCORE SUR 6	SCORE SUR 6	SCORE SUR 18	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE
1	ORSAY	ENFANT 1	1	0	36	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	2	0	1	1	0	0	1
2	ORSAY	ENFANT 1	1	0	44	1	0	0	0	0	0	1	3	0	3	6	1	0	1	0	1	0
3	ORSAY	ENFANT 1	1	0	44	1	0	0	0	0	0	1	2	0	3	5	1	0	1	0	1	0
4	ORSAY	ENFANT 1	0	1	41	3	0	0	0	0	0	3	3	0	6	9	1	0	1	0	1	0
5	ORSAY	ENFANT 1	0	1	44	6	0	0	0	0	0	6	6	0	6	12	0	1	1	0	0	1
6	ORSAY	ENFANT 1	1	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
7	MEUDON	ENFANT 1	0	1	37	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
8	ORSAY	ENFANT 2	0	1	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	0	0	1	0	1
9	ORSAY	ENFANT 2	0	1	39	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	1	0	1	0	1	0
10	ORSAY	ENFANT 2	0	1	35	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	1	0	0	1	0	1
11	ORSAY	ENFANT 2	0	1	38	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	1	0	1	0	1	0
12	ORSAY	ENFANT 2	0	1	33	3	0	0	0	0	0	3	4	0	3	7	1	0	1	0	1	0
13	ORSAY	ENFANT 2	1	0	35	1	0	0	0	0	0	1	3	0	3	6	0	1	0	1	0	1
14	ORSAY	ENFANT 2	0	1	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
15	MEUDON	ENFANT 3	0	1	35	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
16	MEUDON	ENFANT 3	0	1	38	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	1	0	1	0
17	MEUDON	ENFANT 3	1	0	36	2	0	0	0	0	0	2	6	0	5	11	1	0	1	0	1	0
18	MEUDON	ENFANT 3	0	1	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
19	MEUDON	ENFANT 3	1	0	41	1	0	0	0	0	0	1	5	0	3	8	1	0	1	0	1	0
20	MEUDON	ENFANT 3	1	0	42	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	3	1	0	1	0	1	0
21	MEUDON	ENFANT 3	1	0	40	3	0	0	0	0	0	3	3	0	3	6	1	0	1	0	1	0
22	MEUDON	ENFANT 4	1	0	43	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	1	0	1	0	1	0
23	MEUDON	ENFANT 4	1	0	41	3	0	0	0	0	0	3	6	0	5	11	1	0	1	0	1	0
24	ORSAY	ENFANT 4	0	1	43	2	0	0	0	0	0	2	3	0	5	8	1	0	1	0	1	0
25	ORSAY	ENFANT 4	0	1	36	1	0	0	0	0	0	1	3	0	3	6	1	0	0	1	0	1
26	ORSAY	ENFANT 4	0	1	39	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	1	0	1	0	1	0
27	MEUDON	ENFANT 4	1	0	45	2	0	0	0	0	0	2	6	0	3	9	0	1	0	1	0	1
28	MEUDON	ENFANT 4	1	0	44	2	0	0	0	0	0	2	3	0	3	6	1	0	0	1	0	1
TOTAL			**13**	**15**													**21**	**7**	**19**	**9**	**16**	**12**
MOYENNE					**39,39**	**1,50**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1,5**	**2,25**	**0**	**2,57**	**4,82**						
POURCENTAGE			**46%**	**54%**													**75%**	**25%**	**68%**	**32%**	**57%**	**43%**

ANNEXE 4 : RECUEIL DES DONNÉES MSM - PARTIE I (épreuves A à D)

ENFANT	ECOLE	ROTATION	SEXE		AGE	ÉPREUVE A						ÉPREUVE B						ÉPREUVE C						ÉPREUVE D					
						AJOUTS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)						RETRAITS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)						RETRAITS DE FIGURINES(mouvements 1 et 2)						AJOUTS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
			F	G	en mois	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE
29	ORSAY	ENFANT 1	1	0	54	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
30	ORSAY	ENFANT 1	0	1	50	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
31	ORSAY	ENFANT 1	1	0	47	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
32	ORSAY	ENFANT 1	1	0	55	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
33	ORSAY	ENFANT 1	0	1	50	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
34	ORSAY	ENFANT 1	1	0	56	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
35	ORSAY	ENFANT 1	1	0	50	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
36	ORSAY	ENFANT 2	1	0	48	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
37	ORSAY	ENFANT 2	0	1	51	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
38	ORSAY	ENFANT 2	1	0	55	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
39	ORSAY	ENFANT 2	1	0	46	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
40	ORSAY	ENFANT 2	0	1	51	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
41	ORSAY	ENFANT 2	0	1	53	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
42	ORSAY	ENFANT 2	0	1	54	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
43	ORSAY	ENFANT 3	1	0	54	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
44	ORSAY	ENFANT 3	1	0	47	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
45	ORSAY	ENFANT 3	1	0	54	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
46	ORSAY	ENFANT 3	0	1	51	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
47	ORSAY	ENFANT 3	0	1	57	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
48	ORSAY	ENFANT 3	0	1	49	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
49	ORSAY	ENFANT 3	0	1	53	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
50	ORSAY	ENFANT 4	0	1	50	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
51	ORSAY	ENFANT 4	0	1	55	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
52	ORSAY	ENFANT 4	0	1	48	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
53	ORSAY	ENFANT 4	0	1	49	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
54	ORSAY	ENFANT 4	0	1	47	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
55	ORSAY	ENFANT 4	1	0	56	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
56	ORSAY	ENFANT 4	1	0	53	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
TOTAL			**13**	**15**		**20**	**8**	**0**	**16**	**11**	**1**	**18**	**6**	**4**	**19**	**6**	**3**	**19**	**7**	**2**	**21**	**4**	**3**	**20**	**8**	**0**	**19**	**9**	**0**
MOYENNE					**51,54**																								
POURCENTGE			**46%**	**54%**		**71%**	**29%**	**0%**	**57%**	**39%**	**4%**	**64%**	**21%**	**14%**	**68%**	**21%**	**11%**	**68%**	**25%**	**7%**	**75%**	**14%**	**11%**	**71%**	**29%**	**0%**	**68%**	**32%**	**0%**

ANNEXE 5 : RECUEIL DES DONNÉES MSM - PARTIE II (épreuves E à I)

ENFANT	ECOLE	ROTATION	SEXE		AGE	ÉPREUVE E						ÉPREUVE E	ÉPREUVE F	ÉPREUVE G	ÉPREUVE H	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I					
						CONSIGNE 1	CONSIGNE 2	CONSIGNE 3	CONSIGNE 4	CONSIGNE 5	CONSIGNE 6						CONSIGNE 1		CONSIGNE 2			
						COMPTER											LATERALITÉ MAIN		LATERALITÉ ŒIL		LATERALITÉ GLOBALE	
							A PARTIR DE 3	A PARTIR DE 5	A REBOURS A PARTIR DE 3	A REBOURS A PARTIR DE 5	A REBOURS A PARTIR DE 10		CONSTELLATIONS	DOMINOS	DENOMBRER						
			F	G	en mois	SCORE SUR 10	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 15	SCORE SUR 6	SCORE SUR 6	SCORE SUR 6	SCORE SUR 18	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE
29	ORSAY	ENF 1	1	0	54	10	0	0	0	0	0	10	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
30	ORSAY	ENF 1	0	1	50	3	0	0	0	0	0	3	3	1	6	10	1	0	0	1	0	1
31	ORSAY	ENF 1	1	0	47	7	1	1	0	0	0	9	4	0	5	9	0	1	0	1	0	1
32	ORSAY	ENF 1	1	0	55	7	1	1	0	0	0	9	4	0	6	10	1	0	1	0	1	0
33	ORSAY	ENF 1	0	1	50	1	0	0	0	0	0	1	1	0	4	5	1	0	1	0	1	0
34	ORSAY	ENF 1	1	0	56	8	1	1	1	0	0	11	6	1	6	13	1	0	0	1	0	1
35	ORSAY	ENF 1	1	0	50	3	0	0	0	0	0	3	3	0	5	8	1	0	1	0	1	0
36	ORSAY	ENF 2	1	0	48	6	0	0	1	0	0	7	6	0	6	12	1	0	1	0	1	0
37	ORSAY	ENF 2	0	1	51	5	0	0	0	0	0	5	6	0	6	12	1	0	0	1	0	1
38	ORSAY	ENF 2	1	0	55	3	1	0	0	0	0	4	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
39	ORSAY	ENF 2	1	0	46	6	0	0	0	0	0	6	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
40	ORSAY	ENF 2	0	1	51	5	1	1	0	0	0	7	6	2	6	14	1	0	1	0	1	0
41	ORSAY	ENF 2	0	1	53	3	1	0	0	0	0	4	6	1	4	11	1	0	0	1	0	1
42	ORSAY	ENF 2	0	1	54	3	0	0	1	0	0	4	6	1	6	13	1	0	0	1	0	1
43	ORSAY	ENF 3	1	0	54	4	0	0	0	0	0	4	2	0	3	5	1	0	1	0	1	0
44	ORSAY	ENF 3	1	0	47	6	1	0	0	0	0	7	6	1	5	12	1	0	0	1	0	1
45	ORSAY	ENF 3	1	0	54	9	1	1	0	0	0	11	6	2	6	14	1	0	1	0	1	0
46	ORSAY	ENF 3	0	1	51	5	1	1	1	1	0	9	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
47	ORSAY	ENF 3	0	1	57	4	0	0	0	0	0	4	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
48	ORSAY	ENF 3	0	1	49	4	1	0	0	0	0	5	6	1	6	13	0	1	0	1	0	1
49	ORSAY	ENF 3	0	1	53	7	0	0	0	0	0	7	6	1	5	12	1	0	0	1	0	1
50	ORSAY	ENF 4	0	1	50	1	0	0	0	0	0	1	5	0	4	9	1	0	1	0	1	0
51	ORSAY	ENF 4	0	1	55	6	0	0	0	0	0	6	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
52	ORSAY	ENF 4	0	1	48	2	0	0	0	0	0	2	6	3	6	15	1	0	1	0	1	0
53	ORSAY	ENF 4	0	1	49	3	0	0	0	0	0	3	6	1	5	12	1	0	0	1	1	0
54	ORSAY	ENF 4	0	1	47	1	0	0	0	0	0	1	2	0	2	4	1	0	0	1	1	0
55	ORSAY	ENF 4	1	0	56	7	0	0	0	0	0	7	6	1	5	12	1	0	0	1	1	0
56	ORSAY	ENF 4	1	0	53	2	0	0	0	0	0	2	6	1	4	11	1	0	1	0	1	0
TOTAL			**13**	**15**			**10**	**6**	**4**	**1**	**0**						**26**	**2**	**16**	**12**	**19**	**9**
MOYENNE					**51,54**	**4,68**	**0,36**	**0,21**	**0,14**	**0,04**	**0,00**	**5,43**	**5,14**	**0,82**	**5,25**	**11,21**						
POURCENTAGE			**46%**	**54%**													**93%**	**7%**	**57%**	**43%**	**68%**	**32%**

ANNEXE 6 : RECUEIL DES DONNÉES GSM - PARTIE I (épreuves A à D)

ENFANT	ECOLE	ROTATION	SEXE		AGE	ÉPREUVE A						ÉPREUVE B						ÉPREUVE C						ÉPREUVE D					
						AJOUTS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)						RETRAITS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)						RETRAITS DE FIGURINES (mouvements 1 et 2)						AJOUTS DE WAGONS (mouvements 1 et 2)					
			F	G	en mois	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE	1 D	1 G	1 ALEATOIRE	2 D	2 G	2 ALEATOIRE
57	MEUDON	ENFANT 1	0	1	61	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
58	MEUDON	ENFANT 1	0	1	60	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
59	MEUDON	ENFANT 1	1	0	64	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
60	MEUDON	ENFANT 1	0	1	62	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
61	MEUDON	ENFANT 1	1	0	66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
62	MEUDON	ENFANT 1	0	1	59	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
63	MEUDON	ENFANT 1	1	0	58	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
64	MEUDON	ENFANT 2	1	0	66	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
65	MEUDON	ENFANT 2	1	0	65	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
66	MEUDON	ENFANT 2	1	0	66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
67	MEUDON	ENFANT 2	1	0	67	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
68	MEUDON	ENFANT 2	0	1	68	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
69	MEUDON	ENFANT 2	0	1	68	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
70	MEUDON	ENFANT 2	0	1	65	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
71	MEUDON	ENFANT 3	1	0	62	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
72	MEUDON	ENFANT 3	1	0	60	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
73	MEUDON	ENFANT 3	1	0	69	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
74	MEUDON	ENFANT 3	1	0	65	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
75	MEUDON	ENFANT 3	0	1	62	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
76	MEUDON	ENFANT 3	0	1	63	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
77	MEUDON	ENFANT 3	0	1	58	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
78	MEUDON	ENFANT 4	0	1	64	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
79	MEUDON	ENFANT 4	1	0	63	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
80	MEUDON	ENFANT 4	1	0	64	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
81	MEUDON	ENFANT 4	1	0	61	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
82	MEUDON	ENFANT 4	0	1	67	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
83	MEUDON	ENFANT 4	1	0	63	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
84	MEUDON	ENFANT 4	0	1	67	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
TOTAL			**15**	**13**		**21**	**7**	**0**	**16**	**10**	**2**	**15**	**13**	**0**	**13**	**15**	**0**	**19**	**7**	**2**	**16**	**10**	**2**	**21**	**7**	**0**	**16**	**12**	**0**
MOYENNE					**63,68**																								
POURCENTAGE			**54%**	**46%**		**75%**	**25%**	**0%**	**57%**	**36%**	**7%**	**54%**	**46%**	**0%**	**46%**	**54%**	**0%**	**68%**	**25%**	**7%**	**57%**	**36%**	**7%**	**75%**	**25%**	**0%**	**57%**	**43%**	**0%**

ANNEXE 7 : RECUEIL DES DONNÉES GSM - PARTIE II (épreuves E à I)

ENFANT	ECOLE	ROTATION	SEXE		AGE	ÉPREUVE E						ÉPREUVE E	ÉPREUVE F	ÉPREUVE G	ÉPREUVE H	ÉPREUVES F, G, H	ÉPREUVE I					
						CONSIGNE 1	CONSIGNE 2	CONSIGNE 3	CONSIGNE 4	CONSIGNE 5	CONSIGNE 6						CONSIGNE 1		CONSIGNE 2			
						COMPTER																
							A PARTIR DE 3	A PARTIR DE 5	A REBOURS A PARTIR DE 3	A REBOURS A PARTIR DE 5	A REBOURS A PARTIR DE 10		CONSTELLATIONS	DOMINOS	DENOMBRER		LATERALITÉ MAIN		LATERALITÉ ŒIL		LATERALITÉ GLOBALE	
			F	G	en mois	SCORE SUR 10	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 1	SCORE SUR 15	SCORE SUR 6	SCORE SUR 6	SCORE SUR 6	SCORE SUR 18	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE
57	MEUDON	ENFANT 1	0	1	61	9	1	1	0	0	0	11	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
58	MEUDON	ENFANT 1	0	1	60	9	1	1	1	1	1	14	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
59	MEUDON	ENFANT 1	1	0	64	10	1	1	0	0	0	12	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
60	MEUDON	ENFANT 1	0	1	62	9	1	0	0	0	0	10	3	0	6	9	0	1	0	1	0	1
61	MEUDON	ENFANT 1	1	0	66	5	1	1	0	0	0	7	6	0	5	11	1	0	1	0	1	0
62	MEUDON	ENFANT 1	0	1	59	1	0	0	0	0	0	1	3	0	3	6	1	0	0	1	0	1
63	MEUDON	ENFANT 1	1	0	58	10	1	0	0	1	1	13	6	1	6	13	1	0	0	1	0	1
64	MEUDON	ENFANT 2	1	0	66	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
65	MEUDON	ENFANT 2	1	0	65	10	1	1	1	1	0	14	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
66	MEUDON	ENFANT 2	1	0	66	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	0	1	1	0	0	1
67	MEUDON	ENFANT 2	1	0	67	10	1	1	1	1	0	14	6	6	6	18	0	1	1	0	0	1
68	MEUDON	ENFANT 2	0	1	68	10	0	0	1	1	1	13	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
69	MEUDON	ENFANT 2	0	1	68	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	0	1	0	1
70	MEUDON	ENFANT 2	0	1	65	9	1	1	1	1	0	13	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
71	MEUDON	ENFANT 3	1	0	62	3	1	1	1	1	0	7	6	1	6	13	1	0	1	0	1	0
72	MEUDON	ENFANT 3	1	0	60	9	1	1	1	0	0	12	6	1	6	13	1	0	0	1	0	1
73	MEUDON	ENFANT 3	1	0	69	9	1	0	0	0	0	10	6	4	6	16	1	0	1	0	1	0
74	MEUDON	ENFANT 3	1	0	65	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	0	1	0	1
75	MEUDON	ENFANT 3	0	1	62	10	1	1	1	0	0	13	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
76	MEUDON	ENFANT 3	0	1	63	10	1	1	1	1	0	14	6	6	6	18	1	0	0	1	0	1
77	MEUDON	ENFANT 3	0	1	58	5	1	0	1	1	0	8	6	1	6	13	0	1	1	0	0	1
78	MEUDON	ENFANT 4	0	1	64	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
79	MEUDON	ENFANT 4	1	0	63	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
80	MEUDON	ENFANT 4	1	0	64	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	0	1	0	1
81	MEUDON	ENFANT 4	1	0	61	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
82	MEUDON	ENFANT 4	0	1	67	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	1	0	1	0
83	MEUDON	ENFANT 4	1	0	63	10	1	1	1	1	1	15	6	6	6	18	1	0	0	1	0	1
84	MEUDON	ENFANT 4	0	1	67	10	1	1	1	1	0	14	6	6	6	18	0	1	1	0	0	1
TOTAL			**15**	**13**													**23**	**5**	**19**	**9**	**15**	**13**
MOYENNE					**63,68**	**8,86**	**0,93**	**0,79**	**0,75**	**0,71**	**0,46**	**12,50**	**5,79**	**4,39**	**5,86**	**16,04**						
POURCENTAGE			**54%**	**46%**													**82%**	**18%**	**68%**	**32%**	**54%**	**46%**

L'EFFET SNARC : UN EFFET PRÉCOCE ?

Résumé :

L'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) postule que les grandeurs et quantités s'organisent selon une ligne numérique mentale (LNM) orientée dans l'espace, les petits nombres étant représentés à gauche et les grands à droite. Cependant les mécanismes à l'origine de cet effet ainsi que son âge d'apparition au cours du développement des fonctions cognitives de l'enfant ne sont pas encore clairement identifiés. L'objectif de notre recherche est d'étudier si les ajouts et les retraits de quantités discrètes d'objets sont traités par des enfants selon l'orientation de la LNM. Quatre-vingt-quatre enfants âgés de 3 à 5 ans ont exécuté un protocole consistant en une opérationnalisation des transformations d'ajouts et de retraits au moyen de manipulations effectuées à partir de collections. L'effet d'âge escompté apparaît à partir de 5 ans ainsi qu'un certain effet de latéralité, observable à partir du même âge, mais uniquement chez les enfants dont la latéralité dominante n'est pas ancrée à droite. Favoriser l'installation de la LNM dès le plus jeune âge pourrait prévenir l'expression de stratégies déviantes ultérieures dans le traitement spatial du nombre.

Mots clés : Développement, opération, latéralité, ligne numérique mentale, SNARC

Abstract:

The SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) effect postulates that the sizes and quantities are organized in a Mental Number Line (MNL) oriented in space; small numbers are represented on the left and the large ones on the right. However, mechanisms responsible for this effect and its age of onset through the development of children's cognitive functions are still not well identified. Our research aims at studying whether additions and subtractions of small quantities are processed in connection with the mental number line orientation. To achieve this, eighty-four children aged 3 to 5 years have been submitted to a protocol, which consisted in an implementation of additions and subtractions transformations, by manipulation of collections. The expected effect arises from 5 years old as well as a certain effect of handedness, which can be noticed from the same age, buy only in children for which the main handedness is not settled on the right side. Stimulating the MNL as early as possible might prevent from further deviant strategies in number spatial processing.

Key words: development, operation, handedness, mental number line, SNARC

56 pages ; 8 pages d'annexes ; 67 références bibliographiques