
Exploration des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques

Auteur : Delcour, Coralie

Promoteur(s) : Attout, Lucie

Faculté : Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5683>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

*Exploration des habiletés visuo-
spatiales chez les enfants dyscalculiques*

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en Sciences
Psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique

DELCOUR Coralie

Sous la direction de Madame ATTOUT Lucie

Lectrices :

Madame BLANCKAERT Ellen

Madame FRESSON Megan

Année académique 2017-2018



Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Exploration des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en Sciences Psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique

DELCOUR Coralie

Sous la direction de Madame ATTOUT Lucie

Lectrices :

Madame BLANCKAERT Ellen

Madame FRESSON Megan

Année académique 2017-2018

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes sans qui la réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible.

Tout d'abord, je tiens à remercier ma promotrice, Mme Attout Lucie, pour ses conseils, sa disponibilité, son engagement tout au long de ces deux années.

J'aimerais remercier Mesdames Blanckaert et Fresson pour leur intérêt et le temps consacré à la lecture de ce mémoire.

Je remercie également tous les sujets de l'étude pour leur participation et leur motivation, ainsi que leurs parents, logopèdes et enseignants pour l'aide et la confiance qu'ils m'ont accordées. Je remercie particulièrement l'école de devoirs « Les crayons » pour son intérêt, aide et disponibilité lors de la recherche des sujets.

J'adresse aussi mes remerciements aux personnes qui ont accepté de lire et de corriger ce mémoire afin de limiter les fautes et pour qu'il soit le plus cohérent possible.

Enfin, je dédie un merci tout particulier aux personnes qui m'ont soutenue durant la réalisation de ce travail mais également durant toutes mes années universitaires.

Table des matières

Introduction générale :	5
Introduction théorique	7
1. Dyscalculie :.....	7
1.1 Définition :.....	7
1.2 Sous-types :.....	9
1.3 Etiologie :.....	9
2. Habiletés visuo-spatiales :.....	17
2.1 Définition :.....	17
2.2 Analogie entre espace et traitement numérique :.....	19
2.3 Attention visuo-spatiale :.....	24
2.4 Mémoire à court terme visuo-spatiale	25
3. Conclusion :	27
Objectif et Hypothèses :	29
1. Objectif :.....	29
2. Hypothèses :.....	30
Méthodologie	34
1. Population :	34
1.1 Recrutement :.....	34
1.2 Critères d'inclusion et d'exclusion :.....	35
2. Protocole :	36
2.1 Modalités de passation :.....	36
2.2 Ordre de passation des épreuves :.....	36
2.3 Présentation des épreuves :.....	37
Résultats :	48
1. Statistiques utilisées :.....	48
2. Mesure hétéro-rapportée :	50
3. Evaluation du raisonnement verbal et non-verbal :.....	50

4.	Evaluation des compétences visuo-spatiales.....	51
5.	Evaluation des compétences attentionnelles	53
6.	Evaluation des compétences mnésiques :	54
6.1	Résultats à l'épreuve de mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle et simultanée:	54
6.2	Résultats à l'épreuve de mémoire à long terme visuo-spatiale :.....	56
7.	Evaluation des compétences mathématiques :	58
7.1	Résultats à l'épreuve des fluences mathématiques :	58
7.2	Résultats à l'épreuve d'estimation numérique :.....	59
8.	Corrélations	60
8.1	Fluences mathématiques et compétences attentionnelles :	60
8.2	Estimations numériques et compétences attentionnelles ou habiletés visuo-spatiales :.....	62
	Discussion :	64
1.	Distinction entre les groupes et mesures contrôles :	64
2.	Habiletés visuo-spatiales	66
3.	Mémoire visuo-spatiale	67
4.	Relation compétences attentionnelles et numériques.....	69
4.1	Compétences attentionnelles.....	69
4.2	Estimation numérique	69
4.3	Impact du déplacement attentionnel	70
5.	Mesure hétéro-rapportée :	71
6.	Limites :	72
	Conclusion et perspectives.....	74
	Bibliographie :	77
	Annexes :	85
1.	Epreuve en mémoire visuo-spatiale : Paradigme de Hebb.....	85
2.	Résultats aux tests de Wilcoxon pour échantillons appariés.....	87
3.	Tableaux Statistiques	88
4.	Documents de recrutement :	90
	Résumé	95

Introduction générale :

Chiffres et nombres font partie de notre quotidien. Qu'on les utilise à un niveau professionnel ou simplement en allant faire ses courses, les mathématiques font partie intégrante de notre vie. Vie qui va donc se compliquer lorsque ces compétences numériques, même de base, font défaut, comme dans le cas de la dyscalculie. Les personnes souffrant de ce trouble des apprentissages relatifs à l'acquisition des habiletés mathématiques présentent donc souvent des difficultés lors de tâches ordinaires telles que la manipulation d'argent, la réalisation de calculs mentaux simples, ... La dyscalculie touche environ 3 à 6% de la population générale et si, les recherches scientifiques dans le domaine commencent à se développer, la connaissance du profil précis des personnes dyscalculiques reste encore floue. En outre, ce trouble est encore méconnu du grand public qui ne considère pas toujours les difficultés d'apprentissage des mathématiques comme une réelle difficulté mais plutôt comme un manque de motivation de l'élève ou alors comme une faiblesse innée avec laquelle il faut s'habituer à vivre.

Autre domaine, au combien nécessaire à notre quotidien, sont les habiletés visuo-spatiales. Ces compétences permettent à tout un chacun de comprendre les relations entre les objets de l'environnement et de pouvoir, de ce fait, interagir de manière adéquate avec ce dernier. Un déficit à ce niveau rend compte des problèmes scolaires, dans le milieu du travail, des difficultés d'orientation dans l'espace. Ce trouble est également relativement méconnu du grand public qui est rarement sensibilisé aux difficultés visuelles et spatiales auxquelles une personne peut être confrontée.

Si le lien entre ces compétences peut, de prime à bord, ne pas apparaître clairement, la littérature scientifique a mis en lumière le rapport étroit qu'elles entretiennent. En effet, il est maintenant largement reconnu que de faibles habiletés visuo-spatiales impactent le développement des compétences numériques. La relation inverse est, par contre, encore peu documentée. En effet, les performances visuo-spatiales chez des personnes présentant une dyscalculie sont relativement peu étudiées.

La connaissance des profils des personnes dyscalculiques reste dès lors incomplète car si certaines personnes ont développé une dyscalculie consécutivement à un trouble visuo-spatial, il n'est pas certain que ce parcours soit le seul amenant à développer ce trouble des apprentissages. La présente étude s'inscrit donc dans cette démarche d'affinement et de compréhension des caractéristiques cognitives des personnes présentant une dyscalculie.

Ce travail s'intitule « Exploration des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques ». Il s'agit d'une observation générale et relativement vaste des habiletés visuo-spatiales chez des enfants de la 2^e à la 6^e année primaire présentant une dyscalculie développementale. Les recherches scientifiques actuelles proposent un certain profil de ces enfants mais le versant visuo-spatial doit encore être approfondi pour permettre une meilleur compréhension et prise en charge de ces enfants.

Au sein de la partie théorique de ce mémoire, la première section sera consacrée à la dyscalculie et plus particulièrement à sa définition et aux hypothèses étiologiques de ce trouble. La seconde section abordera les habiletés visuo-spatiales et leurs influences générales sur les compétences numériques avant de se cibler sur les aptitudes visuo-spatiales des personnes présentant une problématique d'apprentissage du calcul.

Introduction théorique

1. Dyscalculie :

1.1 Définition :

En 1992, Temple définit la dyscalculie développementale comme « *un trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques qui se manifeste chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficit neurologique acquis* »¹ (p.211).

Plus récemment, le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013, p. 66-67) classe la dyscalculie au sein des troubles spécifiques des apprentissages dont les manifestations sont les suivantes :

- « *Difficulté à apprendre et à utiliser les aptitudes académiques, comme indiqué par la présence, depuis au moins 6 mois, d'au moins un des symptômes suivants :*
 1. *Lecture de mots inexacte, lente ou laborieuse*
 2. *Difficulté à comprendre la signification de ce qui est lu (même si lu correctement)*
 3. *Difficulté d'orthographe (spelling)*
 4. *Difficulté dans l'expression écrite (p.e. erreurs de ponctuation ou grammaticales, manque de clarté dans l'expression des idées)*
 5. *Difficulté à maîtriser le sens des nombres, les faits numériques, le calcul ou le raisonnement mathématique*
 6. *Difficulté dans le raisonnement mathématique*
- *Significativement en-dessous de ceux attendus pour l'âge et qui interfère significativement avec les performances académiques ou les occupations*
- *Commence durant les années d'école mais peut n'être manifeste que lorsque les demandes excèdent les capacités limitées de l'individu.*

¹ Traduction personnelle : Temple, 1992, p211 « *Developmental dyscalculia is a disorder of numerical competence and arithmetics skill which is manifest in children of normal intelligence who do not have acquired neurological injuries* »

- *Pas mieux expliquée par la déficience intellectuelle, l'acuité auditive ou visuelle non corrigée, par d'autres troubles neurologiques ou mentaux, par une difficulté dans la langue d'apprentissage et par un enseignement inadéquat.»²*

Soulignons que dans ces deux définitions, la dyscalculie est caractérisée par un trouble spécifique des compétences numériques et arithmétiques en dépit d'une intelligence normale et d'une absence de trouble neurologique ou sensoriel.

Quelques données épidémiologiques semblent importantes à prendre en considération de manière à mieux cerner les caractéristiques de la population touchée par ce trouble. La prévalence de la dyscalculie est évaluée à environ 3 à 6% (Shalev, Auerbach, Manor & Gross-Tsur, 2000). Le sexe ratio filles-garçons est évalué à 11 : 10. Ces données soulignent que ce trouble des apprentissages touche une population conséquente et ce, indépendamment du sexe de la personne. La présence d'une comorbidité est également à souligner. En effet, de nombreux enfants combinent une dyscalculie avec un autre trouble des apprentissages tel que la dyslexie, les troubles de l'attention, la dyspraxie ou le retard de langage (Shalev & al., 2000).

Les sous-sections suivantes développeront les sous-types et les hypothèses étiologiques de la dyscalculie.

² Traduction personnelle et résumé: American Psychiatric Association, 2013, p. 66-67 "*Difficulties learning and using academic skills, as indicated by the presence of at least one of the following symptoms that have persisted for at least 6 months, despite the provision of interventions that target those difficulties:*

1. *Inaccurate or slow and effortful word reading (...).*
2. *Difficulty understanding the meaning of what is read (...).*
3. *Difficulties with spelling (...).*
4. *Difficulties with written expression (...).*
5. *Difficulties mastering number sense, number facts, or calculation (...).*
6. *Difficulties with mathematical reasoning (...).*

B. The affected academic skills are substantially and quantifiably below those expected for the individual's chronological age, and cause significant interference with academic or occupational performance, or with activities of daily living, (...).

C. The learning difficulties begin during school-age years but may not become fully manifest until the demands for those affected academic skills exceed the individual's limited capacities (...).

D. The learning difficulties are not better accounted for by intellectual disabilities, uncorrected visual or auditory acuity, other mental or neurological disorders, psychosocial adversity, lack of proficiency in the language of academic instruction, or inadequate educational instruction."

1.2 Sous-types :

Notons qu'il n'y a pas réellement de sous-types « purs » de dyscalculie. Cependant, les classifications décrites par certains auteurs permettent d'observer des patterns d'erreurs distincts. En effet, les profils de personnes dyscalculiques ne sont pas homogènes et prendre en considération les variations au niveau du type d'erreurs permet de mieux comprendre et de prendre en charge ce trouble. Geary (2005) décrit 3 sous-types de troubles de l'apprentissage des mathématiques : mémoire sémantique, procédurale et spatiale.

Le sous-type « mémoire sémantique » est généralement présent lorsque les difficultés concernent principalement la rétention des faits arithmétiques (petits calculs stockés en mémoire) et sont couplées à des difficultés en lecture.

Le sous-type « procédurale » se manifeste par la présence de procédures de calculs immatures et est moins bien comprise. Un déficit au niveau des fonctions exécutives et de la mémoire de travail serait à mettre en lien avec ces difficultés.

Enfin, le sous-type « spatiale » se traduit par de nombreuses erreurs lors de la mise en place des nombres, de leur alignement. Ce sous-type serait lié à des difficultés spatiales et spatio-attentionnelle plus générales.

1.3 Etiologie :

Trois hypothèses étiologiques sont aujourd'hui avancées pour expliquer l'origine de la dyscalculie : une hypothèse génétique, une autre neurobiologique et une dernière de nature cognitive. Bien que ces trois hypothèses soient décrites de manière indépendante, il est plus que probable qu'elles se complètent et impactent à une intensité variable les personnes présentant une dyscalculie.

1.3.1 Hypothèse génétique.

L'hypothèse génétique est née du constat de la présence de difficultés d'apprentissage en mathématiques chez les parents du 1er degré des enfants dyscalculiques. Cette présence familiale entraîne une plus grande probabilité de persistance des troubles trois ans plus tard.

Diverses études comparant des jumeaux monozygotes et dizygotes démontrent une influence génétique sur les différences interindividuelles en mathématiques. Même si les résultats varient fortement d'une étude à l'autre, une héritabilité allant de 34 à 73% a été mise en évidence (Petrill & Kovas, 2016). De plus, des difficultés d'apprentissage en mathématiques sont également relevées dans plusieurs syndromes génétiques tels que le syndrome de Williams, le syndrome de Turner et le syndrome vélo-cardio-facial (Paterson, Girelli, Butterworth & Karmiloff-Smith, 2006 ; De Smedt, Swillen, Devriendt, Fryns, Verschaffel & Ghesquière, 2007 ; Mazzocco, 2009).

1.3.2 Hypothèse neurobiologique.

De nombreuses aires cérébrales sont impliquées dans le traitement numérique et le calcul (Arsalidou & Taylor, 2011). Cependant, Dehaene, Piazza, Pinel et Cohen (2003) distinguent deux sous-systèmes neuronaux intervenant plus spécifiquement au niveau des performances en mathématiques : le gyrus angulaire qui serait un système verbal sous-tendant la récupération de faits arithmétiques et le gyrus intra-pariétal qui interviendrait au niveau de la manipulation sémantique de la quantité. Cette distinction a pu être mise en évidence par De Smedt et al. (2007). En effet, ils ont observé que des personnes souffrant du syndrome vélo-cardio-facial éprouvaient davantage de difficultés lors de tâches de comparaison de nombres ou de résolution de calculs par rapport à des tâches de lecture de nombres et de résolution de faits arithmétiques. Or, ces personnes présentent souvent des malformations au niveau de lobe pariétal inférieur. De plus, l'activation du cortex pariétal semble être déterminante lors de la réalisation de tâches arithmétiques. Le gyrus angulaire semble important dans le traitement numérique tout comme d'autres régions proches telles que le sillon intra-pariétal qui soutiendrait la représentation de la quantité et interviendrait dans des tâches en mémoire à court terme visuo-spatiale (Menon, 2016). En effet, des adolescents faibles en mathématiques présentent une densité de matière grise inférieure à celle du groupe contrôle au niveau du sillon intra-pariétal gauche uniquement (Isaacs, Edmonds, Lucas & Badian, 2001).

1.3.3 Hypothèses cognitives.

Différents facteurs cognitifs ont été mis en évidence comme expliquant en partie les difficultés des enfants dyscalculiques. Ces facteurs peuvent être répartis en deux sous-groupes en fonction de leur nature soit plus générale, soit plus spécifique au traitement numérique. Au sein des facteurs cognitifs généraux, il y a les gnosies digitales, l'inhibition et la sensibilité à l'interférence, l'attention, la mémoire de travail et les habiletés visuo-spatiales. Dans les facteurs cognitifs numériques, se place la représentation sémantique du nombre et le déficit d'accès. Ces facteurs ne sont pas mutuellement exclusifs et peuvent se combiner au sein d'un même profil de dyscalculie. Ils sont le fruit de recherches récentes au sein d'un nouveau domaine de recherche.

Une description de chacun de ces facteurs sera réalisée dans la section suivante. En ce qui concerne les habiletés visuo-spatiales, le chapitre 2 de cette introduction leur sera dédié.

1.3.3.1 Facteurs cognitifs généraux.

a) Gnosies digitales.

Les gnosies digitales relèvent de la capacité à reconnaître, identifier et orienter les doigts de chaque main, que ce soit les siens ou ceux d'une tierce personne. L'évaluation des gnosies et de la discrimination digitale semble prédire les habiletés numériques futures de manière plus importante que les tests d'intelligence (Noël, 2005). De plus, un entraînement ciblé sur les gnosies digitales a un impact positif sur les performances en calcul des enfants de 1^{er} année primaire (Gracia-Bafalluy & Noël, 2008).

b) Inhibition et sensibilité à l'interférence.

Un autre élément important intervenant lors de la résolution de calculs est l'inhibition. L'inhibition fait partie des fonctions exécutives et correspond à la capacité d'un individu à supprimer l'apparition d'une réponse motrice ou verbale automatique, sur-apprise ou dominante pour répondre aux exigences de tâches.

Un déficit d'inhibition peut intervenir seul ou dans la cadre d'un trouble plus global tel que le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité. Ce trouble est régulièrement comorbide à la présence d'une dyscalculie. Divers auteurs (Ashkenazi & Henik, 2010a ; Barrouillet, Fayol & Lathulière, 1997 ; Suzcs, Devine, Soltesz, Nobes & Gabriel, 2013) soulignent que les difficultés en arithmétique des enfants dyscalculiques pourraient être dues à un déficit d'inhibition. Barrouillet et al. (1997) ont réalisé une expérience auprès d'adolescents dyscalculiques. Pour un fait arithmétique donné, ceux-ci devaient choisir entre quatre réponses possibles celle qui était correcte. Les auteurs avaient mis en place trois conditions : a) dans la condition de forte interférence, les distracteurs étaient proches et appartenaient à la table de l'un des opérants, b) dans la condition de faible interférence, les distracteurs appartenaient à la table d'autres opérants, c) enfin dans la condition sans interférence, les distracteurs n'appartenaient pas aux tables de multiplication. Les résultats indiquent un pourcentage d'erreurs plus important dans la condition de forte interférence, ce qui suggère un déficit d'inhibition des réponses compétitives.

Purpura, Schmitt et Ganley (2017) renforcent ces résultats en soulignant l'impact des capacités d'inhibition et de flexibilité sur le développement des habiletés numériques.

Les fonctions exécutives semblent donc nécessaires à l'acquisition des compétences numériques. Même si elles apparaissent comme un versant important de l'étiologie de la dyscalculie, elles ne feront pas l'objet d'une analyse spécifique au cours de ce mémoire.

c) Attention.

L'attention est une fonction de base impliquée lors de n'importe quelle activité cognitive. L'impact de l'attention visuelle sur les capacités numériques est encore peu documenté. Cependant, il semble qu'elle corrèlerait de façon importante avec le développement des compétences en mathématiques (Anobile, Stievano & Burr, 2013). Steele, Karmiloff-Smith, Cornish et Scerif (2012) ont d'ailleurs mis en évidence un impact des capacités attentionnelles sur le développement des habiletés numériques de base chez des enfants de 3 à 6 ans.

De plus, les capacités en attention soutenue impacteraient les performances en mathématiques au cours du cycle primaire (Dulaney, Vasilyeva & O'Dwyer, 2015). Ashkenazi et Henik (2010a) démontrent un déficit d'alerte mais pas d'orientation de l'attention chez des jeunes adultes dyscalculiques. De plus, ces auteurs (Ashkenazi & Henik, 2012) établissent qu'une « intervention attentionnelle » a un impact sur les performances attentionnelles des personnes dyscalculiques mais aucune influence de cette méthode n'a été montrée sur les performances en mathématiques. Dans cette étude, il semble donc que les déficits attentionnels apparaissent indépendamment des difficultés en calcul chez des personnes présentant une dyscalculie. L'impact plus spécifique de l'attention visuelle sera développé dans la suite de ce travail.

d) Mémoire de travail.

La mémoire de travail, ou mémoire à court terme, est un système cognitif de stockage et de manipulation d'une quantité limitée d'informations (7 ± 2) durant un court laps de temps. Traditionnellement, la mémoire de travail est composée de 3 éléments principaux : la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et l'administrateur central (Baddeley & Hitch, 1994). La boucle phonologique traite les informations de nature verbale, phonologique alors que le calepin visuo-spatial s'occupe des informations visuelles. Ces deux systèmes communément appelés systèmes esclaves agissent sous la coordination d'un mécanisme attentionnel de contrôle, l'administrateur central. A cela, il faut ajouter comme quatrième élément le buffer épisodique qui est spécialisé dans le stockage multimodal et temporaire de l'information (Baddeley, 2000).

Soulignons que l'évaluation de la mémoire de travail est difficile chez les enfants dyscalculiques car les tests utilisés font majoritairement intervenir des nombres. Il n'est donc pas aisé de distinguer si une performance faible est due à une faiblesse en mémoire de travail ou si elle doit être imputée à un déficit du traitement numérique.

Cependant, diverses études ont été réalisées dans ce domaine et soulignent l'impact de la mémoire de travail dans le développement et la réalisation d'activités mathématiques.

Tout d'abord, des recherches ont montré que la mémoire de travail intervient dans la constitution des faits arithmétiques. Geary (1991) postule que la création d'un fait arithmétique demande la rétention simultanée des termes du problème et de la réponse en mémoire. Si un enfant présente de faibles capacités en mémoire de travail, une pauvre maîtrise de la chaîne numérique verbale ou des stratégies de comptage immatures, ce qui implique un délai allongé lors de la réalisation de calculs, cette co-activation ne pourra être faite et, donc le fait arithmétique ne sera pas retenu. Or, les enfants dyscalculiques présentent des difficultés à tous ces niveaux. De plus, un réseau de faits arithmétiques appauvris implique une surcharge de travail pour la mémoire à court terme. En effet, l'enfant présentant cette difficulté devra utiliser des stratégies de calcul pour chaque opération, aussi simple soit-elle, et perdra donc de l'espace en mémoire de travail, qui est déjà réduit au vu de sa difficulté, pour prendre en considération tous les éléments du problème considéré.

D'autres auteurs ont mis en avant l'influence de la mémoire de travail sur le développement numérique (Dulaney & al., 2015 ; Purpura & al., 2017). De Smedt, Janssen, Bouwens, Verschaffel, Boets et Ghesquière (2009) ont mis en évidence que toutes les dimensions du modèle de la mémoire de travail de Baddeley prédisaient les habiletés mathématiques ultérieures. Néanmoins, leur étude montre que cette relation n'est significative que pour la 1^e année primaire en ce qui concerne le calepin-visuo-spatial et seulement pour la 2^e année pour la boucle phonologique. L'administrateur central, quant à lui, intervient significativement lors des deux années. Holmes et Adams (2006) suggèrent que le calepin visuo-spatial fournit un espace mental permettant à l'enfant de représenter ses connaissances numériques de manière concrète. Au cours de leur développement, les enfants auraient moins besoin de recoder l'information ; l'influence du calepin visuo-spatial sur les habiletés numériques diminuerait. La boucle phonologique resterait donc l'unique prédicteur des habiletés mathématiques en 2^e année. Cela montre que les enfants ont tendance à recoder verbalement le matériel numérique et que cette tendance augmente avec l'âge.

De nouvelles recherches se sont basées sur un modèle plus récent de la mémoire de travail, le modèle A-O-WM, conceptualisant la mémoire à court terme comme résultant de l'interaction des connaissances langagières stockées en mémoire à long terme, du traitement de l'information sériel ainsi que du contrôle attentionnel et exécutif (Majerus, 2010).

En 2015, Attout et Majerus ont étudié l'impact de la mémoire de travail verbale sur le calcul en considérant deux sous-systèmes distincts de cette mémoire : la rétention de l'information « item », sous-tendue par le réseau langagier et la rétention de l'information « ordre », sous-tendue par la composante traitant l'information sérielle. Ils ont alors observé la présence de déficits spécifiques au niveau de la rétention de l'information « ordre » chez des enfants dyscalculiques âgés entre 8 et 12 ans. Par contre, leurs résultats en ce qui concerne l'information « item » ne différaient pas des enfants contrôles. Les enfants dyscalculiques auraient donc de bonnes capacités de mémorisation d'informations phonologiques complexes mais souffriraient de difficultés lors de la rétention de l'ordre sériel de ces informations. Ces données montrent aussi que la capacité de rétention de l'ordre sériel est nécessaire au développement des capacités numériques. De plus, Van Dijck, Abrehamse, Majerus et Fias (2013) montrent un lien entre rétention de l'information « ordre » d'items verbaux et l'attention spatiale. Le rapport entre information « ordre » et capacités attentionnelles semble donc notable et impacterait les capacités de rétention en mémoire de travail.

e) Habiletés visuo-spatiales.

L'impact des habiletés visuo-spatiales sur le développement des compétences numériques est documenté. Cet impact fera l'objet d'une description fournie et détaillée au niveau de la section « habiletés visuo-spatiales » de ce mémoire.

1.3.3.2 Facteur cognitif numérique.

Comme nous venons de le voir, un nombre important de facteurs cognitifs généraux peuvent être mis en cause, de manière complémentaire, dans l'étiologie de la dyscalculie. Néanmoins, de nombreux auteurs proposent que la représentation même du nombre pourrait également faire défaut dans ce trouble spécifique.

Représentation sémantique du nombre et déficit d'accès.

Au niveau de la représentation sémantique du nombre, une représentation anormale de la magnitude numérique ou grandeur numérique pourrait être à la base de la dyscalculie. Landerl, Bevan et Butterworth (2004) ont analysé les compétences mathématiques au sein de quatre groupes d'enfants de 8-9 ans ; enfants dyscalculiques, enfants dyslexiques, enfants dyslexiques et dyscalculiques et enfants contrôles. Ils ont montré qu'il n'y avait pas de différence entre les enfants dyscalculiques et les enfants à double déficit mais que ceux-ci avaient des performances significativement moins bonnes que celles des deux autres groupes dans des tâches de lecture de nombres arabes à 1 ou 2 chiffres, de comparaison de nombres arabes, d'énonciation de séquences numériques et d'énumération de points. Selon ces auteurs, la dyscalculie développementale serait donc un déficit au niveau de la représentation numérique (magnitude) et dans les processus spécifiques à l'information numérique. Ce déficit au niveau de la magnitude pourrait s'expliquer par une difficulté au niveau de la représentation de la ligne numérique mentale. Cette ligne non verbale fait référence à l'organisation spatiale du nombre en mémoire (petit nombre à gauche, grand nombre à droite). Cette organisation pourrait être déficitaire chez des personnes dyscalculiques. Une description plus détaillée de cette ligne et de son lien avec les habiletés visuo-spatiales sera réalisée au sein de la section suivante.

Cependant, des études plus actuelles montrent que ce ne serait pas le jugement de magnitude à mettre en cause mais plutôt l'accès aux symboles numériques. En effet, les enfants dyscalculiques montrent des performances similaires à celles de leurs pairs lorsqu'ils doivent comparer des ensembles de points (jugement de magnitude) mais présentent des performances plus faibles lorsqu'ils doivent comparer des symboles numériques représentant ces mêmes quantités (Rousselle & Noël, 2007). Les enfants avec des problèmes en mathématiques auraient donc plus de difficultés à mettre du sens sur les symboles arabes et ils auraient besoin de plus de temps pour accéder aux propriétés sémantiques des nombres. Ces résultats sont soutenus par McCaskey, Von Aster, O'Gorman Tuura et Kucian (2017) qui ont montré que des adolescents dyscalculiques présentaient des capacités de jugement de magnitude comparables à des sujets contrôles.

2. Habiletés visuo-spatiales :

Cette section aborde les habiletés visuo-spatiales et leurs liens avec les compétences numériques chez des sujets tout-venants, au sein de divers syndromes génétiques et chez des personnes souffrant de dyscalculie ou d'un trouble visuo-spatial. Avant toute chose, une définition des habiletés visuo-spatiales paraît nécessaire.

2.1 Définition :

Définir les « habiletés visuo-spatiales » n'est pas chose aisée car elles englobent une série de compétences assez hétérogènes. Néanmoins, certaines définitions peuvent être résumées pour préciser la nature de ces habiletés.

De manière générale, les habiletés visuo-spatiales comprennent un ensemble de fonctions mentales permettant de percevoir les objets ainsi que leurs relations les uns par rapport aux autres et dans l'espace environnant. Elles permettent de percevoir les perspectives des objets présentés sur une feuille, en trois dimensions, leur localisation, leur orientation ainsi que leurs distances. Elles servent aussi à coordonner et à planifier des actions, des mouvements et des déplacements dans l'espace. De plus, les habiletés visuo-spatiales interviennent dans la manipulation mentale des objets telle que la rotation, la symétrie, la perspective.

Il semble également important de distinguer les habiletés visuo-perceptives, visuo-spatiales et visuo-constructives car ces trois notions font référence à des processus distincts qui seront différenciés lors de l'analyse des résultats de ce mémoire.

De manière synthétique, les habiletés visuo-perceptives font référence à deux grandes étapes (Barisnikov, 2009) : une étape perceptive qui permet l'analyse des composantes visuelles et des caractéristiques de l'objet et une étape mnésique qui permet de faire le lien entre les éléments visuels perçus et les connaissances stockées en mémoire.

Les habiletés visuo-spatiales, quant à elles, englobent de nombreuses compétences distinctes telles que la localisation, l'orientation, l'attention, la mémoire spatiale, la rotation mentale, la compréhension des relations entre les objets, la copie de figures et

la reproduction de modèles (Newcombe & Ratcliff, 1986, cité par Barisnikov & Pizzo, 2007). En 2013, Uttal, Meadow et al. définissent un modèle des habiletés visuo-spatiales basé sur deux grandes distinctions : représentations intrinsèques vs extrinsèques et représentations statiques vs dynamiques. Les représentations intrinsèques font référence à la taille et à l'orientation des objets tandis que les représentations extrinsèques portent sur la localisation d'un objet dans l'environnement. La composante dynamique renvoie à la notion de mouvement et la composante statique à son absence. Ce modèle permet de distinguer quatre domaines : intrinsèque-statique, intrinsèque-dynamique, extrinsèque-statique, extrinsèque-dynamique. L'évaluation de ces domaines n'est cependant pas aisée car les épreuves d'estimation des compétences visuo-spatiales sollicitent généralement plusieurs domaines en même temps.

Les compétences visuo-constructives sont, quant à elles, sollicitées lors de tâches de reproduction d'un matériel en 2D ou en 3D (Barisnikov & Pizzo, 2007). Ces habiletés font intervenir une composante motrice qui n'apparaissait pas au niveau des habiletés visuo-perceptives et visuo-spatiales.

Une revue récente de la littérature (Schmetz & Rousselle, 2016) souligne l'influence des habiletés visuo-perceptives sur les capacités visuo-spatiales. En effet, il est important de discriminer et de reconnaître adéquatement les objets de l'environnement pour pouvoir agir de manière pertinente. Les processus visuels sont impliqués dans de nombreuses sphères de la vie quotidienne (contrôles postural et gestuel, relations sociales, apprentissages scolaires) et leur intégrité est déterminante pour le développement futur de l'enfant.

Actuellement, on distingue deux voies neuronales au sein des processus perceptifs et visuo-spatiaux. La voie ventrale (occipito-temporale) traite la reconnaissance des objets. Elle est également nommée la voie du « What ». Les informations spatiales sont, quant à elles, analysées par la voie dorsale (occipito-pariétale) également appelée voie du « Where ». L'intégrité de ces deux systèmes est primordiale pour le développement de la cognition visuelle et de la guidance visuelle du mouvement. En effet, les enfants atteints de paralysie cérébrale présentent des troubles perceptifs importants et cela impacte leurs capacités visuo-spatiales, visuo-constructives et visuo-motrices.

2.2 Analogie entre espace et traitement numérique :

Ce travail portant sur le lien entre trouble de l'apprentissage des mathématiques et habiletés visuo-spatiales, il paraît essentiel d'aborder en détails les éléments de la littérature nous amenant à considérer que les compétences visuo-spatiales peuvent impacter le développement numérique. Une première section abordera les effets présents au sein d'une population de personnes tout-venants. Le lien entre habiletés visuo-spatiales et compétences numériques sera ensuite démontré au niveau de divers syndromes génétiques et au sein de personnes présentant une dyscalculie ou un trouble visuo-spatial.

2.2.1 Analogies au sein d'une population « tout-venants ».

Diverses analogies espace-nombre présentes chez toute personne de culture occidentale ayant ou ayant eu accès à un enseignement approprié des mathématiques vont être discutées dans cette partie.

2.2.1.1 La Ligne numérique mentale.

Le jugement de magnitude est la capacité de discriminer deux quantités en termes de grandeur. De Hevia, Vallar & Girelli (2008) mettent en avant l'intervention de la ligne numérique mentale lors de ce jugement de magnitude. Comme vu précédemment, cette ligne non verbale fait référence à l'organisation spatiale du nombre en mémoire (petit nombre à gauche, grand nombre à droite). Elle se construit selon un principe logarithmique : plus on avance dans la chaîne numérique, plus les nombres sont comprimés et moins on arrive à les distinguer. Deux effets sont présents lors des jugements de magnitude et peuvent être liés à l'organisation de cette ligne mentale : l'effet de distance et l'effet de taille. L'effet de distance est présent lorsque l'individu met plus de temps pour discriminer deux quantités proches (ex : 6 vs 7) que pour deux quantités éloignées (ex : 6 vs 15). L'effet de taille, quant à lui, se traduit par une plus grande facilité de comparer deux petits nombres (ex : 2 vs 4) par rapport à deux grands nombres (ex : 33 vs 35).

La ligne numérique mentale ne permet pas seulement la comparaison de symboles numériques mais également la discrimination de patterns de points en modalité verbale ou visuelle. Cela suggère une représentation abstraite et amodale de la magnitude. La présence de la ligne numérique mentale montre que la capacité à discriminer des quantités numériques serait dépendante des compétences visuo-spatiales. Un autre effet à mettre en lien avec la ligne numérique mentale et les habiletés visuo-spatiales, apparaît lors de la réalisation de jugements d'ordinalité et de magnitude. Il s'agit de l'effet SNARC. Le « Spatial Numerical Association of Response Code » intervient lors de la vitesse de réaction dans une tâche de jugement de magnitude. Les sujets ont tendance à répondre plus vite avec la main gauche pour les petits nombres et avec la main droite pour les grands nombres. L'effet SNARC serait un effet amodal et se définirait comme une représentation visuo-spatiale abstraite de la magnitude numérique. Cet effet se développe vers 9-10 ans et est structuré par les contraintes culturelles dans lesquelles vit l'individu (habitude de lecture) ainsi que par le format de l'écriture des nombres (ligne ou horloge). En effet, un effet inverse est trouvé au sein de cultures lisant de droite –gauche ou lorsque le sujet doit imaginer les chiffres selon le format d'une horloge.

Les nombres sont donc spatialement codés selon le principe de la ligne numérique mentale. Cette relation est importante car elle permet d'analyser et de comprendre les rapports entre les performances à des tâches numériques et les compétences visuo-spatiales. De par cette relation, les capacités lors de tâches d'estimation numérique sont dignes d'intérêt dans le cadre de ce travail car ces tâches font intervenir la compréhension de la magnitude ainsi qu'un déplacement le long de la ligne numérique mentale. Siegler et Opfer (2003) ont analysé les performances d'enfants de 2^e, 4^e et 6^e année primaire et d'adultes lors d'estimations de la position de nombres sur des lignes allant de 0 à 100 et de 0 à 1000. Ils ont remarqué une évolution des stratégies mises en place en fonction de l'âge. Les enfants de 2^e année primaire utilisent une représentation logarithmique des nombres, c'est-à-dire une représentation compressée des grands nombres sur la ligne numérique mentale, tandis que les enfants de 6^e année primaire et les adultes présentent une représentation linéaire, c'est-à-dire une représentation proportionnelle des nombres sur la ligne numérique mentale. De plus, les auteurs soulignent une influence du contexte sur la mise en place de ces stratégies.

La représentation logarithmique est plus utilisée sur les lignes de 0 à 1000 que sur celles de 0 à 100. Simms, Clayton, Cragg, Gilmore et Johnson (2016) relèvent que les résultats aux tâches d'estimation numérique sont corrélés aux performances en mathématiques. De plus, ils affirment que les habiletés visuo-spatiales et l'intégration visuo-motrice influencent la réussite des tâches d'estimation numérique. Ces résultats sont soutenus par Sella, Sader, Lolliot et Cohen Kadosh (2016) qui mettent en évidence l'impact des habiletés visuo-spatiales lors d'une tâche d'estimation numérique sur des lignes de -1000 à 1000 chez des mathématiciens et des non-mathématiciens. De plus, les mathématiciens auraient des réponses plus exactes lors du positionnement de chiffres positifs que les non-mathématiciens. Ce résultat n'est, par contre, pas valable pour les nombres négatifs. La tâche d'estimation numérique semble donc être multi-déterminée soulignant le lien entre habiletés visuo-spatiales et compétences numériques.

2.2.1.2 Habiletés visuo-spatiales en tant que précurseurs des compétences mathématiques.

En ce qui concerne l'influence de habiletés visuo-spatiales en tant que telle sur les compétences numériques de base, Cornu, Hornung, Schiltz et Martin (2017) observent que les performances en arithmétique et estimation sur une ligne numérique, d'enfants de 4 à 6 ans, sont corrélées avec leurs habiletés en orientation spatiale et au niveau de l'intégration visuo-motrice. Ces résultats sont partagés par Mix, et al. (2016) qui démontrent un impact de la rotation mentale sur les performances en mathématiques d'enfants de maternelle. De plus, ils attestent d'un effet des capacités en mémoire de travail visuo-spatiale et de l'intégration visuo-motrice chez des enfants de 3^e et 6^e année primaire. En outre, Thompson, Nuerk, Moeller et Cohen Kadosh (2013) soulignent la présence d'un lien entre la rotation mentale et les habiletés numériques de base comme l'estimation numérique. Ce lien est également mis en évidence par Gunderson, Ramirez, Beilock et Levine (2012). La rotation mentale et les habiletés visuo-spatiales en général semblent donc être des facteurs prédictifs pertinents des performances en arithmétique et lors de tâches d'estimation numérique. En effet, les performances lors de tâches visuo-spatiales à 5 ans impactent les compétences mathématiques à 7 ans et les habiletés visuo-spatiales expliqueraient entre 8 et 20% de

la variance des performances en mathématiques (Gilligan, Flouri & Farran, 2017). Plus récemment encore, Cornu, Schiltz, Martin et Hornung (2018) ont mis en évidence que le développement des compétences numériques verbales (comptage, connaissances du nom des nombres) d'enfants d'âge préscolaire est davantage influencé par les habiletés visuo-spatiales que par les compétences verbales et langagières (conscience phonologiques et vocabulaire expressif). Il apparaît, une fois de plus, une relation étroite entre les capacités visuo-spatiales et le développement numérique.

2.2.2 Syndromes génétiques.

Des difficultés au niveau des habiletés visuo-spatiales couplées à des compétences numériques déficitaires se retrouvent régulièrement dans divers syndromes tels que : le syndrome de Williams, le syndrome de l'X fragile, le syndrome de Turner et le syndrome vélo-cardio-facial (Walter, Mazaika & Reiss, 2009). Cette comorbidité suggère un lien important entre les capacités en mathématiques et les performances visuo-spatiales. Ce résultat est également sous-tendu par l'étude de Paterson, Girelli, Butterworth et Karmiloff-Smith (2006) dans laquelle ils ont observé les compétences arithmétiques de personnes souffrant de trisomie 21 ou du syndrome de Williams. Il est actuellement assez bien documenté que les personnes atteintes de trisomie 21 possèdent des compétences langagières déficitaires alors que les habiletés visuo-spatiales sont relativement préservées. A l'inverse, les personnes souffrant du syndrome de Williams présentent de bonnes capacités langagières mais leurs habiletés visuo-spatiales sont déficitaires. Les auteurs ont donc fait l'hypothèse que si le langage joue un rôle dans le développement numérique, alors les personnes présentant un syndrome de Williams auront de meilleures performances que les personnes souffrant de trisomie 21. Inversement, si ce sont davantage les habiletés visuo-spatiales qui interviennent dans le développement numérique, les personnes ayant une trisomie 21 devraient être meilleures que les personnes avec un syndrome de Williams. Leurs résultats ont mis en évidence la présence d'un effet de distance, d'un meilleur jugement de magnitude ainsi que de meilleures performances lors d'opérations arithmétiques et de manipulations de chiffres chez les participants souffrant de trisomie 21 par rapport au groupe présentant un syndrome de Williams.

Autrement dit, les personnes porteuses de trisomie 21 présenteraient des capacités préservées au niveau de la représentation numérique et des opérations arithmétiques. Cela souligne l'impact des habiletés visuo-spatiales sur l'acquisition des mathématiques.

2.2.3 Impact des troubles visuo-spatiaux sur le nombre.

Suite à ce constat dans une série de syndromes génétiques, de nombreuses études ont exploré l'impact de faibles capacités visuo-spatiales sur les compétences en mathématiques en étudiant les capacités en calcul d'enfants présentant un trouble visuo-spatial non lié à un syndrome génétique et, dès lors à un retard mental possible.

Bachot, Gevers, Fias et Roeyers (2005) se sont intéressés à l'impact de faiblesses visuo-spatiales sur le jugement de magnitude et le développement de la ligne numérique mentale chez des enfants présentant des faiblesses au niveau mathématique. Ils ont analysé le jugement de magnitude chez des enfants de 7 à 12 ans ayant des troubles visuo-spatiaux au moyen d'une tâche de comparaison de nombres sous format symbolique (nombres arabes). Ils ont mis en avant que les enfants avec des troubles visuo-spatiaux étaient plus lents et commettaient plus d'erreurs que le groupe contrôle. L'effet de distance est aussi moins marqué. Une absence de l'effet SNARC a également été mise en évidence. Dans les suites de cette étude, Crollen et Noël (2015) ont regardé l'influence des habiletés visuo-spatiales sur les compétences numériques (effet SNARC, estimation numérique). Elles ont montré un impact des capacités visuo-spatiales sur les tâches numériques. En effet, les enfants avec de plus grandes habiletés visuo-spatiales sont plus précis lors de tâches d'estimation numérique. Cependant, contrairement à Bachot et al. (2005), les auteurs soulignent la présence d'un effet SNARC chez les enfants avec de faibles habiletés visuo-spatiales. Cette contraction pourrait résulter du fait que l'échantillon est différent entre les études. Bachot et al. (2005) ont recruté des enfants cumulant des difficultés visuo-spatiales et en mathématiques alors que Crollen et Noël (2015) n'ont pas tenu compte du niveau en mathématiques. L'absence d'effet SNARC pourrait donc être imputé soit à la présence d'une dyscalculie, soit à la combinaison d'une dyscalculie et de troubles visuo-spatiaux. Ces résultats semblent néanmoins indiquer que les performances visuo-spatiales sont nécessaires pour la réussite de tâches mathématiques.

La relation inverse est observée par McCaskey et al. (2017) qui soulignent la présence de difficultés visuo-spatiales et visuo-constructives chez des adolescents dyscalculiques. Les compétences visuo-perceptives seraient quant à elles préservées.

Egalement chez des personnes dyscalculiques, Ashkenazi et Henik (2010b) ont mis en évidence un double déficit lors de tâches de bissection de lignes simples ou de lignes numériques en comparaison à un groupe contrôle. Traditionnellement, lors d'une tâche de bissection de lignes simples, un effet de pseudo-négligence vers la gauche est retrouvé chez des sujets contrôles. C'est-à-dire que la division de la ligne opérée par les sujets est déviée sur la gauche. Or, ce pattern ne se retrouve pas chez les personnes dyscalculiques. Les auteurs expliquent cela par un déficit au niveau de l'attention visuelle. Par contre, lors d'une tâche de bissection de lignes numériques, les personnes avec une dyscalculie présentent une déviation vers la gauche plus importante que les personnes contrôles. Ce résultat semble indiquer qu'elles auraient une représentation logarithmique de la ligne numérique mentale plus persistante. Notons que cette étude a été réalisée en Israël où le mode d'écriture traditionnel est de droite à gauche. Il est donc important, lorsque l'on transpose ces résultats à une population occidentale, d'inverser les effets. Au sein d'une population occidentale, un effet de déviation vers la droite est attendu.

2.3 Attention visuo-spatiale :

Comme sub-mentionné, les petits nombres sont liés à l'espace gauche et les grands nombres à l'espace droit selon le principe de l'effet SNARC. Cependant, l'impact du nombre sur les capacités attentionnelles et plus spécifiquement le déplacement du foyer attentionnel doit être développé. L'apport d'Ashkenazi et Henik (2010b) a déjà été mentionné, néanmoins d'autres études soulignent l'importance de l'attention dans le développement numérique. Fisher, Castel, Dodd et Pratt (2003) ont montré l'impact d'un amorçage numérique sur une tâche de détection de cibles. Les participants répondaient plus rapidement aux cibles présentées à leur gauche si elles étaient précédées d'un petit chiffre et plus rapidement aux cibles présentées à leur droite si elles étaient précédées d'un grand chiffre. A l'inverse, Mathieu, Gourjon, Couderc, Thevenot et Prado (2016) ont remarqué une tendance chez les adultes à répondre plus rapidement à une addition simple lorsque le deuxième opérant apparaissait dans le

champ droit de l'écran et plus rapidement à une soustraction simple lorsque le deuxième opérant apparaissait dans le champ gauche de l'écran. Ces deux études montrent bien le lien étroit existant entre les nombres et le déplacement attentionnel. De plus, ces données sont concordantes avec la représentation de la ligne numérique mentale décrite précédemment.

2.4 Mémoire à court terme visuo-spatiale

Comme vu dans la section précédente, l'influence de la mémoire de travail sur les performances numériques est relativement bien documentée. Toutefois, le versant visuo-spatial de la mémoire à court terme nécessite d'être investigué de manière plus approfondie au vu de la problématique traitée dans ce travail.

Des difficultés au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale ont déjà été répertoriées comme une caractéristique assez spécifique des enfants dyscalculiques (Kroesbergen & van Dijk, 2015 ; Menon, 2016 ; Moll, Göbel, Gooch, Landerl & Snowling, 2016 ; Szucs & al., 2013 ; Szucs, Devine, Soltesz, Nobes & Gabriel, 2014).

2.4.1 MCT séquentielle et simultanée.

La mémoire à court terme visuo-spatiale peut être subdivisée en deux parties (Logie & Marchetti, 1991 ; Logie & Pearson, 1997) traitant spécifiquement les informations visuelles de type couleurs et formes d'une part (mémoire à court terme visuo-spatiale simultanée) et les informations visuo-spatiales de type mouvements d'autre part (mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle). Le premier circuit est à mettre en lien avec le système visuel tandis que le second est davantage relié à la planification et à l'exécution de mouvements. Cependant, la nature même de l'encodage en mémoire de travail visuo-spatiale est méconnue. Blalock & Clegg (2010) mettent en évidence que les informations seraient stockées de manière globale et ce, indépendamment de la modalité de présentation (séquentielle vs simultanée). De ce fait, une supériorité de la rétention d'informations présentes simultanément peut être observée. De plus, des changements portant sur des items spécifiques seraient davantage reconnus lors de présentations simultanées que séquentielles.

Au niveau développemental, les capacités de ces deux sous-systèmes s'accroissent différemment. En effet, les habiletés de rétention visuelle se développent plus tôt et connaissent une augmentation plus conséquente au cours des années. Elles sont également davantage reliées aux compétences verbales. Les habiletés relatives à la mémorisation d'informations visuo-spatiales restent quant à elles plus faibles et ne connaissent pas d'augmentation majeure au cours du développement (Hamilton, Coates & Heffernan, 2003 ; Logie & Pearson, 1997).

La mémoire de travail visuo-spatiale peut être mise en lien avec les compétences en mathématiques. De fait, les deux sous-systèmes interviennent lors de la résolution de problèmes algébriques et de numérosité. Néanmoins leur contribution diffère en fonction de l'âge de l'enfant. Les habiletés visuo-spatiales semblent davantage intervenir chez les enfants jeunes, ensuite ce sont les habiletés visuelles qui opèrent davantage lorsque l'enfant avance en âge (Holmes, Adams, & Hamilton, 2008). Ces résultats soutiennent ceux de Reuhkala (2001) qui a étudié le lien entre mémoire à court terme et compétences en mathématiques chez des adolescents de 15-16 ans en distinguant les deux sous-composants. Ces résultats montrent un effet des compétences en mémoire à court terme visuo-spatiale sur les capacités arithmétiques avec un effet davantage présent pour les habiletés visuelles fixes. Cependant, l'influence de la rotation mentale a aussi pu être mise en avant. Ce résultat indique qu'il n'y a pas de dichotomie entre les notions fixes et spatiales mais plutôt une interaction entre les deux.

Enfin, Mammarella, Caviola, Giofr & Szücs (2017) relèvent la présence de faibles capacités en mémoire de travail visuo-spatiale-séquentielle et simultanée chez des enfants dyscalculiques ou avec de faibles capacités en mathématiques en comparaison à des enfants contrôles.

2.4.2 Arrangement des informations visuo-spatiales.

Une autre distinction peut être réalisée en ce qui concerne la structure du matériel présenté en mémoire à court terme visuo-spatiale. Lors d'une étude sur du matériel séquentiel, Imbo, Szmalec et Vandierendonck (2009) ont regardé si la structure du test utilisé pour évaluer la mémoire de travail visuelle avait un impact sur

les performances et si cet impact différait en fonction de l'âge. Ils font l'hypothèse qu'un matériel structuré devrait être mieux rappelé du fait qu'il est plus simple à encoder et que la connaissance à long terme de la structure peut être utilisée. Leurs résultats sont concordants avec leur hypothèse et montrent que les habiletés en mémoire de travail visuo-spatiale, empan, augmentent avec l'âge et que cette augmentation est d'autant plus grande pour le matériel structuré.

3. Conclusion :

En conclusion de cette introduction théorique, la dyscalculie est un trouble multi-déterminé, influencé par une série de facteurs cognitifs généraux tels que les gnoses digitales, l'inhibition et la sensibilité à l'interférence, l'attention, la mémoire de travail et les habiletés visuo-spatiales. Mais aussi par des facteurs cognitifs numériques tels que la représentation sémantique du nombre et le déficit d'accès. Szucs, et al. (2014) démontrent cet aspect de multi-détermination sur les composantes du réseau mathématique chez les enfants de 9 ans. Ils ont mis en évidence que le réseau mathématique est sous-tendu par le décodage phonologique, les connaissances verbales, la mémoire visuo-spatiale et les habiletés spatiales ainsi que par les capacités exécutives.

Une focalisation sur le versant visuo-spatial souligne également des difficultés dans divers domaines tels que la mémoire à court terme visuo-spatiale et l'attention visuo-spatiale. Les analogies entre espace et développement numérique sont nombreuses et peuvent expliquer les liens étroits qu'entretiennent ces deux notions. La compréhension et le déplacement sur la ligne numérique mentale en est un parfait exemple. Cette relation se marque également lors de tâches d'estimation numérique car celles-ci demandent l'intégration de la ligne numérique mentale, de la connaissance de la magnitude et des habiletés visuo-spatiales et visuo-motrices. En outre, de nombreuses composantes visuo-spatiales s'avèrent présenter des liens robustes avec le développement numérique comme par exemple, la rotation mentale.

Comme développé dans cette section théorique, des difficultés à un niveau visuo-spatial entraînent des complications lors de l'apprentissage des mathématiques et ce à tout âge. Il semble également que ce constat soit valable dans le sens inverse. En effet, les personnes présentant une dyscalculie seraient moins performantes lors de tâches visuo-spatiales, même si cet aspect est moins documenté. C'est d'ailleurs dans une perspective d'approfondissement de la compréhension de l'influence de la dyscalculie sur les performances visuo-spatiales que s'inscrit la présente étude.

Objectif et Hypothèses :

1. Objectif :

Cette étude a pour objectif d'améliorer les connaissances concernant les caractéristiques de la dyscalculie développementale. L'intérêt pour le versant visuo-spatial de ce trouble des apprentissages est à mettre en lien avec la préoccupation actuelle de certains auteurs au sujet des possibilités de prise en charge de la dyscalculie et en particulier l'intervention visuo-spatiale. Pour atteindre cet objectif, il est important d'augmenter le stock de connaissances concernant la dyscalculie.

Il est actuellement documenté que les compétences visuo-spatiales peuvent s'affiner suite à une intervention (Uttal, Meadow, et al., 2013 ; Uttal, Miller & Newcombe, 2013). La question de l'intérêt et du bénéfice d'une prise en charge ciblée sur les habiletés visuo-spatiales chez des personnes souffrant de dyscalculie prend, dès lors, tout son sens. Cheng et Mix (2014) ont mis en évidence la pertinence d'une prise en charge ciblée sur les capacités de rotation mentale dans le cadre de difficultés en mathématiques. Il s'avère que les enfants de 6 à 8 ans profitent de cette prise en charge, et améliorent leurs capacités en résolution de calculs (additions et soustractions), principalement lors de calculs lacunaires. Ces résultats sont soutenus par Lowrie, Logan et Ramful (2017) qui ont démontré l'efficacité d'une intervention visuo-spatiale (rotation mentale, visualisation spatiale et orientation spatiale) sur les compétences en mathématiques (nombres, géométrie et mesures) d'élèves de 10 à 12 ans. Cette intervention était donnée par l'enseignant de référence des élèves au sein de la classe. Cette étude présente donc une valeur écologique importante. Ces études soulignent que les habiletés visuo-spatiales peuvent être améliorées mais également que ces progrès ont un impact sur les compétences numériques.

Néanmoins, certaines études n'arrivent pas à reproduire ces résultats. Hawes, Moss, Caswell et Poliszczuk (2015) ont essayé de répliquer l'étude de Cheng et Mix (2014). S'ils ont trouvé une augmentation des capacités visuo-spatiales suite à l'intervention, aucun effet sur les compétences en mathématiques n'a pût être mis en évidence.

Il est donc primordial d'avoir une connaissance plus précise de la nature des difficultés vécues par les enfants dyscalculiques de manière à évaluer de façon pertinente l'intérêt et l'efficacité d'une prise en charge visuo-spatiale chez les enfants dyscalculiques. Pour ce faire, une meilleure connaissance des caractéristiques des personnes dyscalculiques est nécessaire. En effet, les études actuelles sont principalement corrélationnelles et portent sur l'évaluation des compétences mathématiques chez des enfants présentant un déficit spécifique des habiletés visuo-spatiales. Il est donc essentiel d'évaluer le profil inverse, les performances visuo-spatiales chez des personnes souffrant d'un déficit spécifique des compétences en mathématiques.

Ce mémoire a donc pour objectif d'étudier les habiletés visuo-spatiales au sein d'un groupe large d'enfants présentant une dyscalculie de manière à caractériser de manière plus précise leur mode de fonctionnement. Nous allons en étudier divers versants : la mémoire à court terme visuo-spatiale, les habiletés visuo-perceptives, visuo-spatiales et visuo-constructives ainsi que les compétences d'apprentissage visuo-spatiales. Pour ce faire, diverses hypothèses peuvent être posées.

2. Hypothèses :

Diverses mesures seront prises au niveau visuo-spatial, attentionnel et de la mémoire à court terme visuo-spatiale afin d'évaluer les performances des enfants dyscalculiques par rapport aux enfants contrôles dans une série de tâches visuo-spatiales touchant plusieurs domaines : attention visuo-spatiale, mémoire à court terme visuo-spatiale et habiletés visuo-spatiales.

Nous nous attendons à ce que les performances des enfants dyscalculiques ne diffèrent pas de celles des enfants contrôles pour les tâches visuo-perceptives (figures enchevêtrées et visual perceptual subtests). Par contre, les performances aux tâches visuo-spatiales (localisation et rotation mentale) et visuo-constructives (cubes) devraient se différencier en fonction du groupe. Ces hypothèses sont basées sur les résultats de McCaskey, et al., (2017) qui soulignent la présence de difficultés visuo-spatiales chez des adolescents dyscalculiques.

Ces difficultés toucheraient les compétences visuo-spatiales ainsi que les compétences visuo-constructives. Les habiletés visuo-perceptives ne diffèrent pas entre le groupe contrôle et les adolescents dyscalculiques. En outre, en accord avec les résultats de Mix, et al. (2016), nous présumons que la tâche de rotation mentale posera plus de difficultés aux enfants dyscalculiques qu'au groupe contrôle. Une corrélation entre les tâches visuo-spatiales et la tâche d'estimation numérique est également attendue. En effet, de nombreuses études ont montré un lien entre ces deux notions (Cornu, & al., 2017 ; Gunderson, & al., 2012 ; Thompson, & al., 2013).

En ce qui concerne les capacités attentionnelles, divers auteurs ont mis en évidence que de faibles capacités en attention visuelle impactaient négativement les performances ultérieures en mathématiques (Anobile et al., 2013 ; Dulaney et al., 2015 ; Steele et al., 2012). Une analyse des capacités attentionnelles des enfants dyscalculiques paraît dès lors pertinente et plus précisément des compétences de déplacement du foyer attentionnel. En effet, celui-ci semble requis lors de tâches arithmétiques (Mathieu et al., 2016). Néanmoins, Ashkenazi et Henik (2010a) ne trouvent pas de différence entre des personnes dyscalculiques et contrôles au niveau de l'orientation attentionnelle. Au vu de ces éléments, nous nous attendons soit à une absence de différence entre les groupes, soit à de plus faibles performances lors de la tâche attentionnelle au sein du groupe expérimental.

A propos de la mémoire à court terme visuo-spatiale, nous prévoyons de plus faibles résultats chez les enfants dyscalculiques et ce, que les informations soient présentées simultanément ou séquentiellement (Mammarella et al., 2017). La nature structurée ou non du matériel devrait influencer les performances des deux groupes avec un bénéfice de la présentation structurée (Imbo et al., 2009). Il est envisageable que les enfants dyscalculiques bénéficient moins du matériel structuré que les enfants contrôles vu que l'avantage du matériel structuré tient au fait qu'il fait intervenir des représentations visuo-spatiales stockées en mémoire à long terme. Représentations qui pourraient être moins présentes chez les enfants dyscalculiques.

En outre, comme souligné précédemment, les personnes présentant une dyscalculie arborent souvent un déficit au niveau de la rétention de l'information « ordre » en mémoire de travail (Attout & Majerus, 2015).

Cependant, les capacités d'apprentissage d'un ordre sériel à long terme en modalité visuelle n'ont pas encore été étudiées. L'étude de De Visscher, Szmalec, Van der Linder et Noël (2015) met en évidence que des adultes souffrant d'une dyscalculie globale présenteraient des capacités d'apprentissage d'un ordre sériel réduites par rapport à des adultes contrôles, celles-ci étant évaluées à l'aide d'un paradigme de Hebb. Même si le matériel utilisé dans cette étude est de nature verbale, ce résultat souligne une difficulté relative à l'information « ordre » associée à la présence d'une dyscalculie. Par ailleurs, Couture et Tremblay (2006) relèvent que les caractéristiques associées au paradigme de Hebb en modalité verbale peuvent être étendues à un matériel visuo-spatial, nous laissant penser que cette difficulté à apprendre une séquence verbale dans la dyscalculie pourrait également se retrouver dans du matériel visuo-spatial. En ce qui concerne ce mémoire, nous nous attendons donc à un apprentissage plus rapide et plus précis d'un matériel visuo-spatial chez les enfants contrôles que chez les enfants dyscalculiques.

Concernant la tâche d'estimation numérique, nous présumons que les enfants dyscalculiques présenteront une déviation plus grande vers la droite signalant la présence d'une représentation logarithmique des nombres plus persistante (Ashkenazi & Henik, 2010b). Cette représentation sera, de plus, davantage présente pour les lignes de 0 à 1000 et ce pour tous les enfants (Siegler & Opfer, 2003). De plus, de bonnes habiletés visuo-spatiales et attentionnelles participant à la réussite de cette tâche (Gunderson, et al., 2012 ; Sella, et al., 2016 ; Simms, et al. 2016), nous nous attendons à une corrélation entre ces dernières et les performances à la tâche d'estimation numérique.

Enfin, diverses mesures seront prises en tant que mesures contrôles ; telles que des données de raisonnement verbal et non-verbal et des informations sur le niveau en mathématiques. En ce qui concerne les épreuves de raisonnement, nous ne nous attendons pas à trouver de différence entre les groupes pour la tâche de raisonnement verbal, en vocabulaire réceptif (EVIP). En revanche, les enfants dyscalculiques pourraient présenter davantage de difficultés que les enfants contrôles lors de la tâche de raisonnement non verbal (Matrices de Raven PM47) car les résultats à cette épreuve sont influencés par les compétences visuo-spatiales (Waschl, Nettelbeck & Burns, 2017).

Les performances en fluences mathématiques permettront de confirmer la distinction entre le groupe contrôle et le groupe expérimental. Ce dernier devrait donc être moins performant.

En résumé,

- Au niveau visuo-spatial, nous nous attendons à ce que les enfants dyscalculiques éprouvent davantage de difficultés visuo-spatiales et visuo-constructives mais pas visuo-perceptives.
- Au niveau attentionnel, nous présumons soit ne trouver aucune différence entre nos deux groupes, soit que les enfants dyscalculiques présentent un ralentissement par rapport aux enfants contrôles.
- Au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale et de l'apprentissage d'une séquence visuo-spatiale, nous escomptons de moins bonnes performances chez le groupe expérimental comparativement au groupe contrôle et ce, particulièrement au niveau de l'information « ordre ».
- Au niveau des mathématiques, les enfants dyscalculiques devraient présenter de moins bonnes performances aux fluences mathématiques et à la tâche d'estimation numérique avec un plus grand biais d'estimation vers la droite.
- Au niveau des tâches de raisonnement, nous nous attendons à de meilleures performances au sein du groupe contrôles pour la tâche de RAVEN mais à aucune distinction entre les groupes en ce qui concerne l'EVIP

Methodologie

1. Population :

16 enfants présentant une dyscalculie ont été recrutés. Cette population est composée de 15 filles et de 1 garçon, dont 12 droitiers et 4 gauchers. Le fait qu'il y ait une majorité de filles doit être imputé à une caractéristique de l'échantillon. En effet, le sexe ratio de la dyscalculie montre que ce trouble est réparti de manière homogène dans la population. Au niveau de la répartition en termes de niveau scolaire, 1 enfant est en 2^e année primaire, 4 en 3^e année primaire, 3 en 4^e année primaire, 4 en 5^e année primaire et 4 en 6^e année primaire. La moyenne d'âge de 10 ans et 4 mois (écart-type : ± 20 mois).

16 enfants contrôles ont été appariés en termes de niveau scolaire, de sexe et de latéralité. Leur moyenne d'âge est légèrement inférieure (10 ans et 1 mois, écart-type : ± 16 mois). De fait, certains enfants dyscalculiques ont doublé une ou plusieurs années du primaire.

Cette recherche a été soumise et approuvée par le comité d'éthique. Les performances des sujets ont été rendues anonymes et le consentement parental a été demandé avant toute évaluation (cf. Annexe 4).

1.1. Recrutement :

Les enfants dyscalculiques ont été recrutés auprès de logopèdes spécialisés en dyscalculie, d'une école de devoirs et grâce au bouche-à-oreille.

Les enfants contrôles ont été recrutés auprès d'un accueil extra-scolaire, d'une école de devoirs, d'une école ordinaire et grâce au bouche-à-oreille.

Tous les enfants participant à cette étude proviennent de la province de Liège. Seul un participant habite en province du Luxembourg.

1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion :

1.2.1. Groupe « dyscalculie ».

Les enfants composant le groupe « dyscalculie » devaient remplir une série de critères pour pouvoir participer à cette étude. Chaque enfant devait :

- Être scolarisé en 2^e, 3^e, 4^e, 5^e, ou 6^e année primaire sans avoir sauté de classe. Le redoublement était autorisé car il est courant que des enfants souffrant de troubles d'apprentissages soient amenés à recommencer une année.
- Ne pas avoir de diagnostic de haut potentiel, de dyspraxie ou de troubles de l'attention avec ou sans hyperactivité. En effet, les difficultés praxiques auraient pu expliquer d'éventuelles difficultés visuo-spatiales. De même, les difficultés attentionnelles auraient pu impacter les résultats aux épreuves attentionnelles et mnésiques. Au vu de la comorbidité élevée entre troubles de l'apprentissage des mathématiques et de la lecture, la présence d'une dyslexie et/ou d'une dysorthographe était tolérée.
- Être monolingue français (pas de bilinguisme ou d'immersion).
- Être ou avoir été suivi pour des difficultés en mathématiques.

1.2.2. Groupe « contrôle ».

Chaque enfant repris dans le groupe « contrôle » devait remplir une série de critères pour pouvoir participer à cette étude :

- Être scolarisé en 2^e, 3^e, 4^e, 5^e, ou 6^e année primaire sans avoir sauté ou doublé de classe.
- Ne pas avoir de diagnostic de haut potentiel.
- Être monolingue français (pas de bilinguisme ou d'immersion).
- Pas de trouble de l'apprentissage connu (dysphasie, dyslexie, dyspraxie, dyscalculie, hyperactivité, ...)

Les enfants du groupe « contrôle » étaient appariés au groupe « dyscalculie » en termes de niveau scolaire, de sexe et de latéralité ainsi qu'au niveau de la version du testing.

2. Protocole :

2.1. Modalités de passation :

La passation s'est déroulée en 2 séances d'une heure chacune, de manière à limiter un possible effet de fatigue. Le lieu de passation était convenu avec les parents de l'enfant selon leur meilleure convenance (maison, école, école de devoirs, cabinet de la logopède, accueil extra-scolaire).

2.2. Ordre de passation des épreuves :

Deux ordres de passation des épreuves ont été réalisés de manière à éviter un effet de fatigue sur les tâches administrées en fin de séance. L'ordre de passation des épreuves a été randomisé au sein de la population et ce, également au sein d'un même niveau scolaire, c'est-à-dire, par exemple, que sur les 4 filles de 6^e année primaire, une a reçu la version 1A, une la version 2A, une la version 1B et la dernière la version 2B. « 1 » et « 2 » font référence à l'ordre des épreuves et « A » et « B » renvoient à la forme de l'épreuve en mémoire à long terme visuo-spatiale. Ces épreuves seront développées dans la prochaine section de ce travail.

Ordre 1

Première séance

- EVIP
- Mémoire de travail visuo-spatiale :
Séquentielle
- Figures enchevêtrées (BEVPS)
- Déplacement du foyer attentionnel
(TAP)
- Mémoire de travail visuo-spatiale :
Simultanée
- Fluences mathématiques :
Multiplications

Deuxième séance

- Progressive Matrices de Raven
 - Couleurs (PM47)
 - Estimation numérique
 - Cubes (NEPSY-II)
 - Fluences mathématiques :
Soustractions
 - Rotation mentale
 - Mémoire à long terme visuo-spatiale
 - Visual perceptual subtest (VMI)
 - Localisation (BEVPS)
 - Fluences mathématiques : Additions
-

Ordre 2

Première séance

- Progressive Matrices de Raven Couleurs (PM47)
- Mémoire de travail visuo-spatiale : Simultanée
- Localisation (BEVPS)
- Fluences mathématiques : Additions
- Mémoire de travail visuo-spatiale : Séquentielle
- Fluences mathématiques : Soustractions
- Rotation mentale
- Estimation numérique

Deuxième séance

- EVIP
- Fluences mathématiques : Multiplications
- Mémoire à long terme visuo-spatiale
- Déplacement du foyer attentionnel (TAP)
- Cubes (NEPSY-II)
- Visual perceptual subtest (VMI)
- Figures enchevêtrées (BEVPS)

2.3. Présentation des épreuves :

2.3.1. Questionnaire.

2.3.1.1. *Le QVS – P : Questionnaire visuo-spatial à destination des parents (Wansard, Catale, Geurten, & Lejeune).*

Il s'agit d'un questionnaire composé de 30 items évoquant des situations auxquelles l'enfant a généralement déjà été confronté. Les parents doivent répondre aux items grâce à une échelle de Likert, en fonction de la fréquence d'apparition du comportement (jamais – parfois – souvent – toujours – non-applicable).

Correction : Pour chaque item, une note de 1 à 4 a été accordée. Un score total a ensuite été calculé, allant de 30 à 120, 120 signifiant la présence de troubles visuo-spatiaux majeurs et 30 l'absence de difficultés. Une moyenne a ensuite été calculée.

2.3.2. Evaluation des habiletés visuo-spatiales

2.3.2.1. Visual perceptual subtest de la Beery VMI (Beery & Beery, 2004).

Processus évalué : Capacités visuo-perceptives et visuo-spatiales.

Matériel : 30 items de complexité croissante répartis sur 4 feuilles. Chaque item est composé d'une figure cible encadrée sous laquelle se trouvent diverses propositions composées de la bonne réponse, de distracteurs visuo-perceptifs et de distracteurs visuo-spatiaux.

Procédure : L'enfant doit, pour chaque item, entourer le dessin qui est exactement le même que celui dans le cadre cible. Une aide est fournie pour tourner les pages.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *On va faire un exercice sur une feuille, tu vas voir un dessin modèle dans un cadre (pointer le cadre du premier dessin). Et tu devras choisir parmi les dessins de la colonne (pointer chaque dessin de la colonne) celui qui est identique au modèle. Il faut entourer le bon dessin.* »

Cotation : Nombre d'items corrects et temps de passation en secondes.

2.3.2.2. Figures enchevêtrées de la BEVPS (Schmetz, Rousselle, Ballaz, Detraux, & Barisnikov, 2017).

Processus évalué : Capacités visuo-perceptives, distinction figure-fond

Matériel : 12 items composés de 2 à 4 dessins enchevêtrés. Les items sont présentés selon un ordre de complexité croissante. Cette tâche est présentée sur le logiciel « opensesame ».

Procédure : Lors de la présentation de chaque item, il est demandé à l'enfant d'énoncer les dessins qu'il voit.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Tu vas voir apparaître des dessins emmêlés les uns aux autres au milieu de l'écran. Tu dois me donner le nom des différents dessins que tu vois. Si tu trouves que c'est trop compliqué, tu peux dire que tu ne sais pas. Au début, c'est difficile et cela va devenir de plus en plus facile. Prends bien le temps de regarder tous les dessins* »

Cotation : Nombres de réponses correctes avec un score maximal de 36.

2.3.2.3. Localisation de la BEVPS (Schmetz, & al., 2017).

Processus évalué : Localisation spatiale des éléments les uns par rapport aux autres.

Matériel : 40 items composés d'une figure cible et de trois propositions. Chaque item cible est une grille de 6X6 ou 7X7 dont seul le cadre est visible, comprenant 2 ou 3 carrés rouges. Les propositions distractrices présentent soit le même pattern mais à une localisation différente, soit un pattern différent à la même place. Cette tâche est présentée sur le logiciel « opensesame ».

Procédure : Pour chaque item, l'enfant doit retrouver parmi les propositions, celle qui est identique à la figure cible. Il répond seul sur le clavier d'ordinateur.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Tu vas voir apparaître en haut, un grand carré avec des petits carrés rouges dedans. En bas, tu vas voir trois grands carrés avec des petits carrés rouges. Tu vas devoir appuyer du côté du carré dans lequel les carrés rouges sont placés exactement au même endroit que dans le modèle du dessus* »

Cotation : Nombre de réponses correctes et médiane des temps de réponses.

2.3.2.4. *Rotation mentale (BEVPS, Schmetz, non publiée).*

Processus évalué : Rotation mentale

Matériel : 33 items composés d'un dessin cible et de trois propositions. Les propositions distractrices ont été réalisées en copiant l'item cible par symétrie orthogonale d'axe x et d'axe y. La tâche tourne sur « opensésame ».

Procédure : Pour chaque item, l'enfant doit retrouver parmi les propositions, celle qui est identique à la figure cible lorsqu'il la fait tourner dans sa tête. Il répond seul sur le clavier d'ordinateur

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Pour chaque exercice, tu vas voir apparaître un dessin en haut de l'écran et trois en bas de l'écran. Tu dois appuyer sur la touche qui correspond au dessin du haut de l'écran quand il est tourné dans un autre sens. Tu dois faire tourner les images dans ta tête pour pouvoir trouver laquelle a été tournée* »

Cotation : Nombre de réponses correctes et médiane des temps de réponses.

2.3.2.5. *Cubes de la NEPSY-II (Korkman, Kirk, & Kemp, 2012).*

Processus évalué : capacités visuo-constructives

Matériel : 19 items composés d'un stimulus visuel en 3D ou en 2D consistant en une construction réalisée avec des cubes rouges ainsi que d'un maximum de 12 cubes rouges de 2,7 cm de côté fournis à l'enfant.

Procédure : Lors de chaque item, une construction cible est présentée à l'enfant sur un support vertical. Il doit ensuite la reproduire le plus rapidement et le plus exactement possible en 3 dimensions sur la table devant lui. Le stimulus reste visible et seul le nombre exact de cubes lui est donné.

Critères de début ou d'arrêt : départ item 8 et arrêt après 4 échecs consécutifs. Un retour en arrière est exécuté si l'enfant ne réalise pas les deux premiers items de manière correcte.

Consigne : « *Mets tes cubes comme ceux-ci* »

Cotation : Nombre d'items corrects avec un score maximum de 28.

2.3.3. Evaluation attentionnelle

2.3.3.1. Déplacement du foyer attentionnel de la TAP.

Processus évalué : Déplacement du foyer attentionnel

Matériel : 100 items, 50 apparitions de la croix à gauche et 50 à droite. De plus, 80% des items sont congruents et 20% sont non-congruents. Cette tâche est présentée sur le logiciel « *opensesame* ».

Procédure : L'enfant doit maintenir son regard sur un point de fixation central et détecter le plus rapidement possible l'apparition d'une croix dans le champ gauche ou droit de l'écran. Les stimuli sont précédés d'une flèche apparaissant brièvement (100ms) au-dessus du point de fixation. La flèche indique le côté d'apparition de la croix dans 80% des essais.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *A gauche ou à droite d'un point de fixation central va apparaître une croix X. Votre tâche consistera à appuyer le plus rapidement possible sur la touche réponse dès son apparition. Avant chaque présentation de la croix, il apparaîtra au centre de l'écran une flèche vers la gauche ← ou vers la droite →. Cette flèche indiquera le côté d'apparition le plus probable de la croix. Pendant toute l'épreuve, maintenez votre regard sur le point de fixation central.* »

Cotation : Nombre de réponses correctes et médiane des temps de réaction. Les résultats sont distingués entre les items congruents et les non-congruents. Le résultat global est également relevé.

2.3.4. Evaluation mnésique

2.3.4.1. *Mémoire de travail visuo-spatiale simultanée (Attout, Noël & Rousselle, 2018).*

Processus évalué : Mémoire de travail visuo-spatiale simultanée

Matériel : 20 planches (4 X 5 ou 5 X 5) sur lesquelles sont représentés de 4 à 8 points noirs. 10 planches présentent un pattern de points structurés et 10 planches proposent un pattern non structuré. Une planche vierge ainsi que le nombre de jetons correspondant aux points de l’item sont donnés à l’enfant.

Procédure : Les 20 items sont classés par ordre de difficulté croissante inter-niveaux (de 4 à 8 points) et intra-niveaux (non-structurés puis structurés). La planche cible est présentée 5 sec à l’enfant. Une fois cachée, l’enfant doit remettre les jetons au même endroit que les points noirs de la planche cible.

Critères de début ou d’arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Je vais te montrer une grille avec des points pendant quelques secondes et après, quand je l’aurais cachée, tu devras replacer des jetons dans les mêmes cases* ».

Cotation : Scores « item » total, items structurés et non structurés. L’information « item » correspond au nombre de points placés aux bons endroits pour chaque planche.

2.3.4.2. *Mémoire de travail visuo-spatiale séquentielle (Attout, Noël & Rousselle, 2018).*

Processus évalué : Mémoire de travail visuo-spatiale séquentielle

Matériel : 20 séquences de 4 à 8 éléments pointées sur une planche 4 X 5 ou 5 X 5. 10 séquences sont structurées et 10 ne le sont pas. La planche vierge sur laquelle est effectuée la séquence est positionnée devant l’enfant. Il reçoit également le nombre de jetons correspondant au nombre d’éléments composant la séquence.

Cette épreuve est basée sur le même matériel que la tâche de mémoire de travail visuo-spatiale simultanée, c'est-à-dire que les mêmes stimuli sont administrés mais selon un mode de présentation différent.

Procédure : Les 20 items sont classés par ordre de difficulté croissante inter-niveaux (de 4 à 8 éléments) et intra-niveaux (non-structurés puis structurés). L'expérimentateur touche une case par seconde. A la fin de la série, l'enfant doit replacer les jetons aux mêmes endroits et dans le même ordre que présentés.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Tu vois cette grille, je vais toucher des cases et quand j'aurais fini, tu devras mettre des jetons dans les cases que j'ai touchées, dans le même ordre que moi. Par exemple, si je touche cette case-là et celle-là, où vas-tu mettre les jetons ?* »

Cotation : Scores « item » et « ordre » total, items structurés et non structurés. L'information « item » correspond au nombre de points placés aux bons endroits pour chaque planche indépendamment de leurs positions dans la séquence. L'information « ordre » reprend quant à elle, le nombre de points placés aux bons endroits et à la bonne position dans la séquence.

2.3.4.3. Mémoire à long terme visuo-spatiale (Annexe 1)

Processus évalué : Encodage sériel en mémoire à long terme visuo-spatiale séquentielle

Matériel : 12 séquences de 8 éléments pointés sur une planche 5 X 5. Une séquence cible revient un item sur 2, les autres séquences sont des distracteurs (aménagement du paradigme de Hebb). La planche vierge sur laquelle est effectuée la séquence est positionnée devant l'enfant. Il reçoit également 8 jetons, correspondant au nombre d'éléments composant la séquence. Deux versions de ce test ont été créées et contrebalancées au sein de l'échantillon. Les séquences cibles proviennent de l'épreuve de mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle.

Procédure : L'expérimentateur touche une case par seconde. A la fin de la série, l'enfant doit replacer les jetons aux mêmes endroits et dans l'ordre de présentation.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Tu vois cette grille, je vais toucher des cases et quand j'aurais fini, tu devras mettre des jetons dans les cases que j'ai touchées, dans le même ordre que moi. Par exemple, si je touche cette case-là et celle-là, où vas-tu mettre les jetons ?* »

Cotation : Score global, « item » et « ordre » aux items « Hebb » ainsi que lors des séquences distractrices. Une pente d'apprentissage a également été calculée pour les séquences « Hebb » et distractrices. Elle a été calculée sur les scores « ordre » de chaque séquence. L'information « item » correspond au nombre de points placés aux bons endroits pour chaque planche indépendamment de leur position dans la séquence. L'information « ordre » reprend, quant à elle, le nombre de points placés aux bons endroits et à la bonne position dans la séquence.

2.3.5. Evaluation des compétences numériques.

2.3.5.1. Fluences mathématiques (Rousselle, Dembour & Noël, 2013).

Processus évalué : Opérations arithmétiques: additions, soustractions et multiplications.

Matériel : 3 feuilles composées de 81 calculs répartis en 3 colonnes de 27 (additions, soustractions ou multiplications).

Procédure : L'enfant dispose de 90 secondes pour réaliser dans l'ordre le plus de calculs possible.

Critères de début ou d'arrêt : Arrêt après 90 secondes.

Consigne : « *Tu vois, sur cette feuille il y a plein d'additions (soustractions, multiplications). Je vais te demander d'en faire le plus possible pendant 1 min 30.* »

Tu n'arriveras pas à toutes les faire, mais tu dois essayer de faire de ton mieux et d'en réaliser le plus possible. Tu dois essayer de ne pas en passer et si tu arrives au bout de la colonne, tu continues sur la suivante jusqu'à ce que je te dise « stop » »

Cotation : 1 point par réponse correcte. Le nombre d'erreurs est également pris en compte.

2.3.5.2. Estimation numérique.

Processus évalué : Représentation numérique, représentation de la ligne numérique mentale, capacités visuo-spatiales et intégration visuo-motrice.

Matériel : 10 lignes de 0 à 100 et 10 lignes de 0 à 1000 où seules les bornes extérieures sont indiquées.

Procédure : L'enfant ne voit qu'une seule ligne à la fois en commençant par celles de 0 à 100. Il lui est demandé de placer le mieux possible un nombre sur cette ligne. Pour les lignes de 0 à 100 les nombres sont : 2 – 3 – 4 – 6 – 18 – 25 – 42 – 67 – 71 – 86. Pour les lignes de 0 à 1000 les nombres sont : 4 – 6 – 18 – 25 – 71 – 86 – 230 – 390 – 780 – 810. Cette tâche se base sur celle de Siegler et Opfer (2003).

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : Partie 1 : *« Je vais te montrer une ligne de 0 à 100 et je vais te demander de placer le mieux possible le chiffre sur la ligne. Tu dois juste faire une barre là où tu penses que serait le chiffre sur la ligne de 0 à 100 »*

Partie 2 : *« Maintenant, c'est une ligne de 0 à 1000. De nouveau, je te demande de placer le mieux possible le nombre sur la ligne. Tu dois juste faire une barre là où tu penses que serait le chiffre sur la ligne de 0 à 1000. »*

Cotation : Mesure de l'écart entre la réponse donnée et la réponse attendue en millimètres. Ensuite diverses cotations sont réalisées : nombres d'écarts positifs (vers la droite) et négatifs (vers la gauche) et médiane des valeurs absolues des écarts. Les résultats sont distingués pour les lignes de 0 à 100 et celles de 0 à 1000.

2.3.6. Evaluation de l'efficacité intellectuelle.

2.3.6.1. Progressive Matrices de Raven Couleurs (PM47) (Raven, Court, & Raven, 1998).

Processus évalué : Raisonnement fluide, non verbal, par analogie.

Matériel : 36 items colorés regroupés en 3 séries de 12 items

Procédure : Les items en ordre croissant de difficulté sont présentés les uns à la suite des autres à l'enfant sur un écran d'ordinateur (format power point ; mode diaporama). L'enfant indique le numéro de la réponse choisie à voix haute ou indique le dessin choisi à l'aide de son doigt. Le début de chaque série est annoncé.

Critères de début ou d'arrêt : Administration de tous les items

Consigne : « *Tu vas voir un grand dessin où il manque une partie. Ici (montrer les possibilités), il y a plusieurs petites pièces mais une seule peut aller dans le grand dessin, A toi de la trouver. Donne-moi le numéro de la pièce qui va le mieux dans le grand dessin* »

Cotation : 1 point est accordé en cas de réponse correcte. Le score maximal est de 36.

2.3.6.2. EVIP : Epreuve de Vocabulaire en Images de Peabody (Dunn, Thériault-Whalen, & Dunn, 1993).

Processus évalué : Vocabulaire réceptif

Matériel : Version A de l'échelle ; 170 items en ordre croissant de difficulté. Chaque planche est composée de 4 dessins en noir et blanc présentés simultanément ainsi que d'un mot énoncé verbalement.

Procédure : Les items sont présentés les uns à la suite des autres à l'enfant sur un écran d'ordinateur (format power point ; mode diaporama). En plus de l'apparition des dessins, le mot cible est émis par l'ordinateur. L'enfant indique le numéro de la réponse choisie à voix haute ou indique le dessin choisi à l'aide de son doigt. Le mot peut être répété autant de fois que demandé par l'enfant.

Critères de début ou d'arrêt : Départ item 65 et arrêt après 6 échecs sur une série de 8. Un retour en arrière est exécuté si aucune série de 8 bonnes réponses consécutives n'a été réalisée avant d'arriver au critère d'arrêt.

Consigne : *« Je vais à chaque fois te montrer quatre images et te dire un mot. Quand tu auras entendu le mot, tu me montreras l'image qui va avec ce mot. Il y a toujours une seule image qui va avec le mot que je te dis. »*

Cotation : La série de 8 bonnes réponses d'affilée la plus élevée constitue la « base » et la série la plus basse comprenant 6 erreurs sur 8 items constitue le « plafond ». Les erreurs comprises entre l'item de base et l'item plafond sont ensuite soustraites à l'item plafond.

Résultats :

1. Statistiques utilisées :

Nous avons réalisé la totalité des statistiques sur le programme « Statistica ». Pour commencer, une analyse de la normalité a été réalisée avec le test de Shapiro-Wilk. Ce test permet de voir si les performances de notre échantillon respectent la distribution normale de la population. De plus, il est adapté aux échantillons de moins de 50 sujets. L'hypothèse de normalité sera rejetée si la probabilité de dépassement est inférieure à 5%, $p < .05$.

Les résultats sont détaillés dans le tableau 1, où l'on remarque qu'un tiers des mesures violent la loi de la normalité. Cela s'explique par différents facteurs : premièrement, nous nous trouvons dans un contexte de population pathologique, on s'attend donc logiquement à ce que la distribution des scores des enfants dyscalculiques ne corresponde pas à la courbe des scores d'enfants tout-venants. Ensuite, certaines échelles présentent des effets plafond ou plancher et ce principalement lors de scores de réussite ou d'erreur.

En ce qui concerne les tests statistiques que nous allons utiliser, un test t de Student pour échantillons appariés sera réalisé pour chaque variable. Un test de Wilcoxon pour échantillons appariés sera également effectué pour les variables ne respectant pas la normalité de manière à comparer les résultats et tirer les conclusions les plus pertinentes possibles. Un tableau reprenant les valeurs aux différents tests de Wilcoxon sera repris dans les annexes (cf. Annexe 2). Au sein de la partie résultats, nous ne développerons les résultats aux tests de Wilcoxon seulement dans le cas où ceux-ci diffèreraient des résultats aux tests t de Student pour échantillons appariés. Dans chaque cas, l'hypothèse d'égalité des groupes sera rejetée si la probabilité de dépassement est inférieure à 5%, $p < .05$.

Nous clôturerons la partie résultats par une analyse des corrélations entre diverses variables.

Tableau 1: Test de normalité Shapiro-Wilk en fonction du groupe.

Variables	Groupe Dyscalculie (n=16)		Groupe Contrôle (n=16)	
	W	p	W	p
Questionnaire Moyenne	0,9443	.4048	0,8369	.0088**
EVIP	0,9541	.5575	0,9350	.2923
RAVEN	0,9760	.9238	0,9198	.1673
Additions correctes	0,9437	.3964	0,9201	.1695
Additions erreurs	0,8289	.0068**	0,5895	.0000**
Soustractions correctes	0,9002	.0808	0,9587	.6387
Soustractions erreurs	0,6073	.0000**	0,6483	.0000**
Multiplications correctes	0,9122	.1263	0,8916	.0590
Multiplications erreurs	0,4035	.0000**	0,7862	.0018**
EN Valeur absolue 0-100	0,8761	.0338*	0,8074	.0034**
EN Total Surestimation 0-100	0,8264	.0062**	0,9270	.2187
EN Total Sous-estimation 0-100	0,8264	.0062**	0,9168	.1497
EN Valeur absolue 0-1000	0,8806	.0396*	0,7917	.0021**
EN Total Surestimation 0-1000	0,5435	.0000**	0,8181	.0048**
EN Total Sous-estimation 0-1000	0,5435	.0000**	0,8009	.0028**
MCT VS séquentielle Item structuré	0,9190	.1625	0,9380	.3254
MCT VS séquentielle Item non- structuré	0,9427	.3841	0,9532	.5413
MCT VS séquentielle Item Total	0,9694	.8294	0,9339	.2813
MCT VS séquentielle Ordre structuré	0,9393	.3405	0,9381	.3266
MCT VS séquentielle Ordre non- structuré	0,9222	.1832	0,9271	.2189
MCT VS séquentielle Ordre Total	0,9483	.4627	0,9505	.4973
MCT VS simultanée Item structuré	0,9370	.3135	0,9088	.1111
MCT VS simultanée Item non- structuré	0,9493	.4784	0,9588	.6392
MCT VS simultanée Item Total	0,9742	.9009	0,9492	.4778
HEBB Total	0,4139	.0000**	0,7548	.0007**
HEBB Item	0,9397	.3456	0,9427	.3829
HEBB Ordre	0,9493	.4791	0,9316	.2587
HEBB apprentissage	0,9489	.4725	0,9333	.2752
MCT Total	0,2727	.0000**	/	.0000**
MCT Item	0,8897	.0551	0,9522	.5246
MCT Ordre	0,9001	.0805	0,9464	.4347
MCT apprentissage	0,9346	.2883	0,7751	.0013**
Figures enchevêtrées	0,8770	.0348*	0,9373	.3170
Visual perceptual subtest Total	0,8695	.0267*	0,9373	.3171
Visual perceptual subtest Temps	0,9025	.0880	0,9368	.3122
Localisation Total	0,9368	.3112	0,9693	.8274
Localisation Temps	0,9510	.5059	0,9690	.8220
Rotation Total	0,9386	.3322	0,8830	.0432*
Rotation Temps	0,8427	.0107*	0,8002	.0027**
Cubes Total	0,9416	.3686	0,9040	.0931
Attention Total Correctes	0,6674	.0001**	0,6470	.0000**
Attention Total Temps	0,9440	.4358	0,9043	.0941
Attention Congruent Correctes	0,6034	.0000**	0,3985	.0000**
Attention Congruent Temps	0,9426	.4156	0,9098	.1153
Attention Non-congruent Correctes	0,6313	.0001**	0,5057	.0000**
Attention Non-congruent Temps	0,9325	.2972	0,9471	.4446

EN : Estimation numérique ; MCT VS: mémoire à court terme visuo-spatiale ; W : Statistique de Normalité de Shapiro-Wilk ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. ** p < .01

2. Mesure hétéro-rapportée :

Le questionnaire visuo-spatial permet d'étudier les observations des parents sur leur enfant quant aux habiletés spatiales. L'analyse des résultats ne montre pas de différence significative entre les deux groupes, $t=1.897643$, $p=.077$, $\eta^2= 0.19$ (cf. Tableau 2). Remarquons que la probabilité de dépassement est marginale. Une analyse qualitative a également été réalisée, soulignant les items les plus discriminants. Quatre items ont ainsi été relevés comme ayant un plus haut score chez les enfants dyscalculiques :

- Item 8 : « Réalise des constructions comme les autres enfants de son âge (par exemple, jeux de cubes) ».
- Item 16 : « Interprète mal la trajectoire ou la localisation d'une balle dans l'espace (par exemple, frappe à côté de la balle). »
- Item 18 : « A des difficultés dans les activités de dessins, cubes ou puzzles (par exemple, dessin incomplet, désorganisé, relations erronées entre les éléments). »
- Item 21 : « Peut colorier un dessin sans dépasser ».

Tableau 2 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) basées sur le questionnaire visuo-spatial.

Test T pour échantillons appariés (n = 16)							
Variable	Groupe	Moyenne	Ecart-type	T	dl	η^2	P
Moyenne Questionnaire	Dyscalculie	1.5058	0.357	1,897643	15	0.19	.077
	Contrôle	1.2759	0.223				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %)

3. Evaluation du raisonnement verbal et non-verbal :

En accord avec nos hypothèses, nous nous attendons à une absence d'effet significatif pour l'EVIP et une différence inter-groupes pour le RAVEN.

A l'épreuve de raisonnement non verbal (RAVEN), le test t pour échantillons appariés, effectué sur les scores totaux bruts, met en évidence un effet significatif, (cf.

Tableau 3), le groupe « Dyscalculie » commettant globalement plus d'erreurs que le groupe contrôle, $\eta^2=0.31$. Cette différence significative permet d'infirmer l'hypothèse d'égalité entre groupes. Ce constat est concordant avec nos hypothèses qui stipulaient qu'au vu de l'influence des habiletés visuo-spatiales sur la réussite des matrices progressives colorées de Raven, il était probable que le groupe dyscalculique soit moins performant que le groupe contrôle.

Ce résultat se retrouve également à l'épreuve de raisonnement verbal (EVIP), le test t pour échantillons appariés, effectué sur les scores totaux bruts, met en évidence un effet significatif, $\eta^2=0.45$ (cf. Tableau 3). Cela a pour conséquence d'infirmer l'hypothèse d'absence de différence entre groupes. Cette conclusion va à l'encontre de notre hypothèse d'égalité des performances à un niveau verbal. Une analyse des notes standards à l'EVIP indique cependant que le groupe dyscalculie présente une moyenne dans la norme (103 ± 10) de même que le groupe contrôle (120 ± 10). L'impact de cet effet sur l'interprétation des résultats sera analysé dans la partie discussion de ce travail.

Tableau 3: Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) des épreuves d'EVIP et des Matrices de RAVEN.

Variables	Groupe	Moyenne	Test T pour échantillons appariés (n=16)				
			Ecart-type	t	Dl	η^2	P
RAVEN	Dyscalculie	26	4.195	-2,6087	15	0.31	.02*
	Contrôle	29.5	4.147				
EVIP	Dyscalculie	110.0625	22.243	-3,4963	15	0.45	.003**
	Contrôle	129.50	9.737				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

4. Evaluation des compétences visuo-spatiales

En ce qui concerne les habiletés visuo-spatiales au sens large, nous nous attendons à une différence significative au niveau visuo-spatial et visuo-constructif mais pas au niveau visuo-perceptif seul.

Au niveau visuo-perceptif, le test t pour échantillons appariés opéré sur les figures enchevêtrées ne relève pas de différence entre les deux groupes (cf. Tableau 4). De plus, les performances au visual perceptual subtest montrent une différence au niveau du nombre total de réponses correctes lors de l'utilisation d'un test t de Student pour

échantillons appariés, $t = -2,369$, $p < .05$, mais cette différence s'annule lors de la réalisation d'un test de Wilcoxon pour échantillons appariés, $T = 21.5$, $p = .054$, au vu de l'anormalité de la variable (cf. Tableau 4). L'analyse du temps de passation de ce test est également non significative.

Au niveau visuo-spatial, un test t pour échantillons appariés, effectué sur le nombre de réponses correctes et la médiane des temps de réaction pour la tâche de localisation, souligne une différence significative entre les deux groupes, en termes de réponses correctes, $t = 2,534$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.3$, et de temps, $t = -2,511$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.3$. Les tests montrent également une différence significative lors de la tâche de rotation mentale et ce, pour le nombre de réponses correctes, $t = -2,949$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.37$, et le temps, $t = -2,369$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.27$ (cf. Tableau 4). L'analyse du pattern de résultats montre que les enfants dyscalculiques sont plus rapides et réalisent plus d'erreurs pour les deux tâches visuo-spatiales.

Au niveau visuo-constructif, le test t pour échantillons appariés opéré sur la tâche des « cubes » relève une différence significative entre les deux groupes, $t = -2,476$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.3$, (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) des épreuves visuo-spatiales.

Variables	Groupe	Test T pour échantillons appariés (n=16)					
		Moyenne	Ecart-type	T	dl	η^2	P
Figures enchevêtrée	Dyscalculie	32,8125	3,2294	-0,574	15	0.02	.574
	Contrôle	33,3125	1,8154				
Visual perceptual subtest Total	Dyscalculie	23,9375	2,5421	-2,369	15	0.27	.032*
	Contrôle	25,6875	1,9225				
Visual perceptual subtest Temps	Dyscalculie	133,5625	39,7525	-1,727	15	0.17	.105
	Contrôle	153,5625	33,6749				
Localisation Total	Dyscalculie	27,8750	6,5409	-2,534	15	0.3	.023*
	Contrôle	32,0000	4,4721				
Localisation Temps	Dyscalculie	5461,4063	1975,2543	-2,511	15	0.3	.024*
	Contrôle	7095,1875	1735,6723				
Rotation Total	Dyscalculie	18,1875	4,1987	-2,949	15	0.37	.009*
	Contrôle	23,0625	5,3100				
Rotation Temps	Dyscalculie	6970,2500	2152,9993	-2,369	15	0.27	.032*
	Contrôle	9226,8750	2950,6247				
Cubes Total	Dyscalculie	15,3750	3,5754	-2,476	15	0.3	.026*
	Contrôle	18,0000	2,3381				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * $p < .05$. / ** $p < .01$

5. Evaluation des compétences attentionnelles

Pour évaluer les performances au niveau de l'attention visuo-spatiale, un test t pour échantillons appariés a été effectué sur les médianes des temps de réaction de l'épreuve de déplacement du foyer attentionnel. Celui-ci montre une différence non significative pour les trois variables (cf. Tableau 5).

L'analyse du nombre de réponses correctes montre, également, une absence d'effet significatif pour les trois variables. L'examen des performances des participants indique que, quel que soit le groupe, les enfants réalisent de nombreuses réponses justes.

Tableau 5 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) de l'épreuve attentionnelle.

Test T pour échantillons appariés (n=15)							
Variables	Groupe	Moyenne	Ecart-type	T	dl	η^2	P
Attention Total Correctes	Dyscalculie	89,6000	0,6325	-0,924	14	0.06	.371
	Contrôle	89,9333	1,0328				
Attention Total Temps	Dyscalculie	506,5000	113,8513	0,876	14	0.05	.396
	Contrôle	480,6667	114,7856				
Attention Congruent Correctes	Dyscalculie	79,6667	0,4880	-1,382	14	0.12	.189
	Contrôle	79,8667	0,3519				
Attention Congruent Temps	Dyscalculie	488,7667	105,6383	0,861	14	0.05	.404
	Contrôle	464,0000	105,5739				
Attention Non-congruent Correctes	Dyscalculie	9,9333	0,4577	-0,435	14	0.01	.670
	Contrôle	10,0667	0,8837				
Attention Non-congruent Temps	Dyscalculie	567,3000	148,8027	0,182	14	0.00	.859
	Contrôle	560,9333	178,4798				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet, p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01

6. Evaluation des compétences mnésiques :

6.1 Résultats à l'épreuve de mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle et simultanée:

6.1.1 Comparaison inter-groupes.

En ce qui concerne la mémoire de travail visuo-spatiale séquentielle, nous émettons l'hypothèse d'une supériorité des enfants contrôles lors de toutes les tâches. Le test t pour échantillons appariés, effectué sur les scores bruts en « item » structuré, non-structuré et total soulignent une différence significative pour les « items » structurés, $t = -2,355$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.27$, et les « items » totaux, $t = -2,365$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.27$. Par contre, les groupes ne diffèrent pas au niveau des « items » non structurés (cf. Tableau 6). Cette distinction au niveau de l'arrangement de l'information est importante car elle permet de voir si les enfants s'aident de la structure pour améliorer leurs performances.

Un test t pour échantillons appariés, effectué sur les scores bruts en « ordre » structuré, non-structuré et total a également été réalisé. Celui-ci ne relève aucune différence entre les groupes contrairement à ce qui était attendu (cf. Tableau 6). Une analyse plus approfondie des résultats nous permet de remarquer que les écart-types des variables « ordre » sont élevés, indiquant que les différences interindividuelles au sein des groupes pourraient masquer les différences intergroupes. En outre, nous remarquons également que les probabilités de dépassement sont marginales (cf. Tableau 6) et semblent indiquer qu'avec un plus grand échantillon nous aurions pu mettre en avant des différences au niveau de la rétention de l'information « ordre ».

Les résultats du test t pour échantillons appariés pour la mémoire à court terme visuo-spatiale simultanée montrent une différence significative seulement au niveau des « items » structurés, $t = -2.933$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.36$. Les « items » non-structurés et les « items » totaux ne diffèrent pas entre les groupes (cf. Tableau 6). A nouveau, les écart-types de ces deux variables sont plus larges que ceux des « items » structurés et pourraient expliquer une absence de différence significative alors que la différence entre les moyennes est semblable dans les différents cas.

Tableau 6 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) de l'épreuve de mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle et simultanée.

Variables	Groupe	Test T pour échantillons appariés (n=16)					
		Moyenne	Ecart-type	t	dl	η^2	P
MCT VS séquentielle Item structuré	Dyscalculie	49,0000	6,2075	-2,355	15	0.27	.033*
	Contrôle	52,2500	4,2973				
MCT VS séquentielle Item non- structuré	Dyscalculie	37,6250	6,2915	-1,834	15	0.18	.087
	Contrôle	40,6875	5,6888				
MCT VS séquentielle Item Total	Dyscalculie	86,6250	10,8128	-2,365	15	0.27	.032*
	Contrôle	92,9375	8,9104				
MCT VS séquentielle Ordre structuré	Dyscalculie	36,1875	12,5816	-1,656	15	0.15	.118
	Contrôle	41,5625	10,0795				
MCT VS séquentielle Ordre non- structuré	Dyscalculie	23,7500	11,8856	-1,958	15	0.2	.069
	Contrôle	29,3750	9,0323				
MCT VS séquentielle Ordre Total	Dyscalculie	59,9375	22,9738	-1,990	15	0.21	.065
	Contrôle	70,9375	17,9721				
MCT VS simultanée Item structuré	Dyscalculie	50,3750	7,2099	-2,933	15	0.36	.010*
	Contrôle	54,0625	4,5235				
MCT VS simultanée Item non- structuré	Dyscalculie	36,1250	9,8919	-1,603	15	0.15	.130
	Contrôle	40,6875	6,8966				
MCT VS simultanée Item Total	Dyscalculie	87,5000	17,5347	-1,731	15	0.17	.104
	Contrôle	94,7500	10,2078				

MCT VS : mémoire à court terme visuo-spatiale ; t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

6.1.2 Comparaison intra-groupe.

De manière à analyser l'impact de la structure sur les performances des participants, nous avons réalisé un test t de Student pour échantillons appariés entre les performances aux « items » structurés et non-structurés et ce, pour le groupe dyscalculie et pour le groupe contrôle. Cette évaluation a été réalisée pour les informations « ordre » et « item » en mémoire à court terme visuo-spatiale séquentielle et pour les données « item » en mémoire à court terme visuo-spatiale simultanée (cf. Tableau 1, Annexe 3). Les résultats indiquent une différence significative dans tous les cas et ce, dans les deux groupes (cf. Figure 1).

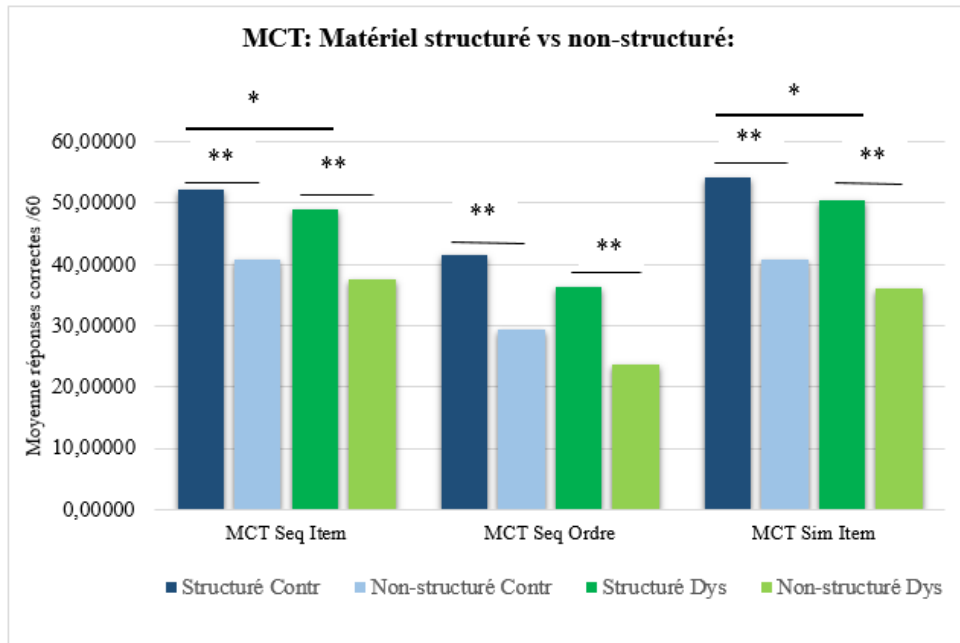


Figure 1: Impact de l'organisation du matériel (structuré vs non-structuré) sur les performances en mémoire à court terme chez les enfants contrôles et dyscalculiques. MCT: mémoire à court terme; Seq : séquentielle ; Sim : simultanée ; * $p < .05$. / ** $p < .01$

6.2 Résultats à l'épreuve de mémoire à long terme visuo-spatiale :

Une autre hypothèse avancée est que les enfants dyscalculiques éprouveraient plus de difficultés que les enfants contrôles à apprendre une séquence visuo-spatiale. Nous nous attendons donc à une supériorité du groupe contrôle pour les variables HEBB. Les test t pour échantillons appariés, réalisé sur les données totales, « item », « ordre » et la courbe d'apprentissage des séquences HEBB, relèvent des différences significatives au niveau de toutes les variables (cf. Tableau 7). Par contre, au niveau de la mémoire à court terme, les groupes ne diffèrent à aucune des variables. Ces résultats sont partiellement en accord avec nos hypothèses. En effet, nous nous attendions à une différence entre les groupes au niveau de toutes les variables de mémoire à court terme, excepté en ce qui concerne la courbe d'apprentissage.

La figure 2 illustre les variables d'apprentissage. Nous remarquons un apprentissage plus important chez les enfants contrôles comparativement aux enfants dyscalculiques lors des séquences s'inspirant du paradigme de HEBB.

Tableau 7 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) de l'épreuve de mémoire à long terme visuo-spatiale

Test T pour échantillons appariés (n=16)							
Variabiles	Groupe	Moyenne	Ecart-type	t	dl	η^2	p
HEBB Total	Dyscalculie	0,3125	0,8732	-2,335	15	0.27	.034*
	Contrôle	1,3125	1,7783				
HEBB Item	Dyscalculie	31,1875	6,7943	-2,227	15	0.25	.042*
	Contrôle	35,3125	8,2277				
HEBB Ordre	Dyscalculie	17,4375	11,5987	-3,642	15	0.47	.002**
	Contrôle	29,6875	10,3197				
HEBB apprentissage	Dyscalculie	0,1286	0,5074	-3,111	15	0.39	.007**
	Contrôle	0,4982	0,4129				
MCT Total	Dyscalculie	0,0625	0,2500	1,000	15	0.06	.333
	Contrôle	0,0000	0,0000				
MCT Item	Dyscalculie	24,3125	4,5712	-1,449	15	0.12	.168
	Contrôle	25,9375	4,5383				
MCT Ordre	Dyscalculie	8,4375	6,5419	-1,918	15	0.2	.074
	Contrôle	11,3750	5,3898				
MCT apprentissage	Dyscalculie	-0,2661	0,3179	0,238	15	0.00	.815
	Contrôle	-0,3149	0,6983				

MCT : mémoire à court terme ; t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01

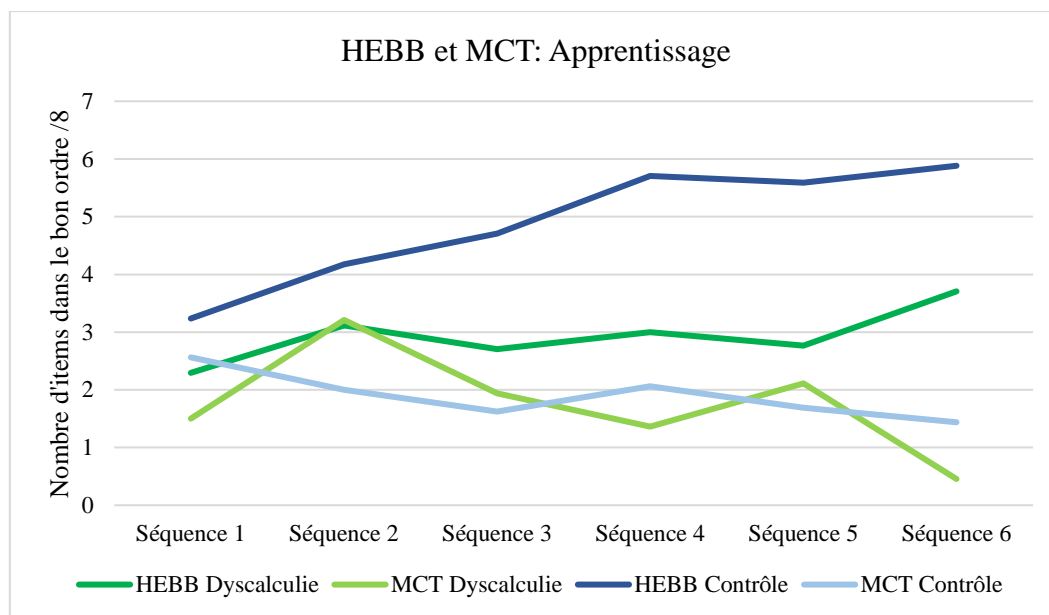


Figure 2 : Courbes de comparaison sur les variables d'apprentissage en HEBB et MCT. Nombres de points placés aux bons endroits, dans le bon ordre pour chacune des huit séquences «Hebb » ou « MCT ». MCT = Mémoire à court terme

7. Evaluation des compétences

mathématiques :

7.1 Résultats à l'épreuve des fluences mathématiques :

Pour confirmer la distinction entre nos groupes, nous nous attendons à ce que le groupe dyscalculique présente de plus faibles performances au niveau des fluences mathématiques. Le test t pour échantillons appariés (cf. Tableau 8), effectué sur les scores de réponses correctes, montre une différence non significative pour les additions. Cependant, un effet significatif est révélé au niveau des soustractions, $t = -4.961$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.62$, et des multiplications, $t = -3.240$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.41$. Ces résultats permettent donc de déclarer que nos groupes sont bien distincts au niveau des compétences numériques.

L'analyse des erreurs montre une absence d'effet significatif pour les trois opérations arithmétiques (cf. Tableau 8) selon un test t pour échantillons appariés. L'examen des performances des participants indique que, quel que soit le groupe, les enfants réalisent très peu d'erreurs.

Tableau 8 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) de l'épreuve de fluences mathématiques.

Variables	Groupe	Test T pour échantillons appariés (n=16)					
		Moyenne	Ecart-type	t	dl	η^2	P
Additions correctes	Dyscalculie	17,5000	10,4563	-1,782	15	0.17	.095
	Contrôle	22,2500	10,5862				
Additions erreurs	Dyscalculie	1,1250	1,1475	0,735	15	0.03	.474
	Contrôle	0,8125	1,5586				
Soustractions correctes	Dyscalculie	11,7500	6,9234	-4,961	15	0.62	.0001*
	Contrôle	21,6875	7,9559				
Soustractions erreurs	Dyscalculie	1,5625	2,8745	1,541	15	0.14	.144
	Contrôle	0,3750	0,6191				
Multiplications correctes	Dyscalculie	12,9375	10,6299	-3,240	15	0.41	.005*
	Contrôle	18,7500	10,6427				
Multiplications erreurs	Dyscalculie	2,6875	6,2899	1,222	15	0.09	.240
	Contrôle	0,7500	0,9309				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * $p < .05$. / ** $p < .01$;

7.2 Résultats à l'épreuve d'estimation numérique :

7.2.1 Comparaison inter-groupes.

Lors de la tâche d'estimation numérique, diverses données ont été relevées : la médiane des valeurs absolues des écarts et le côté vers lequel ces écarts se dirigeaient majoritairement et ce, pour les lignes de 0 à 100 et pour celles de 0 à 1000.

En ce qui concerne les écarts, le test t pour échantillons appariés met en évidence une différence significative pour les lignes de 0 à 100, $t=2.695$, $p<.05$, $\eta^2=0.33$, et celles de 0 à 1000, $t=2.898$, $p<.05$, $\eta^2=0.36$ (cf. Tableau 9). Les enfants du groupe contrôle sont plus précis que ceux du groupe expérimental.

Au niveau du sens de l'écart, l'observation des totaux souligne une tendance globale vers la droite, cependant les tests t de Student pour échantillons appariés ne mettent en évidence une différence significative que pour les lignes de 0 à 1000. Les enfants dyscalculiques présentent une plus forte tendance à surestimer, $t=2.597$ $p<.05$, $\eta^2=0.31$, et donc une moins grande tendance à sous-estimer un nombre sur la ligne numérique, $t=-2.412$, $p<.05$, $\eta^2=0.28$ (cf. Tableau 9). Ces résultats sont concordants avec nos hypothèses. En effet, nous nous attendions à ce que les enfants dyscalculiques soient moins précis que les contrôles avec une tendance à la surestimation du nombre et donc une déviation du trait vers la droite.

Tableau 9 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) de l'épreuve d'estimation numérique.

Variables	Groupe	Test T pour échantillons appariés (n=16)					
		Moyenne	Ecart-type	t	dl	η^2	p
Valeur absolue 0-100	Dyscalculie	26,2500	18,7083	2,695	15	0.33	.017*
	Contrôle	13,1563	10,7047				
Total Surestimation 0-100	Dyscalculie	7,3750	2,9183	1,983	15	0.21	.066
	Contrôle	5,5625	2,9205				
Total Sous-estimation 0-100	Dyscalculie	2,6250	2,9183	-1,556	15	0.14	.141
	Contrôle	4,2500	3,1091				
Valeur absolue 0-1000	Dyscalculie	64,0938	39,1838	2,898	15	0.36	.011*
	Contrôle	32,3125	28,9804				
Total Surestimation 0-1000	Dyscalculie	9,3750	1,3601	2,597	15	0.31	.020*
	Contrôle	7,6250	2,3058				
Total Sous-estimation 0-1000	Dyscalculie	0,6250	1,3601	-2,412	15	0.28	.029*
	Contrôle	2,3125	2,3013				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * $p < .05$. / ** $p < .01$

7.2.2 Comparaison intra-groupe.

Comme stipulé dans nos hypothèses, nous nous attendons à ce que tous les enfants présentent davantage de difficultés sur les lignes de 0 à 1000 comparativement à celles de 0 à 100. De manière à tester cette hypothèse, un test t de Student pour échantillons appariés a été réalisé sur les médianes des valeurs absolues des écarts et ce pour chaque groupe (cf. Tableau 10). Les résultats indiquent une différence significative entre les lignes de 0-100 et de 0-1000 et ce dans les deux groupes. Ces résultats sont concordants avec nos hypothèses et indiquent que plus le cadre de référence est grand, plus les enfants ont une représentation logarithmique de la ligne numérique mentale.

Tableau 10 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) des variables de valeur absolue de l'épreuve d'estimation numérique. Comparaison intra-groupe.

Groupe	Variables	Test T pour échantillons appariés (n=16)					
		Moyenne	Ecart-type	T	DI	η^2	P
Dyscalculie	Valeur absolue 0-100	26,25000	18,70829	-3,57127	15	0.46	.003**
	Valeur absolue 0-1000	64,09375	39,18385				
Contrôle	Valeur absolue 0-100	26,25000	18,70829	-5,25243	15	0.65	.0001**
	Valeur absolue 0-1000	64,09375	39,18385				

t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01

8. Corrélations

Diverses corrélations ont été réalisées dans le but d'améliorer les connaissances sur le lien entre capacités mathématiques et compétences attentionnelles ainsi que sur le rapport entre capacités numériques et habiletés visuo-spatiales. Les corrélations sont réalisées sur l'ensemble de l'échantillon (N=32). En effet, nous considérons que les enfants dyscalculiques et les enfants contrôles font partie d'un même continuum.

8.1 Fluences mathématiques et compétences attentionnelles :

Les additions et soustractions entraînant un déplacement le long de la ligne numérique mentale, nous avons analysé la corrélation entre ces opérations arithmétiques et la tâche de déplacement du foyer attentionnel de la TAP.

Les variables de « réponses correctes » ne distinguant pas les enfants, seules les variables de temps sont utilisées.

L'étude des résultats (cf. Tableau 11) est semblable pour les additions et les soustractions, et ce, quelle que soit la variable attentionnelle. Le coefficient de corrélation de Pearson indique que les additions et les soustractions corrént négativement avec toutes les variables attentionnelles. Cela signifie que plus un enfant est lent lors de la tâche attentionnelle, moins bons seront ses résultats au niveau des additions et des soustractions.

Le lien entre additions et soustractions et la tâche d'estimation numérique a également été analysés (cf. Tableau 12). Le coefficient de corrélation de Pearson indique que les soustractions corrént avec toutes les variables d'estimation numérique. Les additions corrént quant à elles avec toutes les variables de 0 à 100 ainsi qu'avec les valeurs absolues de 0 à 1000. Par contre, nous remarquons que lorsque nous contrôlons l'impact des variables attentionnelles (cf. Tableau 2, Annexe 3), seuls les coefficients de corrélation de Pearson entre les soustractions et les variables d'estimation numérique de 0 à 1000 restent significatifs.

Tableau 11 : Corrélation de Pearson (N=31) entre la tâche fluences mathématiques et la tâche attentionnelle.

	Additions Correctes	Soustractions Correctes
Attention Non-congruent Temps	-,5933 p=,000**	-,5022 p=,004*
Attention Congruent Temps	-,6493 p=,000**	-,5791 p=,001*
Attention Total	-,6538 p=,000**	-,5724 p=,001*

p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

Tableau 12 : Corrélation de Pearson (N=32) entre la tâche fluences mathématiques et la tâche d'estimation numérique sans contrôle des variables attentionnelles.

	EN Valeur absolue 0-100	EN Total Surestimation 0-100	EN Total Sous-estimation 0-100	EN Valeur absolue 0-1000	EN Total Surestimation 0-1000	EN Total Sous-estimation 0-1000
Additions Correctes	-,3496 p=,050*	-,4329 p=,013*	,3911 p=,027*	-,4529 p=,009**	-,3354 p=,061	,3215 p=,073
Soustraction Correcte	-,5270 p=,002**	-,5114 p=,003**	,4505 p=,010*	-,6608 p=,000**	-,6047 p=,000**	,5842 p=,000**

EN : Estimation numérique ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

8.2 Estimations numériques et compétences attentionnelles ou habiletés visuo-spatiales :

La tâche d'estimation numérique étant multi-déterminée, nous avons regardé si elle corrélait avec les compétences de déplacement attentionnel et les habiletés visuo-spatiales.

Tout d'abord au niveau attentionnel (cf. Tableau 13), une première analyse générale indique la présence de corrélations significatives entre toutes les variables attentionnelles et d'estimations numériques, excepté pour le nombre de sous-estimation sur les lignes de 0-100. En ce qui concerne les variables de valeur absolue, les coefficients de corrélation de Pearson indiquent que plus l'individu est lent à la tâche attentionnelle, plus il aura tendance à s'écarter de la valeur cible attendue et ce, de façon identique pour les lignes de 0 à 100 et de 0 à 1000.

Au niveau de la direction de ces écarts, plus l'individu est lent à la tâche attentionnelle, plus il aura tendance à surestimer et moins à sous-estimer et donc à se déplacer vers la droite.

Ensuite, au niveau visuo-spatial (cf. Tableau 14), les coefficients de Pearson montrent principalement des corrélations négatives significatives entre les variables « valeur absolue » de l'estimation numérique et les figures enchevêtrées; le nombre total de réponses correctes à la tâche de localisation; et la tâche des cubes.

En ce qui concerne la direction des écarts, les coefficients de Pearson indiquent essentiellement, la présence de corrélations significatives entre le nombre total de réponses correctes à la tâche de localisation et le total de surestimation en 0-100 et 0-1000 ainsi qu'avec le total de sous-estimation en 0-100. Ce même résultat se retrouve lors de la tâche des cubes avec le total de surestimation en 0-100 et 0-1000 ainsi qu'avec le total de sous-estimation en 0-100 et 0-1000. Ces résultats soulignent que plus un enfant est performant aux tâches de localisation et des cubes, plus il aura tendance à se rapprocher de la valeur attendue avec une déviation majoritairement vers la gauche.

Par contre, nous remarquons que lorsque nous contrôlons l'impact des variables attentionnelles (cf. Tableau 3, Annexe 3), les coefficients de corrélation de Pearson entre les variables d'estimation numérique et la tâche de localisation perdent leur significativité.

Tableau 13 : Corrélation de Pearson (N=31) entre la tâche d'estimation numérique et la tâche attentionnelle.

	EN Valeur absolue 0-100	EN Total Surestimation 0-100	EN Total Sous-estimation 0-100	EN Valeur absolue 0-1000	EN Total Surestimation 0-1000	EN Total Sous-estimation 0-1000
Attention Non-congruent Temps	,3864 p=,032*	,3617 p=,046*	-,3297 p=,070	,3934 p=,029*	,3689 p=,041*	-,3596 p=,047*
Attention Congruent Temps	,5072 p=,004**	,3918 p=,029*	-,3503 p=,053	,4984 p=,004**	,4051 p=,024*	-,3916 p=,029*
Attention Total Temps	,4824 p=,006**	,3939 p=,028*	-,3518 p=,052	,4870 p=,005**	,4106 p=,022*	-,3969 p=,027*

EN : estimation numériques ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

Tableau 14 : Corrélation de Pearson (N=32) entre la tâche d'estimation numérique et les épreuves visuo-spatiales sans contrôle des variables attentionnelles.

	EN Valeur absolue 0-100	EN Total Surestimation 0-100	EN Total Sous-estimation 0-100	EN Valeur absolue 0-1000	EN Total Surestimation 0-1000	EN Total Sous-estimation 0-1000
Figures enchevêtrées	-,4491 p=,010*	-,3674 p=,039*	,3363 p=,060	-,4956 p=,004**	-,2294 NS	,2194 NS
Visual perceptual subtest Total	-,0982 NS	-,2561 p=,157	,2484 p=,170	-,2233 NS	-,3010 p=,094	,3022 p=,093
Visual perceptual subtest Temp	,2573 p=,155	,2366 p=,192	-,2213 NS	,0610 NS	-,1097 NS	,1158 NS
Localisation Total	-,3981 p=,024*	-,3738 p=,035*	,3178 p=,076	-,5072 p=,003**	-,4189 p=,017*	,3979 p=,024*
Localisation Temps	-,0144 NS	-,0113 NS	,0342 NS	-,0219 NS	-,1913 NS	,2044 NS
Rotation Total	-,2671 p=,139	-,1978 NS	,1620 NS	-,3845 p=,030	-,2321 NS	,2180 NS
Rotation Temps	-,2469 p=,173	-,1590 NS	,1764 NS	-,2715 p=,133	-,5087 p=,003	,5230 p=,002
Cubes Total	-,6466 p=,000**	-,5494 p=,001**	,5352 p=,002**	-,6225 p=,000**	-,4464 p=,010*	,4483 p=,010*

EN : estimation numériques ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

Discussion :

La présente étude aborde les habiletés visuo-spatiales chez des enfants présentant une dyscalculie. L'intérêt est d'affiner la connaissance de leur profil cognitif de façon à mieux comprendre ce trouble d'apprentissage et, à plus long terme, de proposer des prises en charge adéquates. Pour ce faire, diverses variables ont été étudiées, les compétences visuo-spatiales, les aptitudes attentionnelles, et les capacités au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale. Les habiletés numériques et les capacités en raisonnement verbal et non verbal ont également été relevées.

1. Distinction entre les groupes et mesures contrôles :

La tâche de fluences mathématiques permet de confirmer la distinction entre les groupes, même si les résultats ne sont pas significatifs au niveau des additions. Les soustractions et les multiplications faisant intervenir des procédures dissemblables, nous pouvons considérer que notre population d'enfants dyscalculiques présente des difficultés au niveau des procédures de résolution de calculs (soustractions) mais également au niveau de la rétention de faits arithmétiques (multiplications). De plus, l'analyse qualitative des performances souligne que de nombreux enfants dyscalculiques utilisent encore des stratégies de calculs immatures telles que le comptage sur les doigts et le counting ON.

Au niveau des variables de raisonnement verbal et non verbal, la différence significative aux matrices de RAVEN est concordante avec la littérature et avec les autres résultats qui seront détaillés dans la suite de cette discussion. En effet, les habiletés visuo-spatiales influencent la réussite à la tâche des matrices de Raven (Waschl, Nettelbeck, & Burns, 2017) ; celles-ci sont déficitaires chez les enfants du groupe dyscalculique. Ces enfants présentent donc davantage de difficultés à mettre en relation des éléments lorsque lesdites relations sont de nature spatiale.

Par contre, nous nous ne nous attendions pas à trouver de différence entre les groupes pour la tâche de raisonnement verbal. Le score à l'EVIP, devant nous assurer la similarité de nos groupes au niveau des compétences verbales, relève que ce n'est pas le cas. Cette distinction entre nos groupes constitue donc une limite à cette étude car elle nous indique que nos groupes ne sont pas seulement distincts sur le plan visuel mais également à un niveau verbal. Une vérification de l'impact de la présence d'une dyslexie a été réalisée en calculant un nouveau test t de Student pour échantillons appariés sur les paires de sujets ne comptant pas d'enfants présentant une dyslexie. Si l'écart entre les groupes se réduit, cela ne neutralise pas la différence entre les groupes. La présence d'une dyslexie ne peut donc être considérée comme seul facteur explicatif de cette distinction.

L'erreur d'échantillonnage doit également être considérée comme une cause possible de cette distinction intergroupe. Cependant, une troisième explication doit être approfondie. En effet, diverses études (Leclercq & Majerus, 2010 ; Majerus & Boukebza, 2013) mettent en évidence l'impact des capacités de rétention de l'information « ordre » en mémoire à court terme verbale sur les compétences en vocabulaire réceptif. Les mesures du vocabulaire réceptif de ces recherches ont été réalisées grâce à l'EVIP comme dans notre présente étude. Ces recherches indiquent, de plus, que seule l'information « ordre », et non l'information « item » impacterait le développement du vocabulaire. Ces résultats sont à mettre en lien avec la conclusion d'Attout et Majerus (2015) qui soulignent les difficultés au niveau de la rétention de l'information « ordre » en mémoire à court terme verbale chez des enfants dyscalculiques alors que l'information « item » ne pose pas de difficultés. En outre, la capacité à apprendre une séquence verbale selon le paradigme de Hebb est nécessaire à la formation de nouveaux mots de vocabulaire (Szmalec, Duyck, Vandierendonck, Mata, & Page 2009). Or, cette compétence est justement déficitaire dans le cas de personnes dyscalculiques (De Visscher, 2015). Ces études nous permettent donc de mettre en cause l'indépendance des difficultés des enfants dyscalculiques au niveau de la mémoire à court terme et de leurs compétences en vocabulaire réceptif. Nous sommes donc en droit de nous demander si la distinction entre nos groupes est due à une erreur d'échantillonnage ou davantage à une caractéristique propre des personnes porteuses de dyscalculie.

Malheureusement, aucune donnée en mémoire à court terme verbale n'a été relevée lors de la présente étude, le lien entre les compétences au niveau de l'information « ordre » en mémoire à court terme verbale et le score à l'EVIP ne peut donc pas être évalué auprès des participants de la présente étude.

2. Habiletés visuo-spatiales

L'analyse des résultats au niveau visuo-spatial indique que nos groupes diffèrent lors des tâches de localisation, de rotation mentale et des cubes mais pas aux tâches des figures enchevêtrées et du visual perceptual subtest. Cela marque donc une difficulté lors de la tâche de manipulation de l'information visuelle (visuo-spatiale et visuo-constructive) chez les enfants dyscalculiques sans que cela ne puisse être imputé à un trouble perceptif. En effet, rappelons que les tâches des figures enchevêtrées et du visual perceptual subtest mesuraient les habiletés visuo-perceptives définies comme la combinaison des caractéristiques visuelles de l'objet et des connaissances stockées en mémoire (Barisnikov, 2009). Ces enfants peuvent donc distinguer les éléments et utiliser les indices visuels menant à leur reconnaissance mais éprouvent des problèmes à les manipuler pour les visualiser sous un autre angle de vue. Ces résultats concordent avec la littérature qui souligne les difficultés en rotation mentale d'enfants de début du cycle primaire, voir maternel (Mix, et al., 2016) ainsi que la présence de difficultés visuo-spatiales au sein d'une population faible en mathématiques (Lambert & Spinath, 2018). La présente étude montre, en outre, que ces difficultés tendent à se maintenir dans le temps vu que les enfants composant l'échantillon sont scolarisés de la 2^e à la 6^e année primaire. De plus, l'absence de difficultés visuo-perceptives est également en accord avec les recherches actuelles (McCaskey, et al., 2017). Soulignons cependant, que les enfants dyscalculiques ont tendance à être plus rapides lors des tâches visuo-spatiales que les enfants contrôles. Il semble dès lors que leurs moins bonnes performances soient imputables à l'utilisation d'une mauvaise stratégie, mais aucune information ne permet de savoir si ce sont les compétences visuo-spatiales mêmes qui expliquent seules leurs performances ou si une précipitation, un défaut d'inhibition, peut influencer la performance du groupe « dyscalculie ». Il est donc possible que les difficultés exprimées aux cours de ces tâches soient multi-déterminées.

En effet, une difficulté cognitive au niveau de l'inhibition est une caractéristique de ces enfants (Ashkenazi & Henik, 2010a ; Barrouillet, Fayol & Lathulière, 1997 ; Suzcs, Devine, Soltész, Nobes & Gabriel, 2013).

3. Mémoire visuo-spatiale

En ce qui concerne la mémoire à court terme visuo-spatiale, au niveau de l'information « item », il semble que la structure aide davantage les enfants contrôles que les enfants dyscalculiques et ce, que le matériel soit présenté simultanément ou séquentiellement. Ce profil peut s'expliquer par différents points : tout d'abord, soulignons la présence d'une variabilité importante entre les enfants d'un même groupe au niveau des items non structurés. Les différences inter-groupes pourraient être masquées par la variabilité interindividuelle. Ensuite, les représentations structurées font appel aux connaissances stockées de patterns visuo-spatiaux en mémoire à long terme. Il semblerait donc que les enfants du groupe « dyscalculie » utiliseraient moins spontanément ou auraient un stock plus faible de patterns en mémoire. Cependant, une comparaison au sein des groupes entre les variables structurées et non structurées montre que les enfants dyscalculiques utilisent la structure comme aide, même si elle ne leur permet pas de revenir à un niveau de performance équivalant au groupe contrôle. Cette aide de la structure est présente aussi bien pour l'information « ordre » que pour l'information « item » et ce, que l'information soit présentée séquentiellement ou simultanément. Cette conclusion est particulièrement importante au niveau du groupe dyscalculique. En effet, la littérature a déjà mis en avant cet effet chez des enfants tout-venants (Imbo & al., 2009) ainsi qu'une absence d'effet au sein de syndromes génétiques caractérisés par des difficultés visuo-spatiales tels que le syndrome vélo-cardio-facial (Attout, 2018). La présente étude permet donc de situer les enfants dyscalculiques au milieu de ce continuum entre effets préservés et altérés en soulignant que la structure aide les personnes dyscalculiques à améliorer leurs performances.

Par contre, aucune différence entre les groupes n'a été trouvée au niveau de l'information « ordre ». Ce résultat est en contradiction avec nos hypothèses et la littérature actuelle (Attout & Majerus, 2015) qui indique que les enfants dyscalculiques présentent davantage de difficultés à retenir les informations « ordre » que les enfants contrôles. Ce décalage peut s'expliquer par la taille de l'échantillon qui semble être trop faible pour dégager des effets, et la variabilité interindividuelle traduite par les écart-types qui masqueraient d'éventuelles différences inter-groupes. Ces explications sont soutenues par le fait que les probabilités de dépassement sont marginales dans le cas de l'information ordre non structurée ($p = .069035$) et de l'information ordre total ($p = .065120$). De plus, l'étude d'Attout et de Majerus (2015) se centrait sur la mémoire à court terme verbale alors que la présente étude analyse les compétences en mémoire à court terme visuo-spatiale. Il est donc également possible que le profil de la mémoire de travail des enfants dyscalculiques se distingue en fonction de la modalité de présentation. Cette conclusion est cependant peu probable au vu du nombre d'études qui ont déjà mis en évidence des difficultés au niveau de la mémoire à court terme visuo-spatiale chez les enfants dyscalculiques (Kroesbergen & van Dijk, 2015 ; Menon, 2016 ; Moll & al., 2016 ; Szucs & al., 2013 ; Szucs, & al., 2014).

Au niveau des capacités d'apprentissage de séquences visuo-spatiales, il apparaît que les enfants dyscalculiques éprouvent davantage de difficultés que les enfants contrôles. Ce résultat souligne que ce n'est pas seulement la rétention à court terme de l'information ordre qui semble difficile (Attout & Majerus, 2015) mais également son apprentissage. Or, la capacité à retenir l'ordre des éléments d'une séquence est particulièrement importante lors de l'apprentissage des mathématiques comme par exemple lors du développement de la chaîne numérique verbale ou de la ligne numérique mentale. Cet aspect n'ayant pas encore, à notre connaissance, été analysé au sein de la littérature scientifique, il permet donc d'affiner le profil cognitif des patients dyscalculiques et de souligner que les compétences d'apprentissage d'information « ordre » semblent être amodales vu que les difficultés sont présentes tant en mémoire verbale (De Visscher & al., 2015) qu'en mémoire visuo-spatiale.

4. Relation entre les compétences attentionnelles et numériques

4.1 Compétences attentionnelles

Au niveau attentionnel, aucune différence n'est soulevée entre les groupes. Il semble que les enfants dyscalculiques ne présentent pas davantage de difficultés que les enfants contrôles lors du déplacement attentionnel. Ces résultats ne sont que partiellement en accord avec notre hypothèse. En effet, nous nous attendions à une différence significative au vu des découvertes de certains auteurs (Anobile et al., 2013 ; Dulaney et al., 2015 ; Mathieu et al., 2016 ; Steele et al., 2012) déclarant que l'attention visuelle impacte la réalisation d'apprentissages mathématiques. Cependant, la littérature soulignant également que les enfants dyscalculiques ne présentent pas de difficulté au niveau du déplacement attentionnel, ces résultats restent en accord avec la littérature actuelle. Ce résultat est donc intéressant car il est en accord avec les études d'Ashkenazi et Henik (2010a) ; il souligne que ce ne sont pas les compétences de déplacement attentionnel qui induisent des difficultés en mathématiques alors que certaines études montrent un lien fort entre ces deux notions (Anobile et al., 2013 ; Dulaney et al., 2015 ; Mathieu et al., 2016 ; Steele et al., 2012). Soulignons que lors de cette étude, nous ne prenons qu'une seule mesure attentionnelle et qu'il serait, dès lors, intéressant, lors d'une étude future, d'analyser un panel plus large de fonctions attentionnelles comme l'alerte analysée dans l'étude d'Ashkenazi et Henik (2010a) qui devrait être déficitaire chez des personnes dyscalculiques.

4.2 Estimation numérique

Comme attendu, les enfants dyscalculiques ont tendance à s'éloigner davantage que les enfants contrôles de la valeur cible sur la ligne. Cette tendance est à la surestimation plutôt qu'à la sous-estimation, traduisant ainsi une représentation logarithmique de la ligne numérique mentale plus marquées et durable.

Cet effet est présent chez tous les enfants dyscalculiques jusqu'en 6^e année primaire alors qu'à niveau scolaire équivalent, les enfants contrôles commencent à mettre en place des stratégies basées sur les proportions.

En outre, une analyse au sein de chaque groupe montre que tous les enfants présentent une déviation vers la droite plus importante sur les lignes de 0 à 1000 par rapport aux lignes de 0 à 100. Ce résultat indique que la représentation de la ligne numérique mentale dépend du cadre référence et que plus celui-ci est large, plus les enfants auront tendance à maintenir une représentation logarithmique dans le temps. Ces données sont concordantes avec celles de Siegler et Opfer (2003) et de Möhring, Frick et Newcombe (2018). Les compétences d'adaptation au cadre de référence semblent donc également impacter les performances à la tâche d'estimation.

4.3 Impact du déplacement attentionnel

De par les tests t et les corrélations réalisés, nous pouvons confirmer que la tâche d'estimation numérique est bien multi-déterminée. En effet, les compétences visuo-spatiales et attentionnelles semblent influencer fortement les performances. En concordance avec la littérature scientifique (Gunderson, et al., 2012), nous soulignons donc la présence de corrélations significatives entre les performances visuo-spatiales et les résultats à la tâche d'estimation numérique. De plus, les tâches avec les corrélations les plus élevées sont celles de localisation et des cubes, ce qui est en accord avec la dimension motrice nécessaire à l'estimation numérique ainsi qu'au déplacement au sein d'un cadre de référence. Ce déplacement peut également être mis en lien avec l'impact des variables attentionnelles sur les performances des participants lors de tâches d'estimation numérique. Nous remarquons d'ailleurs, qu'une fois l'impact des variables attentionnelles pris en considération, les corrélations entre les tâches de localisation et d'estimation numérique s'annulent. Ces résultats soulignent que le déplacement attentionnel est bien sous-jacent à ces deux épreuves. En effet, plus un enfant est rapide lors du déplacement du foyer attentionnel, plus il aura tendance à être précis lors du placement d'un nombre sur la ligne numérique, voire même à sous-estimer ce nombre.

En outre, notre étude a mis en évidence un nouvel élément au niveau du lien entre fluences mathématiques (additions et soustractions) et estimation numérique. En effet, si la littérature scientifique souligne le pouvoir prédictif de l'estimation numérique sur les habiletés mathématiques (Gunderson, et al., 2012), nous remarquons que nos corrélations entre ces deux épreuves s'annulent lorsque l'on prend en considération l'impact des compétences attentionnelles. Il se peut, dès lors, que ce soit le déplacement au sein du cadre de référence qu'est la ligne numérique mentale qui soit le mécanisme commun sous-jacent aux deux épreuves d'estimation numérique et des fluences mathématiques. Cet impact du déplacement attentionnel sur les fluences mathématiques est concordant avec la littérature scientifique (Mathieu et al., 2016).

Il apparaît donc que, même si nous ne trouvons pas différence significative entre les groupes à la tâche de déplacement du foyer attentionnel, les capacités des enfants impactent sur leurs performances lors des tâches de fluences mathématiques, d'estimation numérique et de localisation. Cependant, l'absence de différence inter-groupes lors de la tâche attentionnelle indique que si le mécanisme de déplacement attentionnel est sous-jacent aux trois épreuves de fluences mathématiques, d'estimation numérique et de localisation, il ne caractérise pas la population d'enfants dyscalculiques. Ces résultats soulignent donc que ce n'est pas le mécanisme de déplacement attentionnel dans un cadre de référence qui pose problème aux enfants dyscalculiques. Ces données sont en accord avec Ashkenazi et Henik (2010a ; 2012) qui stipulent que les difficultés attentionnelles et numériques présentes chez un même enfant sont de nature indépendante et que les compétences de déplacement attentionnel n'expliquent pas les difficultés en mathématiques.

5. Mesure hétéro-rapportée :

En ce qui concerne le questionnaire visuo-spatial, aucune différence significative n'est relevée entre les deux groupes lors de l'analyse quantitative. Cela peut s'expliquer par différents éléments, tels que le petit nombre de participants, le manque de sensibilité du questionnaire ou encore le fait que les parents seraient moins sensibilisés à ce type de difficultés.

Néanmoins, quatre items semblent se démarquer lors de l'analyse qualitative (Item 8 : « Réalise des constructions comme les autres enfants de son âge (par exemple, jeux de cubes) ; Item 16 : « Interprète mal la trajectoire ou la localisation d'une balle dans l'espace (par exemple, frappe à côté de la balle) ; Item 18 : « A des difficultés dans les activités de dessins, cubes ou puzzles (par exemple, dessin incomplet, désorganisé, relations erronées entre les éléments) ; Item 21 : « Peut colorier un dessin sans dépasser »). Le contenu de ces items indique que les enfants dyscalculiques éprouveraient davantage de difficultés dans les tâches visuo-constructives et visuo-motrices, ce qui est concordant avec nos hypothèses et nos résultats. Notons également, qu'une limite de ce questionnaire est la présence d'items inversés. Lors de ces items, de grandes difficultés s'expriment par « jamais » et une absence de difficultés par « toujours » comme les items 8 et 18 par exemple. Certains parents ont tendance à ne pas prendre en compte cette inversion, ce qui peut expliquer l'absence de différence significative entre les groupes.

6. Limites :

Au niveau des limites de ce travail, nous pouvons en souligner trois.

Tout d'abord, la variabilité interindividuelle au sein des participants d'un même groupe peut avoir un impact sur la significativité des résultats statistiques. En effet, ces différences auraient tendance à masquer d'éventuels effets de groupe. Pour remédier à cette limite, les prochaines études sur le sujet devraient avoir recours à davantage de participants au sein de chaque groupe. De plus, la littérature souligne l'hétérogénéité des enfants dyscalculiques, une analyse de leur profil permettrait de distinguer ces enfants en terme de forces et faiblesses. En effet, il se peut que des difficultés visuo-spatiales soient davantage liées à un profil plutôt qu'à un autre.

Ensuite, les différences présentes à l'EVIP rendent nos groupes dissemblables au niveau des mesures contrôles. Même si cette condition peut s'expliquer par les différents éléments de la littérature sub-mentionnés, il est probable qu'une partie des résultats obtenus ne soient pas seulement influencés par la présence d'une dyscalculie ou non mais également par le niveau de raisonnement verbal.

A l'avenir, un appariement plus strict des participants devra être réalisé de façon à analyser, de manière encore plus précise, l'impact de la dyscalculie sur les habiletés visuo-spatiales. De plus, l'utilisation d'une deuxième mesure, autre que le vocabulaire réceptif, tel que le subtest « similitudes » de la WISC-V, par exemple, pourrait s'avérer utile de manière à affiner le profil des participants. En effet, comme sub-mentionné, il est plausible que la mesure du vocabulaire réceptif ne soit pas la plus pertinente pour apparier les deux groupes.

Enfin, en ce qui concerne les mesures réalisées, une analyse des performances en mémoire à court terme verbale permettrait de mieux situer les participants par rapport à la littérature actuelle. En effet, cette analyse permettrait de savoir si le groupe expérimental présente bien les effets attendus dans la littérature au niveau de la mémoire à court terme verbale, et ce principalement en ce qui concerne l'information « ordre » et ensuite, de pouvoir mettre ces résultats en perspective avec des données obtenues en mémoire à court terme visuo-spatiale. Cela permettrait de distinguer davantage si une absence d'effet est due à une erreur d'échantillonnage, ou à une réelle caractéristique des personnes dyscalculiques.

La récolte de mesures exécutives, telles que l'inhibition motrice aurait également permis de mettre en perspective les résultats obtenus aux épreuves visuo-spatiales. En effet, les enfants dyscalculiques étant plus rapides lors de ces épreuves que les enfants contrôles, l'interprétation des résultats en termes de compétences visuo-spatiales est rendue complexe. La mesure d'inhibition permettrait d'évaluer de manière plus pertinente l'impact des compétences exécutives sur les résultats et, donc d'avoir une meilleure idée de l'influence des habiletés visuo-spatiales sur ces tâches.

Conclusion et perspectives

La dyscalculie développementale est un trouble d'apprentissage spécifique aux mathématiques touchant 3 à 6% de la population générale. Elle se traduit par des difficultés persistantes lors de l'apprentissage des mathématiques en l'absence de déficience intellectuelle, de troubles sensoriels et non imputable à un apprentissage inapproprié au vu de l'âge de l'enfant.

Au cours de ce travail portant sur les habiletés visuo-spatiales chez des enfants dyscalculiques, nous avons observé une population de 16 enfants dyscalculiques et 16 enfants contrôles appariés sur le sexe, le niveau scolaire et la latéralité au cours de tâches évaluant diverses fonctions : compétences visuo-spatiales, attentionnelles, capacités en mémoire visuo-spatiale, performances lors d'une épreuve d'estimation numérique.

L'objectif de ce travail était d'affiner les connaissances actuelles sur le profil cognitif des enfants dyscalculiques en se focalisant sur leurs compétences visuo-spatiales. En effet, il est actuellement bien documenté qu'une faiblesse au niveau des habiletés visuo-spatiales impacte sur le développement ultérieur des habiletés numériques comme, par exemple, la présence de la ligne numérique mentale et de l'effet SNARC qui influencent, entre autres, les capacités d'estimation numérique. Le lien inverse reste encore trop peu documenté et c'est dans cette optique de connaissance du profil des habiletés visuo-spatiales chez des enfants avec des faiblesses en mathématiques avérés que s'intègre ce travail.

Les résultats indiquent que les enfants dyscalculiques présentent davantage de difficultés que les enfants contrôles au niveau des habiletés visuo-spatiales et visuo-constructives alors que les habiletés visuo-perceptives ne posent pas de problème. Ces résultats soulignent donc la présence de difficultés visuo-spatiales chez des enfants dyscalculiques. Difficultés présentes principalement lors d'activités de manipulation mentale et de constructions.

L'apprentissage d'un pattern séquentiel en mémoire visuo-spatiale est également plus difficile pour les enfants dyscalculiques que pour les enfants contrôles.

Cet effet ayant déjà été montré en modalité verbale, cette conclusion suggère que l'apprentissage d'une séquence serait amodale et déficitaire chez des enfants présentant une dyscalculie. La mémoire à court terme visuo-spatiale semble également poser problème à ces enfants que ce soit au niveau de l'information « ordre » ou « item ». Cependant, les résultats de la présente étude ne permettent pas d'affirmer cette distinction.

Par contre, aucune différence entre les groupes n'a été relevée au niveau des compétences de déplacement attentionnel. Ce résultat est surprenant au vu des recherches actuelles qui soulignent l'impact de l'attention sur les compétences numériques. Une analyse plus large des capacités attentionnelles permettrait peut-être davantage d'isoler les compétences distinguant les enfants dyscalculiques des enfants contrôle.

Au niveau des performances en estimation numérique, les enfants dyscalculiques présentent, comme attendu, une tendance à la surestimation avec une représentation logarithmique de la ligne numérique mentale persistante dans le temps. Soulignons que les compétences d'estimation numérique sont corrélées avec les performances aux additions et aux soustractions mais que cette relation disparaît lorsque les performances à la tâche de déplacement attentionnel sont considérées. Cette conclusion apparaît également pour la tâche de localisation. Néanmoins, l'absence de différence inter-groupes souligne que ce n'est pas une difficulté au niveau du déplacement attentionnel qui explique les résultats déficitaires des enfants dyscalculiques à ces épreuves.

Cependant, comme mentionné dans la discussion, de nombreuses limites interviennent dans l'interprétation des résultats. Les futures études dans le domaine devront être réalisées sur un nombre plus grand et plus hétérogène de sujets. En effet, dans la présente étude, nous avons une prédominance de filles ; ce qui limite les inférences à la population générale. De plus, un appariement strict sur le niveau de raisonnement verbal des enfants permettrait de limiter les erreurs d'interprétation dues à des différences verbales. Soulignons, que prendre deux mesures de raisonnement verbal et pas uniquement le niveau en vocabulaire réceptif semble pertinent.

En ce qui concerne les autres mesures à prendre, il apparaît judicieux de mesurer les aptitudes en mémoire à court terme verbale de manière à les mettre en relation avec les résultats en mémoire à court terme visuo-spatiale. Prendre davantage de mesures au niveau de l'attention spatiale permettrait également de mieux percevoir son impact sur les habiletés numériques et visuo-spatiales.

Au vu de la nouveauté de la recherche, une autre étude évaluant les habiletés visuo-spatiales semble pertinente pour regarder si les résultats se répliquent. Cependant, au vu de toutes les mesures nécessaires à prendre, il apparaît que le temps de passation deviendrait particulièrement long. Les études futures pourraient donc se scinder en deux thématiques, une ciblant la mémoire à court terme dans sa globalité et l'autre observant les habiletés visuo-spatiales et les compétences attentionnelles.

Bibliographie

- American Psychiatric Association. (2013). *DSM-V: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Publishing
- Anobile, G., Stievano, P., & Burr, D. C. (2013). Visual sustained attention and numerosity sensitivity correlate with math achievement in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *116*, 380-391. doi:10.1016/j.jecp.2013.06.006
- Attout, L., & Majerus, S. (2015). Working memory deficits in developmental dyscalculia: The importance of serial order. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *21* (4), 432-450. doi:10.1080/09297049.2014.922170
- Attout, L., Noël, M.-P. & Rousselle, L. (2018). The effect of visual arrangement on visuospatial short-term memory: Insights from children with 22q11.2 deletion syndrome. *Cognitive Neuropsychology*. doi:10.1080/02643294.2018.1461616
- Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is $2 + 2 = 4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage*, *54*, 2382-2393. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.10.009
- Ashkenazi, S. & Henik, A. (2010a). Attentional networks in developmental dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, *6*(2), 2-13. doi:10.1186/1744-9081-6-2
- Ashkenazi, S. & Henik, A. (2010b). A disassociation between physical and mental number bisection in developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, *48*, 2861-2868. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.028
- Ashkenazi, S. & Henik, A. (2012). Does attentional training improve numerical processing in developmental dyscalculia. *Neuropsychology*, *26*(1), 45-56. doi:10.1037/a0026209
- Bachot, J., Gevers, W., Fias, W., & Roeyers, H. (2005). Number sense in children with visuospatial disabilities: orientation of the mental number line. *Psychology Science*, *47*(1), 172-183.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417-423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.
- Barisnikov, K., & Pizzo, R. (2007). L'examen des compétences visuo-spatiales. In M.P. Noël (Ed.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Wavre, Belgique : Mardaga.
- Barisnikov, K. (2009). Les troubles des fonctions visuo-spatiales. In M. Poncelet, S. Majerus, & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de neuropsychologie de l'enfant*. Marseille, France : Solal.
- Beery, K. E., & Beery, N. A. (2004). *The beery-buktenica developmental test of visual-motor integration* (5e ed.). Minneapolis, MN: Pearson.
- Blalock, L. D., & Clegg, B. A. (2010). Rapid communication: Encoding and representation of simultaneous and sequential arrays in visuospatial working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(5), 856-862. doi:10.1080/17470211003690680
- Cheng, Y.-L., & Mix, K. S. (2014). Spatial training improves children's mathematics ability. *Journal of Cognition and Development*, 15(1), 2-11. doi:10.1080/15248372.2012.725186
- Cornu, V., Hornung, C., Schiltz, C. & Martin, R. (2017). How do different aspects of spatial skills relate to early arithmetic and number line estimation? *ResearchGate*. doi:10.5964/jnc.v3i2.36
- Cornu, V., Schiltz, C., Martin, R., & Hornung, C. (2018). Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 604-620. doi: 10.1016/j.jecp.2017.09.006
- Couture, M., & Tremblay, S. (2006). Exploring the characteristics of visuospatial Hebb repetition effect. *Memory & Cognition*, 34(8), 1720-1729. doi:10.3758/BF0319593.
- Crollen, V., & Noël, M.-P. (2015). Spatial and numerical processing in children with high and low visuospatial abilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 132, 84-98. doi:10.1016/j.jecp.2014.12.006
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003). *Cognitive Neuropsychology*, 20 (3/4/5/6), 487-506. doi:10.1080/02643290244000239

- De Hevia, M. D., Vallar, G., & Girelli, L. (2008). Visualizing numbers in the mind's eye: The role of visuo-spatial processes in numerical abilities. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *32*, 1361-1372. doi:10.1016/j.neubiorev.2008.05.015
- De Smedt, B., Swillen, A., Devriendt, K., Fryns, J. P., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2007). Mathematical disabilities in children with velo-cardio-facial syndrome. *Neuropsychologia*, *45*, 885-895. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.08.024
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 186-201. doi:10.1016/j.jecp.2009.01.004
- De Visscher, A., Szmalec, A., Van Der Linder, L., & Noël, M.-P. (2015). Serial-order learning impairment and hypersensitivity-to-interference in dyscalculia. *Cognition*, *144*, 38-48. doi:10.1016/j.cognition.2015.07.007
- Dulaney, A., Vasilyeva, M. & O'Dwyer, L. (2015). Individual differences in cognitive resources and elementary school mathematics achievement: Examining the roles of storage and attention. *Learning and Individual Differences*, *37*, 55-63. doi:10.1016/j.lindif.2014.11.008
- Dunn, L. M., Thériault-Whalen, C. M., & Dunn, L. M. (1993). *Echelle de vocabulaire en images Peabody. Adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test*. Toronto, Canada : Psycan.
- Fisher, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, *6*(6), 555-556. doi:10.1038/nn1066
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *37*(1), 4-15. doi:10.1177/00222194040370010201
- Gilligan, K. A., Flouri, E., & Farran, E. K. (2017). The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, *163*, 107-125. doi: 10.1016/j.jecp.2017.04.016
- Gracia-Bafalluy, M., & Noël, M.-P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex*, *44*, 368-375. doi:10.1016/j.cortex.2007.08.020

- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, *48*(5), 1229-1241. doi:0.1037/a0027433
- Hamilton, C., Coates, R., & Heffernan, T. (2003). What develops in visuo-spatial working memory development? *European Journal of Cognitive Psychology*, *15*(1), 43-63. doi:10.1080/09541440303597
- Hawes, Z., Moss, J. Caswell, B. & Poliszczuk, D. (2015). Effects of mental rotation training on children's spatial and mathematics performance: A randomized controlled study. *Trends in Neuroscience and Education*, *4*, 60-68. doi:10.1016/j.tine.2015.05.001
- Holmes, J., & Adams, J. W. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, *26*(3), 339-366, doi:10.1080/01443410500341056
- Holmes, J., Adams, J. W., & Hamilton, C. J. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology*, *20*(2), 272-289. doi:10.1080/09541440701612702
- Imbo, I., Szmalec, A., & Vandierendonck, A. (2009). The role of structure in age-related increases in visuo-spatial working memory span. *Psychologica Belgica*, *49* (4), 275-291. doi:10.5334/pb-49-4-275
- Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A., & Gadian, G. (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight. *Brain*, *124*, 1701-1707. doi: 10.1093/brain/124.9.1701
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). *Bilan neuropsychologique de l'enfant (2e ed.)*. *Adaptation française*. Editions du centre de psychologie appliquée.
- Kroesbergen, E. H., & van Dijk, M. (2015). Working memory and number sense as predictors of mathematical (dis-)ability. *Zeitschrift für Psychologie*, *223*(2), 102-109. doi:10.1027/2151-2604/a000208
- Lambert, K., & Spinath, B. (2018). Conservation abilities, visuospatial skills and numerosity processing speed: Association with math achievement and math difficulties in elementary school children. *Journal of Learning Disabilities*, *51*(3), 223-235. doi:10.1177/002221941769035

- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition*, *93*, 99-125. doi:10.1016/j.cognition.2003.11.004
- Leclercq, A.-L., & Majerus, S. (2010). Serial-order short-term memory predicts vocabulary development: Evidence from a longitudinal study. *Developmental Psychology*, *46*(2), 417-427. doi:10.1037/a0018540
- Logie, R. H., & Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? In R. H. Logie & M. Denis (Eds.), *Mental images in human cognition* (pp. 105-115). Amsterdam, AN: North Holland Press.
- Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(3), 241-257.
- Lowrie, T., Logan, T., & Ramful, A. (2017). Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, *87*, 170-186. doi:10.1111/bjep.12142
- Majerus, S. (2010). Les multiples déterminants de la mémoire à court terme verbale: Implications théoriques et évaluatives. *Developpements*, *1*(4), 5-15. doi :10.3917/devel.004.0005
- Majerus, S., & Boukebza, C. (2013). Short-term memory for serial order supports vocabulary development: New evidence from a novel word learning paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, *116*, 811-828. doi:10.1016/j.jecp.2013.07.014
- Mammarella, I. C., Caviola, S., Giofrè, D., & Szücs, D. (2017). The underlying structure of visuospatial working memory in children with mathematical learning disability. *British Journal of Developmental Psychology*. doi:10.1111/bjdp.12202
- Mathieu, R., Gourjon, A., Couderc, A., Thevenot, C., & 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
- Mazzocco, M. M. M. (2009). Mathematical learning disability in girls with turner syndrome: A challenge to defining MLD and its subtypes. *Developmental Disabilities Research Review*, *15*, 35-44. doi:10.1002/ddrr.50

- McCaskey, U., von Aster, M., O’Gorman Tuura, R., & Kucian, K. (2017). Adolescents with developmental dyscalculia do not have a generalized magnitude deficit – Processing of discrete and continuous magnitudes. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*(102), 1-19. doi:10.3389/fnhum.2017.00102
- Menon, V. (2016). Working memory in children’s math learning and its disruption in dyscalculia. *Neuroscience of Education, 10*, 125-132. doi:10.1016/j.cobeha.2016.05.014
- Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y.-L., Young, C., Hambrick, D. Z., Ping, R. & Konstantopoulos, S. (2016). Separate but correlated: The latent structure of space and mathematics across development. *Journal of Experimental Psychology General, 145*(9), 1206-1227. doi: 10.1037/xge0000182.supp
- Möhring, W., Frick, A., & Newcombe, N. S. (2018). Spatial scaling, proportional thinking, and numerical understanding in 5- to 7-year-old children. *Cognitive Development, 45*, 57-67. doi:10.1016/j.cogdev.2017.12.001
- Moll, K., Göbel, S. M., Gooch, D., Landerl, K., & Snowling, M. J. (2016). Cognitive risk factors for specific learning disorder: Processing speed, temporal processing and working memory. *Journal of Learning Disabilities, 49*(3), 272-281. doi:10.1177/0022219414547221
- Noël, M.-P. (2005). Finger gnosia: A predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology, 11*, 413-430. doi:10.1080/09297040590951550
- Paterson, S. J., Girelli, L., Butterworth, B., & Karmiloff-Smith, A. (2006). Are numerical impairments syndrome specific? Evidence from Williams syndrome and down’s syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 47*, 2, 190-204. doi:10.1111/j.1469-7610.2005.01460.x
- Petrill, S. A., & Kovas, Y. (2016). Individual differences in mathematics ability: A behavioral genetic approach. In D. B. Berch, D. C. Geary, & K. M. Koepke (EDS.), *Development of mathematical cognition: Neural substrates and genetic influences* (pp 299- 323). London, UK: Elsevier.
- Purpura, D. J., Schmitt, S. A., & Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components. *Journal of Experimental Child Psychology, 153*, 15-34. doi:10.1016/j.jecp.2016.08.010
- Raven, J.C., Court, J.H., & Raven, J. (1998). *Progressive Matrices couleur*. Oxford, UK : Oxford Psychologists Press.

- Rousselle, L., Noel, M-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102, 361-395. doi:10.1016/j.cognition.2006.01.005
- Rousselle, L., Dembour, G., & Noël, M.-P. (2013). Magnitude representations in Williams syndrome: Differential acuity in time, space, and number processing. *PLOS One*, 8(8). doi:10.1371/journal.pone.0072621
- Schmetz, E., & Rousselle, L. (2016). Le point sur les processus visuo-perceptifs chez les enfants atteints de paralysie cérébrale. *Revue de Neuropsychologie*, 2(8), 137-149. doi:10.1684/nrp.2016.0374
- Schmetz, E., Rousselle, L., Ballaz, C., Detraux, J.-J., & Barisnikov, K. (2017). The BEVPS: A new test battery to assess visual perceptual and spatial processing abilities in 5-14 year-old children. *Applied Neuropsychology: Child*
- Sella, F., Sader, E., Lollot, S., & Cohen Kadosh, R. (2016). Basic and advanced numerical performances relate to mathematical expertise but are fully mediated by visuo-spatial skills. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 42(9), 1458-1472. doi:10.1037/xlm0000249
- Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O., & Gross-Tsur, V. (2000). Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9(2), 58-64.
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14(3), 237-243. doi:10.1111/1467-9280.02438
- Simms, V., Clayton, S., Cragg, L., Gilmore, C., & Johnson, S. (2016). Explaining the relationship between number line estimation and mathematical achievement: The role of visuomotor integration and visuospatial skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 145, 22-33. doi:10.1016/j.jecp.2015.12.004
- Steele, A., Karmiloff-Smith, A., Cornish, K. & Scerif, G. (2012). The multiple subfunctions of attention: Differential developmental gateways to literacy and numeracy. *Child Development*, 83(6), 2028-2041. doi:10.1111/j.1467-8624.2012.01809.x
- Szmalc, A., Duyck, W., Vandierendonck, A, Mata, A. B., & Page, M. P. A. (2009). The hebb repetition effect as a laboratory analogue of novel word learning. *The*

Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62(3), 435-443.
doi:10.1080/17470210802386375

- Szücs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2013). Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment. *Cortex*, 49 (10), 2674–2688. doi:10.1016/j.cortex.2013.06.007
- Szücs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2014). Cognitive components of a mathematical processing network in 9-year-old children. *Developmental Science*, 17 (4), 506-524. doi:10.1111/desc.12144
- Temple, C. M. (1992). Developmental dyscalculia. In S. J. Segalowitz & I. Rapin (Eds.), *Handbook of neuropsychology*, vol. 7 (pp. 211-222). Amsterdam, AN: Elsevier Science B. V.
- Thompson, J. M., Nuerk, H.-C., Moeller, K. & Cohen Kadosh, R. (2013). The link between mental rotation ability and basic numerical representations. *Acta Psychologica*, 144, 324-331. doi:10.1016/j.actpsy.2013.05.009
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352-402. doi:10.1037/a0028446
- Uttal, D. H., Miller, D. I., & Newcombe, N. S. (2013). Exploring and enhancing spatial thinking: Links to achievement in science, technology, engineering, and mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), 367-373. doi:10.1177/0963721413484756
- Van Dijck, J.-P., Abrahamse, E. L., Majerus, S., & Fias, W. (2013). Spatial attention interacts with serial-order retrieval from verbal working memory. *Psychological Science*, 24(9), 1854-1859. doi:10.1177/0956797613479610
- Walter, E., Mazaika, P. K., & Reiss, A. L. (2009). Review: Insights into brain development from neurogenetic syndromes: Evidence from fragile X syndrome, Williams syndrome, turner syndrome and velocardiofacial syndrome. *Neuroscience*, 164, 257-271. doi:10.1016/j.neuroscience.2009.04.033
- Waschl, N. A., Nettelbeck, T., & Burns, N. R. (2017). The role of visuospatial ability in the raven's progressive matrices. *Journal of Individual Differences*, 38(4), 241-255. doi:10.1027/1614-0001/a000241

Annexes :

1. Epreuve en mémoire visuo-spatiale : Paradigme de Hebb

1.1 Version A :

Consignes : « Tu vois cette grille, je vais toucher des cases et quand j'aurais fini, tu devras mettre des jetons dans les cases que j'ai touchées, dans le même ordre que moi. Par exemple, si je touche cette case là et celle-là, où vas-tu mettre les jetons ? Donner le Nb juste de jetons.

Toucher 1 case/seconde. Si erreur, noter l'ordre dans lequel le participant donne sa réponse.

5×4																																																																																				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td>8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>3</td><td>7</td></tr> </table>		8						5	4		6	2		1					3	7	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td></td><td></td></tr> </table>	2	3		4			5		1						8	7		6			<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td><td></td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>2</td><td>8</td><td>3</td></tr> </table>					6	4		7			1			5				2	8	3	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td></td><td></td></tr> </table>	2	3		4			5		1						8	7		6		
	8																																																																																			
			5																																																																																	
4		6	2																																																																																	
	1																																																																																			
		3	7																																																																																	
2	3		4																																																																																	
		5																																																																																		
1																																																																																				
		8	7																																																																																	
	6																																																																																			
6	4		7																																																																																	
		1																																																																																		
	5																																																																																			
	2	8	3																																																																																	
2	3		4																																																																																	
		5																																																																																		
1																																																																																				
		8	7																																																																																	
	6																																																																																			
	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td>2</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td>5</td></tr> </table>			2	8	4			1			7			3			6			5	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td></td><td></td></tr> </table>	2	3		4			5		1						8	7		6			<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>3</td></tr> <tr><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td>1</td></tr> </table>	6						8	3		4		7		2					5	1	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td></td><td></td></tr> </table>	2	3		4			5		1						8	7		6		
		2	8																																																																																	
4			1																																																																																	
		7																																																																																		
	3																																																																																			
6			5																																																																																	
2	3		4																																																																																	
		5																																																																																		
1																																																																																				
		8	7																																																																																	
	6																																																																																			
6																																																																																				
		8	3																																																																																	
	4		7																																																																																	
	2																																																																																			
		5	1																																																																																	
2	3		4																																																																																	
		5																																																																																		
1																																																																																				
		8	7																																																																																	
	6																																																																																			
	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td>6</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td>5</td><td>1</td><td></td></tr> </table>	2			6							8		3	7		4		5	1		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td></td><td></td></tr> </table>	2	3		4			5		1						8	7		6			<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td>3</td><td></td></tr> </table>			4	1			7		5				8			2		6	3		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td>6</td><td></td><td></td></tr> </table>	2	3		4			5		1						8	7		6		
2			6																																																																																	
		8																																																																																		
3	7		4																																																																																	
	5	1																																																																																		
2	3		4																																																																																	
		5																																																																																		
1																																																																																				
		8	7																																																																																	
	6																																																																																			
		4	1																																																																																	
		7																																																																																		
5																																																																																				
8			2																																																																																	
	6	3																																																																																		
2	3		4																																																																																	
		5																																																																																		
1																																																																																				
		8	7																																																																																	
	6																																																																																			

1.2 Version B

Consignes : « Tu vois cette grille, je vais toucher des cases et quand j'aurais fini, tu devras mettre des jetons dans les cases que j'ai touchées, dans le même ordre que moi. Par exemple, si je touche cette case là et celle-là, où vas-tu mettre les jetons ? Donner le Nb juste de jetons.

Toucher 1 case/seconde.

Si erreur, noter l'ordre dans lequel le participant donne sa réponse.

5x 4																																																																																				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td><td style="text-align: center;">2</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;">7</td></tr> </table>		8						5	4		6	2		1					3	7	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			5		8	7				3		6	2		4		1				<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td style="text-align: center;">7</td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">1</td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">3</td></tr> </table>					6	4		7			1			5				2	8	3	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			5		8	7				3		6	2		4		1			
	8																																																																																			
			5																																																																																	
4		6	2																																																																																	
	1																																																																																			
		3	7																																																																																	
		5																																																																																		
8	7																																																																																			
	3		6																																																																																	
2		4																																																																																		
1																																																																																				
6	4		7																																																																																	
		1																																																																																		
	5																																																																																			
	2	8	3																																																																																	
		5																																																																																		
8	7																																																																																			
	3		6																																																																																	
2		4																																																																																		
1																																																																																				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">8</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">7</td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td></tr> </table>			2	8	4			1			7			3			6			5	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			5		8	7				3		6	2		4		1				<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">3</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td style="text-align: center;">7</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> </table>	6						8	3		4		7		2					5	1	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			5		8	7				3		6	2		4		1			
		2	8																																																																																	
4			1																																																																																	
		7																																																																																		
	3																																																																																			
6			5																																																																																	
		5																																																																																		
8	7																																																																																			
	3		6																																																																																	
2		4																																																																																		
1																																																																																				
6																																																																																				
		8	3																																																																																	
	4		7																																																																																	
	2																																																																																			
		5	1																																																																																	
		5																																																																																		
8	7																																																																																			
	3		6																																																																																	
2		4																																																																																		
1																																																																																				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">8</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;">1</td><td></td></tr> </table>	2			6							8		3	7		4		5	1		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			5		8	7				3		6	2		4		1				<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">7</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">2</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">6</td><td style="text-align: center;">3</td><td></td></tr> </table>			4	1			7		5				8			2		6	3		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			5		8	7				3		6	2		4		1			
2			6																																																																																	
		8																																																																																		
3	7		4																																																																																	
	5	1																																																																																		
		5																																																																																		
8	7																																																																																			
	3		6																																																																																	
2		4																																																																																		
1																																																																																				
		4	1																																																																																	
		7																																																																																		
5																																																																																				
8			2																																																																																	
	6	3																																																																																		
		5																																																																																		
8	7																																																																																			
	3		6																																																																																	
2		4																																																																																		
1																																																																																				

2. Résultats aux tests de Wilcoxon pour échantillons appariés

		Test de Wilcoxon pour échantillons appariés (n = 16)	
	Variable	T	P
Mesures hétéro-rapportés	Moyenne Questionnaire	36,00000	.098
Habiletés visuo-spatiales	Figures enchevêtrées	54,00000	.733
	Visual perceptual subtest Total	21,50000	.052
	Rotation Total	21,50000	.016*
	Rotation Temps	27,00000	.034*
Compétences attentionnelles	Attention Total Correctes	5,00000	.500
	Attention Congruent Correctes	3,00000	.225
	Attention Non-congruent Correctes	7,50000	.000
Mémoire visuo-spatiale	HEBB Total	1,50000	.035
	MCT apprentissage	50,50000	.900
Compétences mathématiques	Additions correctes	22,00000	.575
	Soustractions correctes	14,00000	.169
	Multiplications correctes	26,50000	.184
	EN Valeur absolue 0-100	22,00000	.017*
	EN Total surestimation 0-100	18,00000	.055
	EN Total sous-estimation 0-100	19,00000	.064
	EN Valeur absolue 0-1000	25,00000	.026*
	EN Total surestimation 0-1000	6,00000	.016*
	EN Total sous-estimation 0-1000	9,00000	.033*
	EN Valeur absolue Dys (intra-groupe)	4,00000	.001**
	EN Valeur absolue Contr (intra-groupe)	2,00000	.001**

MCT : Mémoire à court terme ; EN : Estimation numérique ; T : statistique du test de Wilcoxon pour échantillons appariés; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01

3. Tableaux statistiques

Tableau 1 : Statistiques paramétriques (Test t de Student pour échantillons appariés) de l'épreuve de mémoire à court terme visuo-spatiale. Comparaison du matériel structuré et non-structuré.

Variables	Test T pour échantillons appariés (n=16)					
	Moyenne	Ecart-type	t	dl	η^2	p
MCT VS séquentielle Item structuré Dys	49,00000	6,20752	7,2564	15	0.78	.000003**
MCT VS séquentielle Item non-structuré Dys 0.23	37,62500	6,29153				
MCT VS séquentielle Item structuré Contr	52,25000	4,29729	9,8022	15	0.86	.00000**
MCT VS séquentielle Item non-structuré Contr 0.22	40,68750	5,68880				
MCT VS séquentielle Ordre structuré Dys	36,18750	12,58157	5,8906	15	0.7	.00003**
MCT VS séquentielle Ordre non-structuré Dys 0.34	23,75000	11,88557				
MCT VS séquentielle Ordre structuré Contr	41,56250	10,07948	7,4032	15	0.79	.000002**
MCT VS séquentielle Ordre non-structuré Contr 0.29	29,37500	9,03235				
MCT VS simultanée Item structuré Dys	50,37500	7,20995	8,2560	15	0.82	.000001**
MCT VS simultanée Item non-structuré Dys0.28	36,12500	9,89192				
MCT VS simultanée Item structuré Contr	54,06250	4,52355	7,4032	15	0.79	.00000**
MCT VS simultanée Item non-structuré Contr 0.25	40,68750	6,89656				

MCT VS : mémoire à court terme visuo-spatiale ; t : statistique du t de Student; dl : degré de liberté ; η^2 : taille de l'effet ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01

Tableau 2 : Corrélation de Pearson (N=31) entre la tâche fluences mathématiques et la tâche d'estimation numérique avec contrôle des variables attentionnelles.

	EN Valeur absolue 0- 100	EN Total Surestimation 0-100	EN Total Sous- estimation 0-100	EN Valeur absolue 0- 1000	EN Total Surestimation 0-1000	EN Total Sous- estimation 0-1000
Additions Correctes	-,0139	-,2267	,2069	-,1488	-,0609	,0554
	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Soustractions Correctes	-,3042	-,3577	,3047	-,4904	-,4820	,4618
	p=,115	p=,062	p=,115	p=,008*	p=,009*	p=,013*

p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / ** p < .01.

Tableau 3 : Corrélation de Pearson (N=32) entre la tâche d'estimation numérique et les épreuves visuo-spatiales avec contrôle des variables attentionnelles.

	EN Valeur absolue 0- 100	EN Total Surestimation 0-100	EN Total Sous- estimation 0-100	EN Valeur absolue 0-1000	EN Total Surestimation 0-1000	EN Total Sous- estimation 0-1000
Figures enchevêtrées	-,3837 p=,044*	-,2373 NS	,1996 NS	-,4371 p=,020*	-,0570 NS	,0425 NS
Visual perceptual subtest Total	-,0197 NS	-,1728 NS	,1824 NS	-,1060 NS	-,2030 NS	,2113 NS
Visual perceptual subtest Temp	,0321 NS	,1107 NS	-,0961 NS	-,1892 NS	-,3260 NS	,3309 NS
Localisation Total	-,2325 NS	-,1993 NS	,1548 NS	-,3102 p=,108	-,2476 NS	,2287 NS
Localisation Temps	-,2447 NS	-,1312 NS	,1545 NS	-,1623 NS	-,3500 p=,068	,3643 p=,057
Rotation Total	-,1079 NS	-,0845 NS	,0631 NS	-,2373 NS	-,1127 NS	,1034 NS
Rotation Temps	-,1693 NS	-,0710 NS	,1068 NS	-,1483 NS	-,4752 p=,011*	,4946 p=,007**
Cubes Total	-,4603 p=,014*	-,4547 p=,015*	,4631 p=,013*	-,4420 p=,019*	-,3017 p=,119	,3151 p=,102

EN : estimation numériques ; p : probabilité de dépassement (seuil d'incertitude à 5 %) ; * p < .05. / **

p < .01.

4. Documents de recrutement :

4.1 Lettres d'information

4.1.1 Lettre aux logopèdes



Madame, Monsieur,

Je m'appelle Coralie Delcour et j'effectue actuellement mes études à l'Université de Liège, en neuropsychologie. Je suis en dernière année, je réalise mon mémoire et mène une recherche, en collaboration avec le Dr. Lucie Attout, chercheuse à l'Université de Liège, visant une meilleure compréhension des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques. Le but de cette recherche est de mieux cerner les caractéristiques de la dyscalculie et ainsi de pouvoir à l'avenir définir des pistes d'intervention plus efficace pour la revalidation de ces troubles d'apprentissage.

Ainsi, j'observe des enfants fréquentant la 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} primaire. J'évalue leurs performances au cours de diverses tâches visuo-spatiales, de calcul, et de mémoire sous forme de petits jeux. La durée de testing est estimée à environ deux fois une heure. Ce testing se déroulera dans un endroit calme et connu de l'enfant (école, extrascolaire, école de devoirs, maison).

Différents critères doivent être remplis pour qu'un enfant puisse participer à cette étude :

- Être scolarisé en 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} ou 6^{ème} primaire sans avoir sauté de classe.
 - Ne pas avoir de diagnostic de haut potentiel, de dyspraxie ou de troubles de l'attention avec ou sans hyperactivité (l'enfant peut avoir une dyslexie associée).
 - Être monolingue français (pas de bilinguisme).
- Être ou avoir été suivi pour des difficultés en mathématique.

Je me demande donc si en tant que logopède spécialisé en dyscalculie, vous auriez au sein de votre patientèle, des enfants correspondant à ces critères et dont les parents seraient susceptibles d'accepter de participer à cette étude. Si c'est le cas, pourriez-vous transmettre les informations concernant la recherche aux parents afin de solliciter leur participation. Cela me serait d'une grande aide dans la réalisation de mon mémoire et permettrait l'avancée des recherches scientifiques. Je m'engage à respecter l'autonomie et la volonté de l'enfant, à lui demander son avis sur sa participation, à le mettre au courant de l'étude dans laquelle il s'engage et à lui permettre de refuser ou d'arrêter sa participation à tout moment.

Je reste bien entendu à votre entière disposition pour tout renseignement complémentaire contact téléphonique ou rencontre éventuelle.

Je vous remercie du temps que vous avez passé à la lecture de cette lettre et espère une réponse favorable de votre part.

Delcour Coralie
Coralie.Delcour@student.uliege.be / 0497/24.11.29

4.1.2 Lettre aux parents d'enfants dyscalculiques



Psychologie & Neuroscience Cognitives

PsyNCog

Psychology & Neuroscience of Cognition



Madame, Monsieur, cher(s) parent(s),

Je m'appelle Coralie Delcour et j'effectue actuellement mes études à l'Université de Liège, en neuropsychologie. Je suis en dernière année, je réalise mon mémoire et mène une recherche, en collaboration avec Lucie Attout, chercheuse à l'Université de Liège, visant une meilleure compréhension des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques. Le but de cette recherche est de mieux cerner les caractéristiques de la dyscalculie et ainsi de pouvoir, à l'avenir, définir des pistes d'intervention plus efficaces pour la revalidation de ces troubles d'apprentissage.

Ainsi, j'observe des enfants fréquentant la 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} primaire. J'évaluerai leurs performances au cours de diverses tâches visuo-spatiales, de calcul, et de mémoire sous forme de petits jeux. La durée de testing est estimée à environ deux fois une heure. Ce testing se déroulera dans un endroit calme et connu de l'enfant (école, extrascolaire, école de devoirs, maison) à votre meilleure convenance.

Les résultats à l'ensemble des exercices resteront entièrement confidentiels et l'anonymat sera strictement respecté lors du traitement des données. Enfin, les enfants peuvent à tout moment décider de mettre fin à leur participation et ce sans justification de leur part.

Je me demande donc si en tant que parents, vous permettez que votre enfant participe à ces tests. Cela me serait d'une grande aide dans la réalisation de mon mémoire et permettrait l'avancée des recherches scientifiques. Je m'engage à respecter l'autonomie et la volonté de votre enfant, à lui demander son avis sur sa participation, à le mettre au courant de l'étude dans laquelle il s'engage et à lui permettre de refuser ou d'arrêter à tout moment même si vous avez donné votre accord.

Différents critères doivent être remplis pour que votre enfant puisse participer à cette étude :

- Être scolarisé en 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} primaire sans avoir sauté de classe.
- Ne pas avoir de diagnostic de haut potentiel, de dyspraxie ou de troubles de l'attention avec ou sans hyperactivité.
- Être monolingue français (pas de bilinguisme).
- Être suivi pour des difficultés en mathématique.

Si vous désirez m'aider dans la réalisation de cette étude, je vous demande de bien vouloir me contacter au 0497/24.11.29 ou à l'adresse mail suivante : Coralie.Delcour@student.uliege.be

Je reste bien entendu à votre entière disposition pour tout renseignement complémentaire.

Je vous remercie du temps que vous avez passé à la lecture de cette lettre et espère une réponse favorable de votre part.

Delcour Coralie
Coralie.Delcour@student.uliege.be / 0497/24.11.29

4.1.3 Lettre aux parents d'enfants contrôles



Psychologie & Neuroscience Cognitives

PsyNCog

Psychology & Neuroscience of Cognition



Madame, Monsieur,

Je m'appelle Coralie Delcour et j'effectue actuellement mes études à l'Université de Liège, en neuropsychologie. Je suis en dernière année, je réalise mon mémoire et mène une recherche, en collaboration avec le Dr. Lucie Attout, chercheuse à l'Université de Liège, visant une meilleure compréhension des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques. Pour ce faire, je cherche des enfants « contrôle » ne présentant pas de difficulté en mathématique.

Ainsi, j'observe des enfants fréquentant la 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} primaire. J'évaluerai leurs performances au cours de diverses tâches visuo-spatiales, de calcul, et de mémoire sous forme de petits jeux. La durée de testing est estimée à environ deux fois une heure. Ce testing se déroulera dans un endroit calme et connu de l'enfant (école, extrascolaire, école de devoirs, maison) à votre meilleure convenance.

Les résultats à l'ensemble des exercices resteront entièrement confidentiels et l'anonymat sera strictement respecté lors du traitement des données. Enfin, les enfants peuvent à tout moment décider de mettre fin à leur participation et ce sans justification de leur part.

Je me demande donc si en tant que parents, vous permettez que votre enfant participe à ces tests. Cela me serait d'une grande aide dans la réalisation de mon mémoire et permettrait l'avancée des recherches scientifiques. Je m'engage à respecter l'autonomie et la volonté de votre enfant, à lui demander son avis sur sa participation, à le mettre au courant de l'étude dans laquelle il s'engage et à lui permettre de refuser ou d'arrêter à tout moment même si vous avez donné votre accord.

Différents critères doivent être remplis pour que votre enfant puisse participer à cette étude :

- Être scolarisé en 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} primaire sans avoir sauté ou doublé de classe.
- Ne pas avoir de diagnostic de haut potentiel.
- Être monolingue français (pas de bilinguisme).
- Pas de trouble de l'apprentissage connu (dyslexie, dyspraxie, dyscalculie, hyperactivité, ...)

Je reste bien entendu à votre entière disposition pour tout renseignement complémentaire.

Je vous remercie du temps que vous avez passé à la lecture de cette lettre et espère une réponse favorable de votre part.

Delcour Coralie
Coralie.Delcour@student.uliege.be / 0497/24.11.29

4.2 Consentement



FACULTE DE PSYCHOLOGIE
ET DES SCIENCES DE L'EDUCATION

COMITE D'ETHIQUE
Président : Fabienne Collette
Secrétaire : Stéphane Adam

CONSENTEMENT ECLAIRE POUR DES RECHERCHES IMPLIQUANT DES SUJETS HUMAINS

Titre de la recherche	Exploration des habiletés visuo-spatiales chez les enfants dyscalculiques
Chercheur responsable	DELCOUR Coralie
Promoteur	ATTOUT Lucie
Service et numéro de téléphone de contact	Département de Psychologie, Cognition & Comportement : 04/366.46.56 Delcour Coralie : 0497/24.11.29

Je, soussigné(e),, en ma qualité de père, mère, tuteur ou tutrice de, déclare :

- avoir reçu, lu et compris une présentation écrite de la recherche dont le titre et le chercheur responsable figurent ci-dessus ;
- avoir pu poser des questions sur cette recherche et reçu toutes les informations que je souhaitais.

Je sais que, en ce qui concerne

- je peux à tout moment mettre un terme à sa participation à cette recherche sans devoir motiver ma décision et sans que quiconque subisse aucun préjudice ;
- son avis sera sollicité et il pourra également mettre un terme à sa participation à cette recherche sans devoir motiver sa décision et sans que quiconque subisse aucun préjudice ;
- je peux contacter le chercheur pour toute question ou insatisfaction relative à sa participation à la recherche ;
- les données recueillies seront strictement confidentielles et il sera impossible à tout tiers non autorisé de l'identifier ;

Je donne mon consentement libre et éclairé en tant que parent pour la participation de mon enfant en tant que sujet à cette recherche.

Lu et approuvé,

Date et signature

4.3 Anamnèse



Tél : 32(0)4 97 24.11.29 - Email : Coralie.Delcour@student.uliege.be

ANAMNESE

Université de Liège

Renseignements généraux

Nom de l'enfant :

Prénom de l'enfant :

Sexe : F – M

Date de naissance :

Classe :

Redoublement : oui/non Si oui, précisez :

Langue maternelle (parlée à domicile), si plusieurs langues, précisez :

Latéralité : G - D

Présence de troubles visuels : OUI/NON : Si oui, de quel type :

.....

Dernier bilan ophtalmologique (si connu).....

Profession de la mère :

Profession du père :

Suivi logopédique : oui/non Si oui, précisez la durée et le motif du suivi :

.....

Suivi psychologique : oui/non Si oui, précisez la durée et le motif du suivi :

.....

Résumé

La dyscalculie développementale est un trouble d'apprentissage spécifique aux mathématiques touchant 3 à 6% de la population générale. Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer ce déficit ; génétiques, neurobiologiques et cognitives. Au sein de ces dernières, la littérature souligne divers facteurs tels que les gnosies digitales, l'inhibition, l'attention, la mémoire de travail et la représentation sémantique du nombre, et le déficit d'accès. Parmi celles-ci, les habiletés visuo-spatiales semblent prendre une place importante.

Au cours de ce travail portant sur les habiletés visuo-spatiales chez des enfants dyscalculiques, nous avons observé, durant deux fois une heure, une population de 16 enfants dyscalculiques et de 16 enfants contrôles appariés sur le sexe, le niveau scolaire et la latéralité au cours de tâches évaluant diverses fonctions : compétences visuo-spatiales, attentionnelles, capacités en mémoire visuo-spatiale, en estimation numérique. Les capacités de raisonnement verbal et non verbal ainsi que les compétences mathématiques ont été relevées. L'objectif de ce travail était d'affiner les connaissances actuelles sur le profil cognitif des enfants dyscalculiques en se focalisant sur leurs compétences visuo-spatiales. Nos hypothèses suggèrent que les enfants dyscalculiques présenteraient des performances visuo-spatiales, attentionnelles et en mémoire à court terme visuo-spatiale plus faibles que les enfants contrôles.

Les résultats indiquent que les enfants dyscalculiques présentent davantage de difficultés que les enfants contrôles au niveau des habiletés visuo-spatiales et visuo-constructives alors que les habiletés visuo-perceptives ne posent pas de problème. L'apprentissage de pattern séquentiel en mémoire visuo-spatiale est également plus difficile pour les enfants dyscalculiques que pour les enfants contrôles. Les résultats de la présente étude ne permettent pas d'affirmer une distinction au niveau de la mémoire à court terme visuo-spatiale même si un impact de la structure semble se dessiner. Par contre, aucune différence entre les groupes n'a été relevée au niveau des compétences de déplacement attentionnel. Au niveau des performances en estimation numérique, les enfants dyscalculiques présentent, comme attendu, une tendance à la surestimation avec une représentation logarithmique de la ligne numérique mentale persistante dans le temps. Soulignons que les compétences d'estimation numérique sont corrélées avec les performances aux additions et aux soustractions ainsi qu'à la tâche de localisation mais que ces relations disparaissent lorsque les performances à la tâche de déplacement attentionnel sont considérées. L'absence de différence inter-groupes souligne que ce n'est pas une difficulté au niveau du déplacement attentionnel qui explique les résultats déficitaires des enfants dyscalculiques à ces épreuves.