THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

École doctorale : ISCE - Ingénierie pour la Santé la Cognition et l'Environnement
Spécialité : PCN - Sciences cognitives, psychologie et neurocognition
Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie et Neuro Cognition

Transfert des apprentissages chez les enfants porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination

Transfer of learning in children with Developmental Coordination Disorder

Présentée par :

Laureen JOSSERON

Direction de thèse :

Jérôme CLERC PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES	Directeur de thèse
Caroline JOLLY CHARGEE DE RECHERCHE, CNRS DELEGATION ALPES	Co-encadrante de thèse

Rapporteurs :

ALICE GOMEZ
PROFESSEURE DES UNIVERSITES, UNIVERSITE LYON 1 - CLAUDE BERNARD
YOUSSEF TAZOUTI
PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE DE LORRAINE

Thèse soutenue publiquement le **3 juillet 2025**, devant le jury composé de :

EMMANUEL SANDER, PROFESSEUR, UNIVERSITE DE GENEVE	Président
JERÔME CLERC, PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES	Directeur de thèse
ALICE GOMEZ, PROFESSEURE DES UNIVERSITES, UNIVERSITE LYON 1 - CLAUDE BERNARD	Rapporteure
YOUSSEF TAZOUTI, PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE DE LORRAINE	Rapporteur
KARINE MAZENS, MAITRESSE DE CONFERENCES HDR, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES	Examinatrice
JEREMY DANNA, CHARGE DE RECHERCHE HDR, CNRS DELEGATION OCCITANIE OUEST	Examinateur

Invités :

CAROLINE JOLLY
CHARGEE DE RECHERCHE, CNRS DELEGATION ALPES

RÉSUMÉ

Le transfert des apprentissages correspond à la capacité d'un individu à adapter ses connaissances à de nouvelles situations. Le transfert est un enjeu important chez les enfants au développement typique, notamment pour comprendre le développement cognitif et pour les apprentissages scolaires. Il est aussi un enjeu important chez les individus porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination (TDC), car il permet de mieux comprendre leurs difficultés motrices et de leur proposer des interventions efficaces. Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à l'apprentissage et au transfert de compétences graphomotrices et de stratégies de mémorisation chez des enfants au développement typique et porteurs d'un TDC âgés de 7 à 10 ans, et chez des adultes également porteurs ou non d'un TDC. Nous avons cherché à savoir si les participants étaient capables d'apprendre et de transférer leurs compétences tant sur le plan moteur que sur le plan cognitif. Nous avons également exploré dans quelle mesure les individus réussissaient à transférer ces connaissances sur le continuum transfert proche / transfert lointain. Dans une revue de portée (Chapitre 1), nous avons sélectionné 58 articles à partir de 2013 publications issues de 4 bases de données. Les résultats indiquent que les enfants porteurs d'un TDC présentent plus de difficultés à transférer des apprentissages moteurs en comparaison aux enfants au développement typique, cependant il semble que le transfert de stratégie cognitive soit conservé chez ces enfants et leur permet un transfert plus lointain. Puis dans une première étude (Chapitre 2), nous avons évalué l'apprentissage et le transfert de séquences graphomotrices à l'aide d'un paradigme de tâches isomorphes dans lequel les enfants devaient apprendre et transférer le tracé de pseudo-lettres. Les résultats de 4 études de cas chez l'enfant et l'adulte porteurs d'un TDC ont montré que les profils hétérogènes du TDC, en particulier la sévérité de leurs difficultés motrices et la présence d'une dysgraphie associée, pouvaient impacter l'apprentissage et le transfert de différentes manières. Dans le chapitre 3, nous présentons le développement d'une application pour évaluer l'apprentissage et le transfert de deux stratégies de mémorisation. Nous avons également réalisé deux études chez des enfants au développement typique âgés de 7 à 10 ans pour évaluer l'apprentissage et le transfert proche de la stratégie d'autorépétition (Étude 2) et de la stratégie de groupement catégoriel (Étude 3). Les résultats de l'étude 2 ont montré que la procédure utilisée, malgré l'amélioration de leurs performances stratégiques en tâche principale et leur maintien en tâche de transfert, n'a pas permis aux enfants de rendre la stratégie d'autorépétition bénéfique à leur rappel. Les résultats de l'étude 3 ont montré que les enfants sont capables

d’apprendre et de transférer la stratégie de groupement catégoriel, cependant nous mettons en évidence le fait que le transfert de la stratégie reste coûteux. Enfin dans une dernière étude (Étude 4), nous avons évalué la capacité des enfants au développement typique et des enfants porteurs d’un TDC à apprendre et à transférer la stratégie de groupement catégoriel vers deux tâches de transfert dissimilaires de l’apprentissage initial sur les caractéristiques de la tâche et sur les caractéristiques de la tâche et du contexte. Nous avons également évalué les compétences métacognitives des enfants lors du transfert de la stratégie. Les résultats issus de quatre études de cas d’enfants porteurs d’un TDC ont montré qu’ils réussissent à apprendre et à transférer la stratégie au même titre que les enfants au développement typique, ils présentent également des performances métacognitives similaires à leurs pairs. Nous discutons des implications de ces résultats sur la compréhension des difficultés vécues par les individus porteurs d’un TDC et de l’implication des résultats pour la conception théorique du transfert des apprentissages.

Mots clés : Transfert des apprentissages ; Transfert moteur ; Transfert de stratégie ; TDC ; Métacognition

ABSTRACT

The transfer of learning refers to an individual's ability to adapt acquired knowledge to new situations. Transfer is a major issue for typically developing children, particularly in understanding child development and school learning. It is also a critical issue for individuals with Developmental Coordination Disorder (DCD), as it helps to better understand their motor difficulties and to design effective interventions. In this doctoral dissertation, we focused on the learning and transfer of graphomotor skills and memory strategies in typically developing children and children with DCD aged 7 to 10 years, as well as in adults with and without DCD. We aimed to assess participants' ability to acquire and transfer both motor and cognitive skills. We also explored the extent to which individuals succeeded in transferring this knowledge along the near-to-far transfer continuum. In a scoping review (Chapter 1), we selected 58 articles from 2013 publications across four databases. The results indicate that children with DCD have more difficulty transferring motor learning compared to typically developing children. However, it appears that cognitive strategy transfer is preserved in these children, enabling them to achieve farther transfer. In a first study (Chapter 2), we assessed the learning and transfer of graphomotor sequences using an isomorphic task paradigm in which children had to learn and transfer the tracing of pseudo-letters. The results from four case studies of children and adults with DCD showed that the heterogeneous profiles of DCD—particularly the severity of motor difficulties and the presence of associated dysgraphia—can impact learning and transfer in various ways. In Chapter 3, we present the development of an application to assess the learning and transfer of two memory strategies. We also conducted two studies with typically developing children aged 7 to 10 years to evaluate the learning and near transfer of the rehearsal strategy (Study 2) and the organizational strategy (Study 3). The results from Study 2 showed that the procedure used did not enable the children to benefit from the rehearsal strategy in their recall. The results from Study 3 showed that children can learn and transfer the organizational strategy; however, we highlight that strategy transfer remains cognitively demanding. Finally, in a last study (Study 4), we assessed the ability of typically developing children and children with DCD to learn and transfer the organizational strategy to two dissimilar transfer tasks—dissimilar in terms of both task characteristics and context. We also evaluated the children's metacognitive skills during the transfer of the strategy. The results from four case studies of children with DCD showed that they can learn and transfer the strategy just like their typically developing peers, and they also display similar metacognitive performance. We discuss the implications of

these results for understanding the difficulties experienced by individuals with DCD, as well as for the theoretical conceptualization of learning transfer.

Key-words: Transfer of learning; Motor transfer; Strategy transfer; DCD; Metacognition

AVANT-PROPOS

Ce travail de thèse CIFRE est issu d'une collaboration entre d'une part l'Université Grenoble Alpes, et en particulier le Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (UMR 5105), et la Fondation d'entreprise OCIRP d'autre part. La Fondation d'entreprise OCIRP est une fondation à caractère social. En agissant en complément à l'action publique et associative, elle intervient sur les grandes questions autour de l'autonomie. Sa collaboration avec l'Université Grenoble Alpes permet à la Fondation d'entreprise OCIRP d'élargir son champ d'action autour du handicap, en soutenant des projets en faveur des enfants porteurs de troubles du neurodéveloppement, et en particulier, à travers cette thèse, des enfants porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination. Ce travail de thèse a été dirigé par Jérôme Clerc, professeur de psychologie à l'Université Grenoble Alpes, co-encadré par Caroline Jolly, chargée de recherche CNRS à l'Université Grenoble Alpes, et supervisé par Florence Sorin-Gomez, coordinatrice de projets mécénat de la Fondation d'entreprise OCIRP.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1 – Introduction générale 8

Transfert des apprentissages 8

Le trouble Développemental de la Coordination (TDC) 36

Transfert des apprentissages chez les enfants porteurs d'un TDC 51

Problématique 57

Chapitre 2 : Transfert des apprentissages moteurs et stratégiques chez les enfants porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination (TDC) : Une revue de portée. 60

Objectif de la revue de portée 61

Conclusion et contribution à la thèse 75

Chapitre 3 : Apprentissage et transfert graphomoteur chez des enfants âgés de 7 à 10 ans et des adultes au développement typique, et chez des enfants et un adulte porteurs d'un TDC 77

Introduction 78

Méthode 83

Résultats 88

Discussion 104

Chapitre 4 : Développement et évaluation d'une application pour l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel chez les enfants au développement typique âgés de 7 à 10 ans. 109

Développement d'une application pour l'apprentissage et le transfert de l'utilisation de stratégies de mémorisation 110

Introduction Études 2 et 3 – Test de l'application pour l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel 121

Méthode Étude 2 124

Résultats de l'Étude 2 127

Discussion de l'Étude 2 134

Méthode de l'Étude 3 138

Résultats de l'Étude 3 142

Discussion de l'Étude 3 154

Conclusion et contribution à la thèse 159

Chapitre 5 : Métacognition et transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez des enfants au développement typique et des enfants porteurs d'un TDC âgés de 7 à 10 ans. 161

Introduction 162

Méthode 166

Résultats 173

Discussion *189*

Conclusion et contribution à la thèse *194*

Chapitre 6 – Discussion générale 195

Problématique et synthèse des principaux résultats *196*

Implication des résultats pour la compréhension des difficultés vécues par les enfants porteurs d'un TDC *198*

Les effets des connaissances préalables, de l'entraînement et de la distance entre les tâches sur l'adaptation en tâche de transfert *201*

Perspectives *203*

Conclusion *205*

Chapitre 1 – Introduction générale

Transfert des apprentissages

Définition et généralités

Le transfert d'apprentissage est la capacité pour un individu à adapter et appliquer, dans une nouvelle tâche, des connaissances précédemment acquises dans une première tâche. Il renvoie à la capacité à se servir des expériences passées pour agir de façon efficace sur son environnement. Le transfert permet d'être plus efficace, mais également d'économiser ses ressources puisqu'il permet de ne pas entièrement réapprendre ce qui a déjà été appris (Chi & VanLehn, 2012 ; Hattie & Donoghue, 2016).

Le transfert est une thématique de recherche ancienne, mais toujours d'actualité puisqu'elle présente plusieurs intérêts à la fois théoriques et appliqués. En s'intégrant dans les modèles cognitivistes, le transfert questionne directement la nature des représentations, et leur dimension plus ou moins flexible (Stad et al., 2017). L'étude du transfert des apprentissages joue un rôle important pour comprendre le développement cognitif de l'enfant, la capacité à adapter des connaissances à de nouvelles situations étant considérée comme un élément fondamental du développement cognitif (Brown et al., 1986). Enfin, l'étude du transfert d'apprentissage a une dimension appliquée, car elle concerne les pratiques éducatives et les pratiques interventionnelles, l'objectif principal de l'éducation formelle et des interventions étant que les élèves et les patients puissent généraliser les connaissances apprises, à l'école ou au cabinet, dans leur vie quotidienne et/ou professionnelle (Day & Goldstone, 2012).

Différents cadres théoriques

À travers les travaux issus de la psychologie, des sciences de la motricité et des sciences cognitives, la question de la réutilisation des apprentissages ou des connaissances a fait l'objet de nombreuses recherches afin d'en connaître sa nature, les processus qui le permettent ainsi que les façons de l'optimiser dans une perspective éducative. Nous donnerons ici un aperçu des cadres théoriques développés autour du transfert de différents types d'apprentissages.

Transfert associationniste

Les travaux pionniers dans le domaine du transfert d'apprentissage sont ceux de Thorndike et Woodworth (1901). Développés au début du 20e siècle, ces travaux s'inscrivent dans un contexte où des questions pédagogiques émergent, notamment sur l'enseignement de

compétences générales ou spécifiques pour favoriser le transfert (Thorndike, 1903, 1924). Dans ce cadre, les auteurs proposent la théorie des éléments identiques. Selon cette théorie, plus les tâches partagent des éléments communs, plus le transfert sera facilité. En effet, cette première conceptualisation du transfert se base sur les similarités et dissimilarités entre les tâches. Depuis, plusieurs cadres théoriques du transfert ont également évolué dans ce sens (Robins, 1996).

Transfert Analogique

Dans les années 80, le cadre du transfert analogique permet de conceptualiser la façon dont les connaissances peuvent être réutilisées dans de nouvelles situations. Le transfert analogique repose sur la notion de raisonnement analogique, une compétence permettant de mettre en lien des situations structurellement similaires (Vosniadou, 1989).

Le transfert analogique est possible grâce à l'isomorphisme des tâches ou des situations. On parlera alors de tâche source pour désigner la première situation à laquelle l'individu est exposé et de tâche cible pour désigner la situation isomorphe sur laquelle peuvent être transférées les connaissances apprises en tâche source. L'isomorphisme des tâches repose sur la similarité de structure des tâches et la dissimilarité de leur surface, aussi appelée habillage de la tâche. La structure renvoie aux relations qu'entretiennent les objets, qui ne peuvent être modifiées sous peine d'en modifier la structure (Bracke, 1998). La surface d'une tâche comporte les objets et les attributs des objets impliqués dans la tâche. Ainsi, c'est la structure commune aux deux tâches qui rend le transfert possible. Pour pouvoir transférer ces connaissances de la tâche source à la tâche cible, l'individu doit percevoir le caractère pertinent de la structure, au-delà des différences de surface qui, elles, ne sont pas pertinentes. Pour transférer les connaissances d'une tâche à l'autre, il est donc essentiel de pouvoir reconnaître les ressemblances structurelles des deux tâches en dépit d'éléments de surface différents (Gentner et al., 1993).

Ainsi, dans le but d'utiliser avec profit des connaissances précédemment apprises dans une nouvelle tâche, l'individu doit être capable de sélectionner les connaissances pertinentes, d'adapter la représentation de ses connaissances à la nouvelle tâche, et de les appliquer efficacement. Plusieurs processus sous-tendent le transfert analogique.

1. Les connaissances sont initialement apprises lors d'une première tâche. Les connaissances sont donc utilisées dans le cadre spécifique de cette tâche pour laquelle on

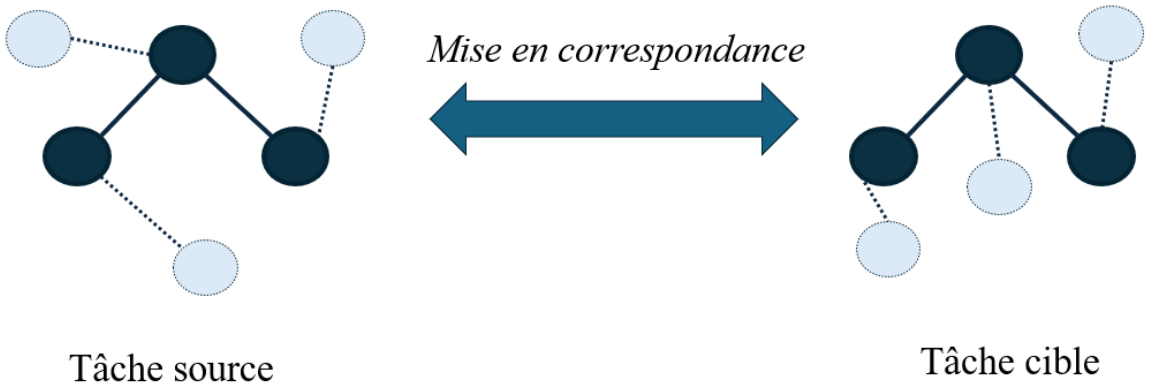
retrouve une structure et des éléments de surface qui lui sont propres. À l'issue de cette première expérience, l'individu crée une représentation, comprenant tous les aspects de la tâche : la structure et la surface de la tâche. La qualité de la représentation de la tâche source est importante, puisque les connaissances acquises devront pouvoir être évoquées et réutilisées efficacement en tâche cible.

2. Face à la tâche cible, l'individu doit tout d'abord considérer la tâche source comme pertinente pour le traitement de la tâche de transfert. Cette étape est nommée évocation de la source. Ainsi, la représentation de la tâche de transfert permet à l'individu de la comparer à la représentation de la tâche principale et de sélectionner celle-ci comme pertinente pour la résolution de cette nouvelle tâche. L'individu va donc procéder à la comparaison des deux tâches pour analyser leurs similitudes. Dans le cadre du transfert analogique, ce processus est désigné sous le nom de mise en correspondance *(*ou *structure-mapping*, Gentner, 1983 ; Ripoll & Coulon, 2001). L'individu va ainsi faire correspondre tous les éléments de la tâche source et de la tâche cible afin d'en repérer les points communs et les différences. Les caractéristiques des deux tâches et la mise en correspondance sont représentées schématiquement en Figure 1.

3. Si l'individu identifie la tâche source comme pertinente pour la résolution de la tâche cible, alors les connaissances apprises lors de cette première tâche pourront être transférées à la seconde. Pour ce faire, l'individu devra appliquer ses connaissances, en les adaptant aux éléments nouveaux caractérisant la nouvelle tâche et son contexte.

Figure 1

Représentation schématique de la structure commune et des caractéristiques de surface différentes entre deux tâches



Note. La tâche source et la tâche cible ont une structure commune (en bleu foncé) et des caractéristiques de surface différentes (en bleu clair). Le processus de mise en correspondance permet de comparer les deux tâches et de mettre en évidence la structure commune et les éléments non pertinents.

Taxonomie du transfert de Barnett & Ceci (2002)

Sur la base des nombreuses études sur le transfert des apprentissages comprenant des tâches principale (appelée source dans le cadre du transfert analogique) et de transfert (appelée cible dans le cadre du transfert analogique) très variables, Barnett et Ceci (2002) proposent une taxonomie pour décrire les différentes dimensions du transfert. Pour les auteurs il est possible de distinguer le contenu, c'est-à-dire ce qui est transféré, et le contexte, c'est-à-dire vers quoi et quand est transféré le contenu. Les auteurs considèrent que le contenu est constitué de 3 dimensions : la compétence apprise et sa possible généralisation, des changements de performances, et la demande mnésique des tâches. En ce qui concerne le contexte, les auteurs proposent que la tâche principale et la tâche de transfert puissent être différentes sur 6 dimensions : le domaine de connaissance, le contexte physique, le contexte temporel, le contexte fonctionnel, le contexte social, et la modalité de la tâche. Ces 6 dimensions et des exemples sont présentés en Figure 2. Avec cette taxonomie, Barnett et Ceci mettent en évidence la multiplicité des dimensions pouvant être différentes entre la tâche principale et la tâche de

transfert, et ainsi la difficulté à caractériser le transfert. Enfin, cette taxonomie montre également que le transfert proche et le transfert lointain sont difficiles à distinguer puisqu'ils se situent sur un continuum.

Figure 2

Taxonomie du transfert pour le contexte, adapté de Barnett et Ceci (2002)

	Transfert proche ⟶	**Transfert Lointain**
Domaine de connaissance	Souris vs. Rat	Science vs. Art
Contexte physique	Même pièce dans l'école	Ecole vs. Plage
Contexte temporel	Pendant la même session	À des années d'intervalle
Contexte fonctionnel	Tâches académiques	Tâche académique vs. Jeux
Contexte social	Tâches individuelles	Individuelle vs. En groupe
Modalité	À l'écrit	À l'écrit vs. L'oral

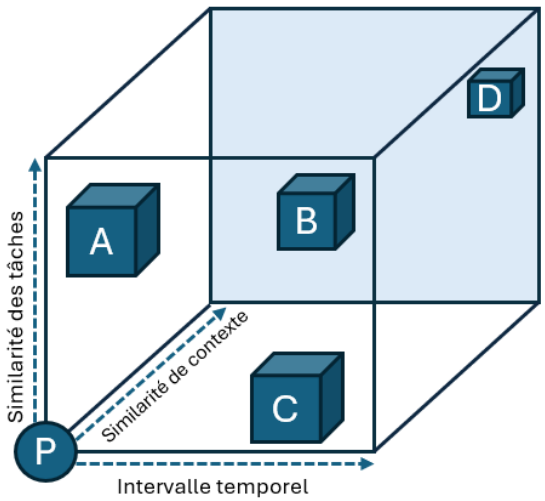
Modèle conceptuel de Klahr et Chen (2011)

Les différences et similarités entre les tâches mènent à la notion de distance entre les tâches. Plus la tâche principale et la tâche de transfert sont dissimilaires, plus il est possible de considérer le transfert comme lointain. Klahr et Chen (2011) proposent un modèle conceptuel tridimensionnel pour caractériser cette distance (Figure 3). Basé en partie sur la taxonomie établie par Barnett et Ceci (2002), et en particulier sur ce qui était considéré par ces auteurs comme relevant du contexte des deux tâches, le modèle de Klahr et Chen opère une distinction entre similarité des tâches, similarité des contextes, et intervalle temporel, pour rendre compte de la distance entre les tâches. La similarité des tâches renvoie aux caractéristiques partagées par les deux tâches telles que : le domaine de connaissances (p. ex. les mathématiques, la physique, la biologie), le format de la tâche et le matériel, les procédures et les buts de la tâche tels qu'ils sont présentés par les expérimentateurs. Les similarités de contextes se réfèrent d'une

part aux aspects physiques des tâches, c'est-à-dire la localisation physique où la tâche principale et la tâche de transfert ont été rencontrées, comme l'école ou le laboratoire par exemple. D'autre part, elles concernent les aspects sociaux qui, eux, renvoient aux personnes (le professeur ou l'expérimentateur) et aux activités (l'évaluation, le jeu, etc.) impliquées dans les deux tâches. Enfin, l'intervalle temporel renvoie au temps écoulé entre les tâches principale et de transfert. Les auteurs proposent de cette manière une caractérisation du transfert proche et du transfert lointain, avec l'idée que plus les tâches et contextes sont dissimilaires et l'intervalle temporel est long, plus le transfert est lointain. Le transfert apparaît donc sur un continuum allant du transfert proche au transfert lointain.

Figure 3

Plan en trois dimensions du modèle conceptuel, adapté de Klahr & Chen (2011)



Note. La tâche principale est représentée ici par le point P. Le point D représente une tâche de transfert éloignée sur l'intervalle temporel, et caractérisée par des différences importantes de contexte et de tâche avec la tâche principale.

Le cas de l'apprentissage et du transfert de stratégies de mémorisation volontaires

Très tôt, des chercheurs ont tenté de comprendre les processus de transfert sous l'angle développemental (Brown & Campione, 1984 ; Brown, 1989). En effet, identifier la façon dont se développement les capacités à transférer chez l'enfant peut aider à mieux cerner quels

processus cognitifs et métacognitifs composent le transfert. De nombreux travaux ont été menés sur le transfert analogique, ayant permis de montrer que les jeunes enfants peuvent transférer des solutions d'un problème à l'autre pour peu qu'ils y soient préparés par un entraînement (Brown & Kane, 1988). D'autres recherches se sont développées à la même période concernant le transfert de procédures cognitives et/ou motrices, attestant là aussi de la capacité de jeunes enfants à transférer efficacement une procédure d'une tâche à une autre (Brown, 1990). Une stratégie est une procédure ou un ensemble de procédures mises en œuvre pour atteindre des buts de plus haut niveau (Lemaire & Reder, 1999). Parmi les procédures étudiées, certaines revêtent une importance particulière pour le développement de la mémoire : il s'agit des stratégies de mémorisation.

Les stratégies de mémorisation sont des procédures contrôlées qui permettent à l'individu d'améliorer ses performances mnésiques. L'acquisition des stratégies de mémorisation est essentielle au développement mnésique, car elles traduisent une mémorisation volontaire (Melot, 1985 ; Melot & Corroyer, 1982), difficile et peu efficace dans la petite enfance (Sonne et al., 2020), mais potentiellement améliorable par un soutien métacognitif (Melot, 1998). Elles participent aussi plus largement au développement d'habiletés cognitives (Schneider & Bjorklund, 1998), et à celui de structures cognitives comme la mémoire de travail qui bénéficie de l'utilisation de la stratégie d'autorépétition (Hitch et al., 2025). Les stratégies mnésiques et leur transfert chez l'enfant ont longtemps été étudiés. L'utilisation de ce type de stratégie est importante pour l'apprentissage de nombreuses compétences académiques (Bjorklund et al., 2009). Il est possible de distinguer les stratégies de mémorisation utilisées pendant l'apprentissage (i.e. la phase d'encodage) appelées les stratégies d'encodage, et les stratégies utilisées pendant le maintien et le rappel, appelées stratégies de récupération. Cependant, plusieurs stratégies peuvent être utilisées à la fois pendant l'encodage et pendant le rappel, c'est le cas notamment de la stratégie d'autorépétition et de la stratégie de groupement catégoriel.

Stratégie d'autorépétition. La stratégie d'autorépétition est une stratégie mnésique consistant en la répétition cumulative d'items dans leur ordre de présentation. En utilisant cette stratégie, l'individu maintient les informations, ici des mots, en opérant un rafraîchissement en mémoire de travail verbale (Baddeley, 2000 ; Hitch et al., 2025), dans le but de mieux les mémoriser (Oberauer, 2019). La stratégie d'autorépétition est une stratégie mnésique produite spontanément chez l'adulte, et couramment utilisée lorsqu'il est nécessaire de retenir des

informations dans un ordre donné (Dunlosky & Kane, 2007 ; Morrison et al., 2016). Le transfert de la stratégie d'autorépétition est étudié depuis longtemps chez l'enfant (Gruenenfelder & Borkowski, 1975 ; Schneider et al., 2004). Dans une étude récente, Chan et al. (2019) montrent qu'après un entraînement à la stratégie d'autorépétition et/ou à la stratégie de groupement catégoriel, les enfants de 6 à 9 ans sont capables de réutiliser les stratégies dans une tâche de résolution de problème, permettant ainsi le transfert lointain de la stratégie.

Stratégie de groupement catégoriel. La stratégie de groupement catégoriel est une stratégie mnésique qui consiste à organiser des informations en catégories afin de faciliter leur mémorisation. Dans les paradigmes expérimentaux fréquemment utilisés pour évaluer les compétences de l'enfant à utiliser cette stratégie, des items visuels sont présentés et on observe si l'enfant va de lui-même déplacer les items pour les regrouper en catégories. Dans cette stratégie, il est possible de différencier le *sorting* et le *clustering*. Le premier désigne le fait d'organiser (*to sort* : trier) les items afin de faciliter l'encodage : les items sont organisés en catégories au moment où l'enfant essaie de les mémoriser. Le second désigne le fait de rappeler les items par catégories (*to cluster :* grouper) : l'organisation catégorielle des items s'observe alors au rappel. Ces deux versants de la stratégie de groupement catégoriel peuvent être évalués quantitativement et avec précision chez l'enfant. Cependant, le *clustering* peut être en partie expliqué par les processus associatifs en mémoire sémantique (Hasselhorn, 1992), ainsi la mesure du *sorting* pendant l'encodage est une mesure plus pure de la stratégie. Cependant, les enfants peuvent utiliser la stratégie de groupement catégoriel, mais ne pas manipuler spontanément le matériel avant qu'on ne leur présente la stratégie. Ainsi, la mesure du *clustering* est complémentaire à la mesure du sorting même si elle traduit moins une évaluation directe de l'usage de la stratégie de groupement catégoriel.

En ce qui concerne le transfert de cette stratégie, dès 1980, Ringel et Springer montrent que les enfants de 7- 9 ans sont capables de transférer la stratégie de groupement catégoriel lorsqu'ils ont reçu des instructions élaborées, un entraînement et des feedbacks sur l'utilisation de la stratégie. Une autre étude plus récente montre que le transfert proche de la stratégie de groupement catégoriel est possible chez les enfants de 8-11 ans (Schleepen & Jonkman, 2014). En effet, les auteurs ont montré que les enfants sont capables de généraliser la stratégie à une nouvelle tâche. Dans cette étude, la tâche de transfert est similaire en structure à la tâche principale, mais de nouveaux items et donc de nouvelles catégories sont présentés. La présentation de nouveaux items, et donc une faible variation du contenu des tâches, en fait une

étude mesurant le transfert proche. Dans l'étude de Clerc et collaborateurs (2021), les auteurs montrent que des enfants de 5 à 7 ans peuvent transférer la stratégie de groupement catégoriel à une tache voisine (transfert proche), mais pas ses bénéfices au rappel. Cette étude montre ainsi que des performances stratégiques élevées ne mènent pas toujours à l'amélioration attendue des performances mnésiques : le transfert a effectivement eu lieu puisque la stratégie est produite correctement en tâche de transfert, mais elle se révèle moins efficace qu'en tâche principale puisqu'elle mène à des performances mnésiques significativement moins élevées en tâche de transfert qu'en tâche principale. Ce type de pattern a été nommé t-UD, pour déficience d'utilisation due au transfert (transfer-Utilization Deficiency), nous développerons en détail les conditions d'apparition de la t-UD dans la partie **Conditions de réussite et d'échec du transfert (page 27).**

Apprentissage et transfert moteur

Définitions de l'apprentissage moteur. L'apprentissage moteur est défini comme : « un ensemble de processus associé à la pratique ou l'expérience qui mène à des changements relativement permanents dans la capacité à effectuer un mouvement » (Schmidt, 1988). Selon Krakauer et collaborateurs (2019), l'apprentissage moteur peut être défini de deux manières. La première correspond à l'acquisition, c'est-à-dire les processus qui permettent à un individu d'acquérir la capacité à identifier rapidement le but d'un mouvement dans une tâche et un contexte particulier, à sélectionner l'action correcte étant donné l'état du corps, et à exécuter cette action avec précision. La seconde correspond au maintien de la compétence, c'est-à-dire la capacité à maintenir un niveau de performances sous des conditions changeantes. Les définitions données par Krakauer et collaborateurs prennent en compte plusieurs composantes de l'action motrice, en particulier 3 étapes de l'action motrice que sont la sélection des buts, la sélection de l'action à réaliser et l'exécution de l'action elle-même, et enfin le transfert de cette action motrice dans différentes conditions. Le transfert est donc ici partie prenante de l'apprentissage, dont il est la dernière étape. Par ailleurs, l'apprentissage moteur repose sur la création et la consolidation de modèles internes à travers les expériences motrices.

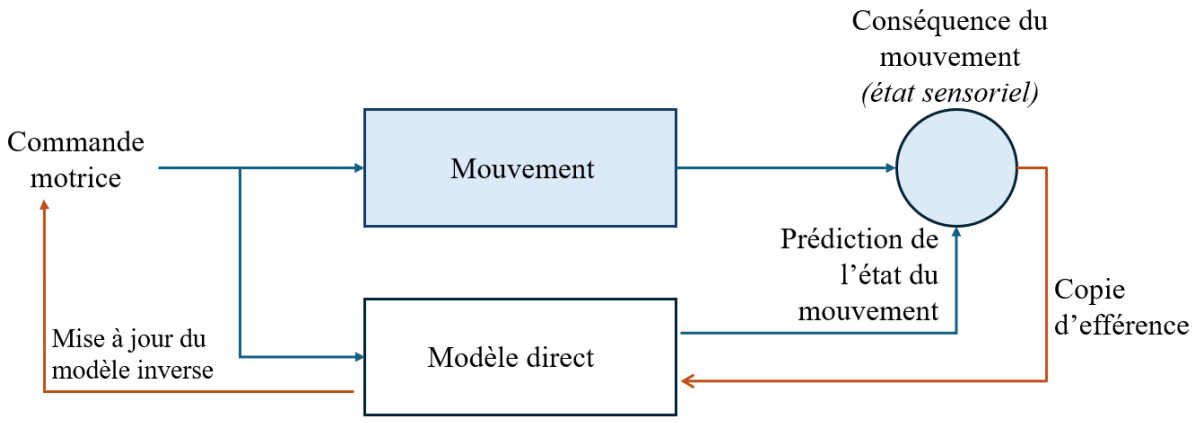
Modèles internes. Les modèles internes (Wolpert et al., 1995) sont des représentations utilisées pour simuler, prédire et corriger un mouvement. Les modèles internes se divisent en deux catégories : les modèles inverses (*inverse models*) qui servent à simuler et choisir les commandes motrices nécessaires pour réaliser un mouvement et les modèles directs (*forward models*) qui permettent de prédire les conséquences des commandes motrices (Kawato, 1999,

Kawato & Wolpert, 2007). Le modèle inverse assure le contrôle dit « feedforward » (*feedforward control*) : avec ce type de contrôle, l'individu, avant de réaliser un mouvement et grâce aux informations reçues de son propre corps et de l'environnement, va élaborer les commandes motrices, ou paramètres du mouvement, afin de réaliser le mouvement souhaité. Le choix des commandes motrices, à travers la construction du modèle inverse, est sélectionné à travers l'apprentissage moteur. Les multiples expériences de mouvement vécues par un individu vont perfectionner le choix des commandes motrices pour l'atteinte d'un but (Wolpert & Kawato, 1998).

Les modèles directs servent à prédire les conséquences du mouvement en parallèle à l'exécution du mouvement elle-même alors que les modèles directs servent à évaluer les conséquences d'un mouvement en générant un signal d'erreur correspondant à la différence entre les conséquences prédites et les conséquences réelles du mouvement. La réception d'une copie d'efférence permet au modèle direct de générer ce signal d'erreur et d'ajuster les mouvements futurs (voir Figure 4).

Figure 4

Représentation schématique adaptée des modèles internes pour l'action



Note. Le modèle inverse permet d'effectuer une commande motrice en élaborant les paramètres du mouvement et le modèle direct génère des prédictions quant aux conséquences du mouvement. Le modèle direct reçoit une copie d'efférence permettant de générer une erreur de prédiction correspondant à la différence entre les conséquences du mouvement prédites et réelles. Si les conséquences du mouvement sont différentes de celles prédites, alors le modèle inverse sera mis à jour pour modifier les paramètres du mouvement dans les actions futures.

Précédemment nommés programmes moteurs (Keele, 1968 ; Schmidt, 1975), les modèles internes sont considérés comme des représentations du mouvement construits à travers l'apprentissage et consolidés en mémoire à long terme. Il est possible d'évaluer la construction et la mise à jour des modèles internes d'un individu à travers l'adaptation sensorimotrice, l'apprentissage de séquences (Doyon & Benali, 2005) et l'apprentissage de novo (Krakauer et al., 2019). Le résumé des différentes façons d'évaluer l'apprentissage moteur est présenté en Figure 6.

Adaptation sensorimotrice. L'adaptation sensorimotrice correspond à la modification d'un mouvement en réponse à des changements dans les entrées sensorielles ou motrices venant de l'environnement (Seidler, 2010), c'est une façon d'observer les interactions entre l'individu et son environnement pendant la planification et la production du mouvement. Les changements de l'environnement et les changements de l'état du corps de l'individu sont constants, ce qui nécessite une adaptation des actions motrices. L'adaptation sensorimotrice est le résultat d'une mise à jour, ou réactualisation, après une inadéquation entre les conséquences prédites et les conséquences réelles d'un mouvement (Wolpert & Gramani, 2000).

L'adaptation reflète le besoin d'ajustement du programme moteur pour maintenir la même performance. Elle a été régulièrement évaluée dans des paradigmes de perturbations visuelles (Krakauer et al., 2000), et dans des paradigmes de perturbations de force pendant une tâche de pointage (Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994). L'objectif de ce genre de paradigme est de voir comment des programmes moteurs existants vont s'ajuster pour maintenir des performances dans un contexte d'erreurs induit par des perturbations. Une adaptation sensorimotrice réussie, c'est-à-dire des performances similaires aux performances avant la perturbation, est possible après la réduction d'erreurs au fur et à mesure des essais. Un autre indicateur d'une adaptation réussie est également la présence d'effets consécutifs à l'adaptation (*aftereffects*). Les effets consécutifs correspondent au fait que la mise à jour du programme moteur continue d'exister alors que la perturbation a été retirée. Le programme moteur a alors été modifié de façon permanente même si les participants sont conscients que la perturbation n'est plus appliquée. Cependant, le retour au mouvement avant perturbation est possible, également après plusieurs essais, mais plus rapidement (*savings*).

Apprentissage de séquences. Un mouvement est un ensemble d'actions distinctes organisées dans un ordre temporel particulier. L'apprentissage de séquences correspond à

l'apprentissage temporel d'une combinaison de mouvements isolés en une seule action fluide et cohérente (Krakauer et al., 2019).

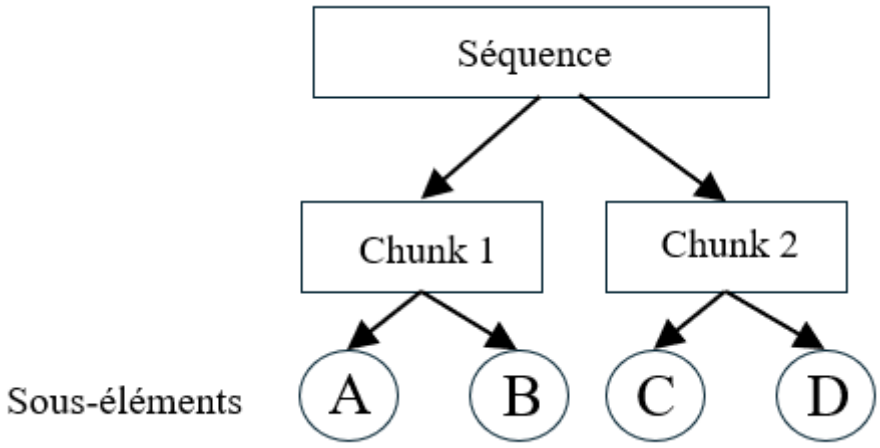
L'apprentissage de séquences peut être conceptualisé de deux façons : les séquences d'actions distinctes, c'est-à-dire sélectionner l'ordre d'action à réaliser pour effectuer une action (par exemple, l'ordre des actions nécessaires pour démarrer une voiture : appuyer sur la pédale d'embrayage, passer une vitesse, appuyer sur la pédale d'accélération, etc.) et l'exécution d'une action séquentielle continue (par exemple, le pattern d'activation des muscles lors d'un revers au tennis). La façon de mesurer l'apprentissage de séquences dans la recherche est régulièrement basée sur l'apprentissage de séquences d'actions distinctes. La tâche la plus utilisée pour évaluer l'apprentissage de séquences est une tâche appelée SRTT (*Serial Reaction Time Task*). Dans cette tâche, une série de stimuli, présentés successivement, est présentée sur un écran et les participants doivent appuyer sur un bouton du clavier correspondant à chaque stimulus. Les stimuli peuvent être présentés et répétés dans le même ordre ou présentés aléatoirement. La réduction du temps de réponse des participants, induit par la prédiction de l'apparition des stimuli, fournit une mesure fiable de l'apprentissage de séquences (Clark & Ivry, 2010). Bien que cette tâche soit la plus utilisée pour évaluer l'apprentissage de séquences, d'autres types de tâches peuvent aussi être utilisées comme l'apprentissage de séquences simples composées de quelques sous-éléments, comme presser plusieurs boutons du clavier à la suite, avec pour objectif d'être de plus en plus rapide et précis dans l'exécution de la séquence (Kami et al., 1995 ; Wiestler & Diedrichsen, 2013).

L'apprentissage de séquences d'action reposerait sur un assemblage de plusieurs éléments appelés *chunks* (Figure 5). Les sous-éléments d'une séquence ne seraient pas représentés un à un, mais plutôt groupés dans le but de faciliter l'exécution rapide de la séquence. Ainsi, un unique mouvement continu est constitué d'une séquence de plusieurs sous-éléments et il est nécessaire d'apprendre à sélectionner les sous-éléments à exécuter dans le bon ordre. Dans tous types de comportements séquentiels, les sous-éléments peuvent être assemblés pour créer des *chunks*. De la même manière que les *chunks* mnésiques permettent le maintien des informations en mémoire de travail (Hitch et al., 2025 ; Miller, 1956), les *chunks* moteurs (Gobet et al., 2016) sont des regroupements de séquences de mouvements élémentaires permettant une récupération plus rapide des séquences de mouvements à effectuer. La création des chunks reposerait sur la répétition d'une même séquence d'action, basée sur des concepts

de détection des régularités de l'environnement, aussi appelé apprentissage statistique (Perruchet & Pacton, 2006).

Figure 5

Représentation schématique de la composition d'une séquence



Note. Schéma adapté de Krakauer et al. (2019). Dans ce modèle hiérarchique, les sous-éléments de la séquence sont organisés dans des chunks plus larges.

Apprentissage de novo. Alors que l'apprentissage de séquences repose sur l'apprentissage sériel de mouvements déjà connus et que l'adaptation sensorimotrice repose sur la mise à jour d'un mouvement déjà connu également, l'apprentissage de novo repose en revanche sur la création d'un nouveau modèle inverse. Dans l'apprentissage de novo, les individus doivent apprendre à sélectionner et à exécuter une nouvelle action en fonction des buts. Ce type d'apprentissage a été moins étudié dans la littérature puisqu'il est rare que des mouvements soient tout à fait nouveaux. L'apprentissage de novo est plus lent contrairement à l'adaptation et à l'apprentissage de séquences, ceci pouvant s'expliquer par le fait qu'il serait difficile pour les individus de découvrir les actions nécessaires pour arriver aux buts recherchés (Krakauer et al., 2019). De plus, la recherche dans l'espace des actions possibles peut être longue, car l'apprentissage de novo nécessite que les individus génèrent des actions non familières et donc nécessite l'activation de nouveaux patterns d'activations neuronales (Sadtler et al., 2014).

Figure 6

Résumé des différentes tâches pour évaluer l'apprentissage moteur

	Adaptation sensorimotrice	Apprentissage de séquence	Apprentissage de novo
	Mise à jour d'un mouvement connu à travers le modèle direct	Apprentissage sériel de sous-éléments et regroupement en chunks	Recherche des paramètres du mouvement dans une action nouvelle
Types de tâche	Perturbation visuelle / Perturbation de force	Séquence simple / SRTT	Mouvement nouveau
Changement de performances après apprentissage	Performances similaires après perturbation et avant perturbation	Augmentation du temps de réponse	Augmentation de la vitesse et de la précision

Note. Résumé des différentes tâches permettant de mesurer l'apprentissage moteur.

Transfert moteur. Dans la littérature il est généralement admis que l'apprentissage moteur mène effectivement à des améliorations de performances, mais doit également mener au transfert de la compétence dans de nouveaux contextes (Shea & Morgan, 1979 ; Shmuelof et al., 2012).

Le transfert d'apprentissage moteur est défini comme la capacité d'un individu à appliquer une compétence motrice, précédemment acquise, à une nouvelle tâche (Seidler & Noll, 2008), et comme le fait que l'apprentissage d'une compétence motrice influence l'apprentissage d'une autre compétence ou d'une variation de cette compétence (Müssgens & Ullén, 2015). Ainsi, un apprentissage moteur réussi est considéré en plusieurs étapes : l'acquisition, le maintien, et le transfert. Les études portant sur l'apprentissage moteur évaluent le transfert pour vérifier la flexibilité des représentations motrices acquises (Seidler, 2010). Selon Seidler (2010), le transfert semble impliquer la récupération d'une trace mnésique motrice, permettant à l'individu *« d'avancer rapidement dans les premières étapes de l'apprentissage* ». Ainsi, le transfert d'apprentissage moteur implique la récupération de représentations précédemment acquises, qui favoriserait un nouvel apprentissage. Plusieurs types de tâche de transfert sont couramment utilisés dans la littérature, par exemple le transfert inter-manuel, et le transfert vers une tâche similaire en miroir (Censor et al., 2012).

Braun et ses collaborateurs (2009 ; 2010) avancent l'idée que les expériences motrices passées permettent une amélioration de l'efficacité des nouveaux apprentissages moteurs. Dans leur étude (Braun et al., 2010), les participants devaient réaliser plusieurs essais d'atteinte de cible en réalité virtuelle. Pour chaque essai, les participants étaient exposés à des transformations visuomotrices avec des structures similaires, mais des variations aléatoires de paramètres. Les participants percevaient visuellement une main virtuelle qui devait représenter leur propre main, la main virtuelle subissait une transformation par rotation, et les participants devaient atteindre une cible. Pour chaque essai, la main subit toujours une rotation (structure), mais à des angles de rotation différents, entre -90° et +90°. Après plusieurs essais, une phase de test de l'apprentissage était réalisée sur un bloc d'essai avec une rotation à +60°. Les résultats montrent que l'apprentissage est plus rapide pour le groupe qui a été exposé aux tâches avec les transformations par rotations aléatoires que pour le groupe qui a réalisé les essais sans transformation.

Pour les auteurs, l'apprentissage moteur passe par un ajustement des paramètres du contrôle du mouvement. Ainsi, apprendre un mouvement revient à faire une recherche à travers l'espace des paramètres possibles. Lorsqu'un individu doit faire un nouveau mouvement qui a la même structure qu'un mouvement préalablement appris, alors l'individu apprend plus rapidement à réaliser le nouveau mouvement. Ceci reposerait sur l'extraction de règles générales à partir des paramètres connus d'un ou plusieurs mouvements. La connaissance de cette structure, ce que les auteurs appellent l'apprentissage de structure (*structure learning*), permet, lors de l'apprentissage d'un nouveau mouvement, de réduire l'espace des paramètres possibles. Ainsi, l'apprentissage de la structure par l'extraction de règles permet de guider l'exploration des paramètres en réduisant l'espace des paramètres possibles. L'espace des paramètres étant réduit, la recherche des paramètres est plus rapide, donc l'individu apprend le mouvement plus vite. Dans leur étude, les participants ont été exposés à plusieurs tâches qui varient aléatoirement, mais qui ont la même structure, ce qui a permis l'extraction de règles générales et donc la réduction de l'interférence.

Le degré de transfert varie en fonction du niveau de pratique (Clark & Ivry, 2010). En effet, le type d'entraînement fournira des représentations de l'habileté motrice plus ou moins abstraites, ce qui aura des effets différents sur le transfert. Un entraînement prolongé et spécifique serait associé à un transfert moins important (Boutin et al., 2012 ; Kami et al., 1995). Le transfert de l'apprentissage dépend en effet de la nature de l'entraînement, plusieurs sessions

d'entraînement d'une même tâche fourniront aux participants une représentation limitée de la tâche entraînée, elle sera plus stable, mais moins flexible et donc sera moins susceptible d'être transférée. Au contraire, un entraînement limité en intensité (i.e. un nombre de répétition faible) permettra la création d'une représentation moins stable, mais plus flexible et permettra son transfert vers de nouveaux contextes.

Le cas de l'apprentissage de l'écriture

Apprentissage et automatisation de l'écriture chez les enfants au développement typique. L'apprentissage de l'écriture débute tôt dans les activités scolaires de l'enfant (pour revue Fancher & Priestley-Hopkins ; 2018). Les activités de graphomotricité, débutant à l'âge de 2 ans, permettent à l'enfant de préparer la future activité d'écriture en le familiarisant à l'utilisation de l'outil scripteur et en développant sa motricité fine. Puis les activités de pré-écriture au début de la période scolaire consistent en un tracé de segments horizontaux et verticaux, de cercles et d'ellipses. La répétition de ces éléments de base, qui constitueront les lettres, est essentielle pour améliorer le contrôle du mouvement. À la suite des activités de pré-écriture, la recopie de lettres et l'écriture du prénom en lettres capitales permettront de développer les programmes moteurs nécessaires pour automatiser le geste de l'écriture sans avoir recours au modèle.

L'apprentissage de l'écriture a la particularité d'être un apprentissage moteur mettant plusieurs années avant d'être automatisé. Alors que des activités de pré-écriture peuvent débuter à l'école maternelle, l'apprentissage formel de l'écriture se fait au CP, et son automatisation apparaîtra en fin de primaire. Même si des modifications de l'écriture peuvent encore apparaître à l'âge adulte, les changements les plus importants apparaissent dans la tranche d'âge 5 – 12 ans. Après 12 ans, c'est principalement une augmentation de la vitesse d'écriture qui est observée.

Selon Palmis et collaborateurs (2017), les enfants âgés de 5 ans réalisent une succession de traits imprécis, ils effectuent de nombreux arrêts et levers de crayon. À cet âge, l'apprentissage de l'écriture se résume à la réalisation de traits et de courbes pour en améliorer le contrôle moteur. Ainsi, ils échouent à faire la transition d'un trait à l'autre dans le contexte de recopie de mots.

Entre 5 et 7 ans, on observe une évolution dans l'utilisation des feedbacks sensoriels et en particulier de la vision et de la proprioception (pour revue Bara & Gentaz, 2010).

L'utilisation des feedbacks sensoriels permet un contrôle dit rétroactif. Pendant que l'enfant est en train d'écrire, les retours sensoriels visuels d'abord puis proprioceptifs lui permettent d'ajuster le mouvement. Jusqu'à 8 ans, l'écriture reste lente et le contrôle moteur est rétroactif. Ceci s'explique par le fait que les modèles internes nécessaires aux tracés des lettres et des mots ne sont pas consolidés.

Selon van Galen (1991), la forme des lettres qui ont été apprises est stockée en mémoire à long terme sous la forme de modèles internes puis récupérée au moment de l'écriture. La création et la consolidation en mémoire à long terme des modèles internes pour l'écriture sont très longues et très demandeuses en ressources cognitives.

Les auteurs s'accordent à dire que c'est à partir de 8-9 ans que l'on observe une transition entre le mode de contrôle rétroactif, centré sur les feedbacks sensoriels, et le mode de contrôle proactif, centré sur la récupération de modèles internes stables (Meulenbroek & van Galen, 1988 ; Palmis et al., 2017 ; Schmidt et al., 2018 ; Zesiger, 1995). Avec le passage au mode proactif, la vitesse et la fluidité du mouvement augmentent et se stabilisent, marquant le début de l'automatisation de l'écriture (Chiappedi et al., 2012). Une fois que l'écriture se base sur un contrôle majoritairement proactif, l'utilisation des feedbacks visuels permettra d'ajuster l'agencement de l'écriture dans l'espace (composante topocinétique de l'écriture), alors qu'à 7 ans, l'utilisation des feedbacks visuels permet également d'ajuster la forme des tracés des lettres (composante morphocinétique de l'écriture).

Chunking. Les modèles internes sont sélectionnés en mémoire à long terme, ils représentent le nombre d'unités motrices de base et leurs relations spatio-temporelles. La taille des unités motrices peut varier : les mots sont constitués de plusieurs unités motrices comme les syllabes et les lettres, elles-mêmes étant constituées de plusieurs éléments de base (les traits). Les unités de bases peuvent être assemblées pour former une unité plus grande comme la lettre. La taille de l'unité motrice représentée dans les modèles internes fait encore l'objet de débat (Hulstijn & van Galen, 1983). Certains auteurs considèrent que c'est le trait qui est représenté dans le programme moteur et que c'est la succession de ces programmes moteurs qui permettrait de former la lettre puis le mot, alors que d'autres auteurs estiment que c'est la lettre qui serait représentée (Teulings et al., 1983). Ceci serait possible grâce à la notion de chunking, qui permettrait de regrouper des unités motrices.

Selon Lambert et Esperet (2002), l'automatisation de l'écriture s'explique par un assemblage des unités motrices, et l'augmentation de la taille des *chunks* est un indicateur de l'apprentissage de l'écriture. Les *chunks* peuvent être un assemblage de plus nombreuses unités motrices selon le contexte, comme le prénom (Pontart et al., 2013). L'écriture nécessite donc la consolidation de modèles internes représentant une ou plusieurs unités motrices, mais également leurs relations spatio-temporelles. Le mouvement fluide de l'écriture consiste en la réalisation successive des *chunks* moteurs, faisant de l'apprentissage de l'écriture également un apprentissage de séquences (Diedrichsen & Kornysheva, 2015).

Automatisation de l'écriture. L'automatisation de l'écriture est définie par un contrôle proactif qui repose sur les modèles internes stables des unités motrices et de la séquence de mouvements nécessaires pour les réaliser (Séraphin Thibon et al., 2018). Le mode de contrôle proactif permet de libérer des ressources cognitives liées au tracé des lettres, qui peuvent alors être utilisées pour des fonctions de plus haut niveau comme l'orthographe, la syntaxe ou l'organisation des idées dans le texte. Plusieurs indicateurs permettent de caractériser une écriture automatisée. Tout d'abord, l'écriture non automatisée se traduit par une lenteur, ainsi, avec l'apprentissage et l'automatisation, le nombre de lettres écrites par minute (i.e. fréquence d'inscription) augmente (Olive et al., 2009). De plus, la stabilité dans l'écriture est également un indicateur de son automatisation (Soppelsa & Albaret, 2014). Les mêmes lettres écrites plusieurs fois se ressemblent, car la variabilité de la production graphique diminue (Swett et al., 2010).

Les caractéristiques cinématiques de l'écriture peuvent également donner des indications sur l'automatisation de l'écriture. En effet, grâce au développement au cours des dernières décennies des tablettes graphiques et de logiciels d'analyse dédiés, il est aujourd'hui possible d'avoir accès au processus d'écriture. Les tablettes enregistrent la position du stylo toutes les 5 ou 10 millisecondes, et à partir de ces données sont calculés différents paramètres cinématiques et dynamiques qui rendent compte du mouvement d'écriture : vitesse, accélérations, pression, temps en l'air, pauses, etc. De nombreuses publications ont analysé l'évolution de différents paramètres cinématiques au cours de l'apprentissage de l'écriture chez l'enfant. On observe par exemple que le nombre d'arrêts sur le papier diminue avec la pratique (Alamargot et al., 2006 ; Rosenblum et al., 2003), un arrêt sur le papier pouvant être considéré comme représentant une activité cognitive importante comme la préparation ou la récupération des mouvements suivants à effectuer. La fluidité, mesurée à l'aide du paramètre SNvpd (i.e.

Signal to Noise velocity peak difference), permet d'observer les pics de vitesses considérés comme normaux ou anormaux dans une écriture fluide (Danna et al., 2013). Le SNvpd diminue progressivement au cours de l'automatisation de l'écriture.

Des approches du transfert différentes, mais compatibles

Les travaux sur le transfert d'apprentissage tel que décrit dans le domaine de la psychologie cognitive ont rarement porté sur les représentations motrices. On retrouve, en revanche, des concepts similaires dans la littérature propre au champ de la motricité. Dans les deux cas, le transfert est défini comme la réutilisation de façon flexible de la représentation créée pendant l'apprentissage initial.

On voit que la notion de structure commune à différentes tâches est une notion qui revient à la fois dans la littérature en psychologie (Gentner, 1983) et en motricité (Braun et al., 2009). Les auteurs des différents domaines de recherches s'accordent à dire que des connaissances précédemment acquises dans des tâches structurellement similaires permettent une plus grande efficacité lorsque l'individu est face à une situation nouvelle. La structure, une représentation commune à différentes tâches, permet donc le transfert entre ces tâches.

Seidler (2010) propose la notion d'« *overlap* » (i.e. chevauchement) entre les mécanismes sous-tendant l'exécution des tâches motrices, rappelant la notion de mise en correspondance présente dans le cadre du transfert analogique (Gentner, 1983). Ici, c'est la mise en correspondance des représentations communes aux différentes tâches qui permet le transfert.

Par ailleurs, on retrouve également les notions de similarité des tâches (Seidler, 2010) et de transfert de processus (Lee, 1988) dans le champ de la motricité comme dans le champ de la psychologie cognitive (Franks et al., 2000 ; Klahr & Chen, 2011). En effet, Seidler décrit des similarités entre la tâche ayant permis l'apprentissage initiale et la tâche de transfert. En utilisant le cadre théorique du transfert de traitements appropriés, Lee (1988) propose que le transfert moteur dépende de la similarité des processus cognitifs impliqués dans les tâches. Il existe alors dans les deux champs, deux notions distinctes : celle du « quoi », c'est-à-dire ce qui est transféré, comme des processus, et celle du « où » c'est-à-dire vers des tâches de transfert avec des caractéristiques différentes de la tâche principale, caractéristiques qui peuvent porter sur la tâche elle-même, le contexte ou l'intervalle temporel. Cependant, dans le cadre de la motricité, peu d'études semblent évaluer le transfert sur différents types de tâche, et ainsi évaluer le transfert d'apprentissage sur le continuum transfert proche / transfert lointain.

Enfin, la notion de généralisation apparaît régulièrement dans la littérature sur le transfert moteur (Seidler, 2010). Selon la définition de Seidler, la généralisation de l'apprentissage moteur est définie comme le degré avec lequel une compétence nouvellement acquise peut être produite avec un nouvel effecteur, un nouveau contexte ou de nouveaux paramètres de mouvement. La généralisation de l'apprentissage moteur et le transfert moteur sont ainsi régulièrement utilisés comme des équivalents (Clark & Ivry, 2010 ; Seidler, 2010). Dans le cadre de cette thèse, nous utiliserons le terme de transfert des apprentissages pour référer à la capacité des individus à utiliser de façon flexible les connaissances acquises précédemment, dans une tâche nouvelle.

Conditions de réussite et d'échec au transfert

Le transfert des apprentissages, tel qu'il est conceptualisé en psychologie cognitive, présente des similarités théoriques notables avec celui observé dans le domaine de la motricité. Dans cette section, nous mettrons en évidence plusieurs facteurs clés qui peuvent favoriser ou peuvent entraver un transfert efficace : la formation de représentations abstraites et de schémas cognitifs, la distance entre les tâches, l'usage de la tâche principale comme référence, ainsi que la capacité à adapter les connaissances acquises à la nouvelle tâche. Ces facteurs semblent être communs aux deux champs de recherche.

Représentations abstraites et création de schémas cognitifs. La création de schémas cognitifs est une idée qui a été reprise par plusieurs auteurs. Cette notion correspond à la construction d'un ensemble de connaissances à partir des structures des différentes expériences vécues par l'individu, utilisé pour le transfert des connaissances à de nouvelles situations. Ainsi, dans de nombreux cadres théoriques traitant du transfert des apprentissages, on retrouve l'idée d'une structure abstraite construite sur la base d'expériences passées qui doit pouvoir être transférée à des situations nouvelles.

Chez Piaget la notion de schème renvoie à la façon dont le développement opère chez les enfants. Définis comme "un ensemble structuré des caractères généralisables d'une action" ou par "la structure commune qui caractérise une classe d'actions équivalentes", les schèmes proposés par Piaget sont des structures qui se développent et se transforment sur la base des expériences vécues par l'individu. Ces schèmes représentent des savoir-faire, ou des conduites d'action transposables dans des situations semblables (Piaget, 1952). Les expériences passées participent donc à la construction de représentations abstraites généralisables qui seront

utilisées dans les actions intellectuelles et motrices de la vie quotidienne, par le biais du mécanisme d'assimilation.

On retrouve également dans la littérature une description de la représentation initiale de la tâche principale, nommée "modèle mental généralisé" (Johnson-Laird, 1980 ; Brown et al., 1986). Chez Brown, ce modèle fait référence à un schéma abstrait représentant la structure d'une situation ainsi que ses buts, permettant l'adaptation future à de nouvelles situations.

Dans le cadre du transfert analogique, la création d'un schéma cognitif à partir de deux exemples concrets peut favoriser le transfert spontané d'une solution vers un nouveau problème à résoudre (Gick & Holyoak, 1983). Dans cette étude, la présentation de deux premières situations, ayant la même structure, mais des éléments de surface différents, a permis la construction d'un schéma général abstrait pouvant s'appliquer à une nouvelle situation isomorphe et ainsi faciliter la compréhension de sa structure sans tenir compte des différences de surface (voir aussi Brown & Kane, 1988, pour un entraînement du transfert analogique chez des enfants âgés de 3 à 5 ans).

Selon la théorie des schémas, Schmidt (1975) propose la notion de « programme moteur généralisé » mettant en évidence les éléments communs d'une classe d'action. Le programme moteur généralisé est une structure abstraite qui comprend les paramètres invariants du mouvement. Le programme moteur généralisé est généré à partir de différents mouvements ayant les mêmes paramètres, c'est-à-dire des caractéristiques communes à tous les mouvements d'une même catégorie. Selon cette théorie, un entraînement varié, c'est-à-dire constitué de plusieurs tâches motrices ayant les mêmes paramètres, permettrait de créer un schéma qui favoriserait le transfert dans différentes situations.

Ainsi pour Piaget, Brown, Schmidt, Gick et Holyoak, c'est la répétition d'expériences similaires vécues par les individus qui permet de créer des schémas et abstraire des représentations. Cette idée peut être associée à des concepts d'apprentissage statistique et de détection des régularités dans l'environnement (Perruchet & Pacton, 2006). La création d'un schéma abstrait contenant une structure commune à différentes tâches favoriserait le transfert. En effet, l'entraînement variable, plutôt que répétitif, permettrait d'enrichir la représentation, alors qu'un entraînement répétitif fixerait l'apprentissage dans les caractéristiques d'une situation spécifique et rendrait le transfert plus difficile.

Distance entre les tâches. Dans le cadre du transfert analogique, le transfert est favorisé par la similarité des surfaces entre les tâches. En effet, dès 1987, Holyoak et Koh montrent que la similarité des surfaces entre deux problèmes isomorphes permet le transfert de la solution du problème en tâche principale au problème en tâche de transfert. Au contraire, une forte dissimilarité de surface entre les tâches ne permet pas aux individus de transférer spontanément la solution au problème cible.

Dans une étude plus récente de St Clair-Thompson et collaborateurs (2010), des enfants âgés de 5 à 8 ans ont été entraînés à trois stratégies de mémorisation (autorépétition, imagerie visuelle et stratégie d'élaboration) une fois par semaine pendant 6 à 8 semaines, ou n'ont reçu aucun entraînement. Les résultats ont montré que l'entraînement aux stratégies de mémorisation a permis le transfert vers des tâches de mémoire de travail proches des tâches entraînées, mais n'a pas permis le transfert vers des tâches plus éloignées en mathématiques et en lecture.

Dans une étude de Mombo et collaborateurs (2024), des enfants étaient entraînés à la résolution d'une version de la tour de Hanoï sur une tablette numérique, puis devaient résoudre une nouvelle version de la tour de Hanoï qui était, soit dissimilaire à la tâche entraînée sur le plan du contexte (ici le contexte de présentation numérique), ou sur le plan de la tâche, ou les deux. Les résultats montrent que quand la tâche de transfert est dissimilaire à la fois sur la tâche et le contexte, les performances des enfants chutent, mais également lorsque la tâche de transfert est dissimilaire sur le contexte uniquement. Cette étude montre que plus la tâche de transfert est dissimilaire à la tâche principale plus le transfert est difficile pour les enfants, en accord avec les prédictions du modèle de Klahr et Chen (2011). Cette étude montre également l'importance du changement de contexte dans le transfert et en particulier du contexte numérique. Ces informations sont importantes compte tenu du fait que de plus en plus d'outils pédagogiques sont présentés au format numérique.

Le transfert lointain, qui renvoie à la capacité à transférer des compétences acquises dans un domaine en particulier vers de nombreux autres domaines, est difficile à observer (Klahr & Chen, 2011 ; Jaeggi et al., 2014 ; Luis-Riuz et al., 2020 ; Sala & Gobet, 2017 ; Nokes, 2009). Cependant, la notion de transfert lointain reste vague puisque la distance entre les tâches principale et de transfert s'inscrit sur un continuum. Selon la nature de la compétence acquise et le type d'entraînement suivi, les effets du transfert peuvent grandement varier. Bien que le transfert lointain soit généralement considéré comme rare, il reste difficile de déterminer précisément l'étendue du transfert proche. Comme le suggèrent Mombo et ses collaborateurs

(2024), il est nécessaire d'évaluer systématiquement le transfert dans plusieurs tâches en faisant varier progressivement le degré de distance avec la tâche principale. De plus, faire varier la similarité de plusieurs aspects de la tâche, comme les différents types de contextes ou différents aspects de la tâche, peut également avoir des impacts différents sur le transfert. Par exemple, dans leur étude, Mombo et collaborateurs montrent que le changement de contexte seul a plus d'impact que le changement de tâche seule sur les performances en tâche de transfert. En faisant varier systématiquement les tâches de transfert, il sera possible, pour chaque compétence visée et pour chaque type d'entraînement, d'estimer l'étendue possible du transfert vers d'autres tâches.

Pertinence de l'utilisation de la tâche principale. De façon intéressante, Braun et collaborateurs dans leur étude de 2009, montrent également que lorsque deux tâches ayant des structures différentes sont apprises consécutivement alors la première tâche rend difficile l'apprentissage de la seconde. En effet, suite au bloc test avec une rotation à +60°, les participants étaient exposés à un nouveau bloc test avec une rotation à -60°. Les résultats montrent que le groupe contrôle, non exposé aux différentes tâches de même structure, voit ses performances chuter significativement entre les deux blocs tests, alors que les participants ayant été exposés aux différents tests voient également leurs performances chuter, mais de façon moins importante. Ce phénomène est appelé interférence antérograde (Krakauer et al., 2019). Il est possible de faire le parallèle entre cette notion d'interférence antérograde et une notion connue sous le terme de transfert négatif dans le champ de la psychologie cognitive. Dans ce cas, les individus transfèrent une solution à un problème n'ayant pas la même structure, résultant donc en de moins bonnes performances à la résolution de la nouvelle tâche, ce qui ne se produit pas lorsque les individus ne sont pas exposés au premier problème non pertinent structurellement (i.e. transfert négatif, Chen & Daehler, 1989). L'interférence antérograde est expliquée par le fait qu'à travers des mouvements ayant la même structure, l'individu continuera d'explorer préférentiellement autour des paramètres de cette structure et évitera les déviations. Ainsi, face à une nouvelle tâche avec une nouvelle structure, l'individu continuerait l'exploration autour de la structure initiale.

L'adaptation des connaissances à une nouvelle tâche. La question de l'adaptation de la connaissance à une nouvelle tâche est importante puisqu'elle permettra que le transfert soit efficace. Selon l'approche du transfert par analogie, le transfert nécessite plusieurs étapes pour apparaître, comme l'évocation d'une précédente situation comme pertinente pour la nouvelle

situation et la mise en correspondance des éléments communs aux deux tâches. Cependant, et parce que chaque situation est par essence nouvelle et a des caractéristiques et des contraintes propres, pour que le transfert soit efficace, les connaissances qui ont été acquises précédemment doivent être utilisées de façon flexible pour pouvoir être appliquées à cette nouvelle situation comportant de nouvelles contraintes, de surface et de contexte notamment (Clerc & Josseron, 2022).

L'hypothèse du recodage sémantique a été définie en particulier dans le cadre de la résolution de problèmes isomorphes (Sander, 2016 ; Clément, 1997). Cette hypothèse repose sur l'idée que face à une nouvelle situation, une représentation de la tâche principale peut ne pas permettre à l'individu d'appliquer efficacement ses connaissances. L'individu doit alors modifier la représentation initiale de la tâche et générer une représentation alternative qui lui permettra de réinterpréter la tâche principale afin de résoudre le nouveau problème. Cette hypothèse suppose que la représentation de la tâche principale, si elle est suffisamment flexible, peut être modifiée pour s'adapter aux nouvelles contraintes d'une autre tâche. Dans le cadre du transfert analogique, cette représentation abstraite est la base permettant à l'individu de raisonner par analogie (Brown et al., 1986 ; Brown & Kane, 1988).

On retrouve ainsi l'idée chez plusieurs auteurs que la représentation de la tâche principale doit être suffisamment abstraite pour permettre à l'individu de la généraliser à de nouvelles situations (Brown, 1989 ; Sander & Richard, 2005 ; Gamo et al., 2010). L'étude de Gamo et collaborateurs en 2010 montre que le transfert d'une stratégie de résolution de problèmes arithmétiques est permis par un entraînement au recodage sémantique. Or, pour que le recodage sémantique soit possible, il faut que l'individu se représente la situation à un haut niveau d'abstraction. Pour Sander et Richard (2005), une représentation à un niveau suffisant d'abstraction est indispensable au transfert puisqu'elle permettra de s'affranchir des caractéristiques de surface de la tâche et de conserver uniquement la structure profonde de la tâche. Cette représentation abstraite pourra être adaptée à de nouvelles situations ayant une structure commune, mais des caractéristiques de surface différentes.

Ainsi pour que le transfert soit efficace, il semble nécessaire de construire une représentation suffisamment abstraite de la tâche initiale afin qu'elle puisse être adaptée aux caractéristiques de la nouvelle tâche. À son tour, l'adaptation des connaissances préalables à une nouvelle tâche rendra possible le transfert des connaissances. Par conséquent, toute difficulté d'adaptation de la représentation à la nouvelle tâche pourrait expliquer pourquoi l'on

observe parfois un transfert qui ne mène pas à de meilleures performances qu'en tâche principale.

Déficience d'utilisation due au transfert (t-UD), quand le transfert est réussi, mais n'est pas efficace. Des études ont montré que le transfert de stratégies mnésiques est parfois difficile pour les enfants (Clerc et al., 2021 ; Schleepen et Jonckman, 2014 ; Schwenk et al., 2007). Ainsi, lorsqu'on observe des performances mnésiques en tâche de transfert inférieures à celles obtenues en tâche principale, les résultats sont régulièrement interprétés comme un échec du transfert. Cependant, la mesure seule de la performance de rappel est une mesure du transfert indirecte : la performance mnésique en tâche de transfert, censée bénéficier de la stratégie qui a été transférée. Dans le cadre du transfert de stratégies mnésiques, cela signifie que, pour mesurer le transfert, il est nécessaire d'évaluer la performance mnésique en tâche de transfert (i.e. performance de rappel : le nombre de mots rappelés), et la qualité intrinsèque de l'utilisation de la stratégie transférée (i.e. l'organisation des items en catégorie quand il s'agit d'une stratégie de groupement catégoriel par exemple). Or, s'il est vrai qu'un transfert efficace de la stratégie a pour effet d'améliorer les performances en tâche de transfert, une absence d'amélioration de la performance de rappel en tâche de transfert ne signe pas forcément un échec du transfert.

Des performances de rappel moindres en tâche de transfert peuvent rendre compte de plusieurs cas de figure. Premièrement, des performances moindres en tâche de transfert peuvent effectivement signifier que le transfert n'a pas eu lieu : si la stratégie mnésique n'est pas transférée, alors la tâche de transfert ne bénéficie pas de l'apprentissage de cette stratégie en tâche principale et cela s'observe sur les performances mnésiques. Deuxièmement, des performances de rappel moindres en tâche de transfert peuvent signifier que le transfert de la stratégie a eu lieu, mais que celle-ci n'est pas encore efficace en tâche de transfert : dans ce cas, même si elle a été transférée correctement, elle ne permet pas encore à l'individu d'améliorer ses performances de rappel en tâche de transfert. Ainsi, la mesure des performances en tâche de transfert ne permet pas toujours de faire la différence entre un transfert qui n'a pas lieu, et un transfert qui a lieu, mais qui n'est pas efficace. Dans le cas du transfert de stratégies mnésiques, la seule mesure du score de rappel en tâche de transfert ne renseigne pas directement sur la qualité intrinsèque de la stratégie produite en tâche de transfert. Il s'agit donc d'une mesure du transfert incomplète puisqu'elle permet d'estimer l'effet de la stratégie transférée (performance

de rappel en tâche de transfert), mais pas la qualité de l'utilisation de la stratégie transférée (performance stratégique en tâche de transfert).

Couramment utilisée dans la littérature, cette seule mesure du score de rappel en tâche de transfert permet donc de mettre en évidence un transfert efficace de la stratégie dans le cas d'un score de rappel meilleur ou aussi bon que dans la tâche principale. Néanmoins, en présence d'un score de rappel moins élevé qu'en tâche principale, ce seul score ne permet pas de savoir si la stratégie n'a pas été transférée correctement, ou si elle a été transférée correctement, mais n'est pas encore efficace. Il est donc nécessaire de distinguer, en tâche de transfert, la qualité de la stratégie transférée (performance stratégique) et son efficacité sur le rappel (performances mnésiques). Cette mesure complémentaire est une mesure directe de l'utilisation de la stratégie en tâche de transfert. Dans le cas des stratégies mnésiques décrites plus haut (i.e. stratégie d'autorépétition et de groupement catégoriel), il est possible de mesurer une performance stratégique *per se*, et une performance de rappel.

Pour la stratégie d'autorépétition, la performance stratégique est régulièrement évaluée par le nombre de mots qui ont été répétés à voix haute par l'enfant (*rehearsal set size*, Schneider et al., 2004). La performance de rappel est alors le nombre de mots qui ont été rappelés dans l'ordre de présentation (rappel sériel). Pour la stratégie de groupement catégoriel, les performances stratégiques peuvent être évaluées de deux manières : à l'encodage (*sorting*), la performance stratégique est évaluée par la qualité des catégories qui sont réalisées par l'enfant, et au rappel (*clustering*) par la qualité des catégories réalisées pendant le rappel par l'enfant (i.e. l'enfant rappelle tous les items de la catégorie 1, puis tous les items de la catégorie 2, etc.). Les scores de *sorting* et de *clustering* peuvent être estimés par un score de groupement catégoriel comme le score ARC (*Adjusted Ratio of Clustering*, Roenker et al., 1971). Dans la stratégie de groupement catégoriel, la performance de rappel est le nombre d'items rappelés par l'enfant (rappel libre). Ainsi les performances stratégiques permettent d'apprécier de façon objective la qualité de la stratégie produite en tâche de transfert. Cette qualité est également estimée de manière directe, et non plus seulement en l'inférant à partir de la seule performance de rappel.

À travers l'utilisation conjointe d'une mesure du score de rappel et d'une mesure du score stratégique, des auteurs ont pu montrer que des performances inférieures en tâche de transfert ne sont pas toujours synonymes de l'échec du transfert, mais peuvent traduire une adaptation difficile de la stratégie à une nouvelle tâche. C'est ce que les auteurs nomment t-UD,

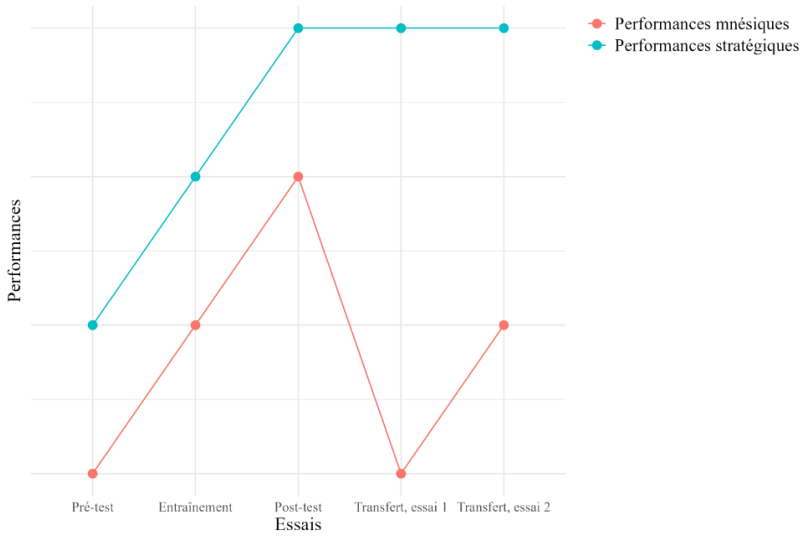
pour déficience d'utilisation due au transfert (transfer-Utilization Deficiency). La t-UD est un cas particulier de la déficience d'utilisation initialement décrite par Miller (1990 ; Miller & Seier, 1994 ; voir aussi Clerc et Miller, 2013), qui consiste en la production correcte, mais inefficace, d'une stratégie cognitive dont l'utilisation reste encore très demandeuse en ressources cognitives. Dans le cas du transfert de stratégies mnésiques, la t-UD correspond à un transfert correct de la stratégie, mais qui ne mène pas aux performances de rappel auxquelles on pourrait s'attendre lorsque le transfert a lieu. Dans ce cas, la performance de rappel est significativement moins élevée en tâche de transfert qu'en tâche principale, alors que la performance stratégique se maintient en tâche de transfert au même niveau que dans la tâche principale. La t-UD se caractérise donc, en tâche de transfert, par une performance stratégique élevée témoignant de l'utilisation correcte de la stratégie, concomitante d'une performance de rappel anormalement basse (voir Figure 7). En d'autres termes, la stratégie est correctement transférée, mais elle ne remplit pas son objectif d'amélioration des performances mnésiques au rappel dans la tâche de transfert. Il se produit donc une perte de rendement de la stratégie lors du passage à la tâche de transfert, mais sans perte de la qualité de sa production. L'explication de la t-UD est la même que pour la déficience d'utilisation en dehors de toute situation de transfert décrite par Miller (1990), c'est-à-dire la présence d'une charge cognitive trop importante qui serait, dans le cas du transfert, causée par l'adaptation à la nouvelle tâche. L'adaptation de la stratégie à la tâche de transfert requiert, comme vu plus haut, des mécanismes de mise en correspondance des tâches principale et de transfert (une même structure : la stratégie) ainsi qu'une adaptation de la stratégie aux nouvelles contraintes de la tâche et en particulier aux éléments de surface de la tâche de transfert différents de ceux présents dans la tâche principale. Ces mécanismes coûteux créeraient chez les enfants une charge cognitive importante ne permettant pas d'allouer suffisamment de ressources à la mémorisation des items en soi, ceci pouvant expliquer les faibles performances mnésiques à la tâche de transfert en dépit d'un score stratégique élevé (Clerc et al., 2014). Il semble donc que la seule mesure du transfert stratégique à travers les performances de rappel soit incomplète et ne permette pas de rendre compte à elle seule de la complexité du transfert stratégique.

La t-UD permet de mettre en avant un phénomène associé au transfert qui correspond à des performances faibles à la tâche alors que les processus ont été transférés. Avec cette notion, et pour la première fois dans la littérature sur le transfert, on apprend que le transfert d'apprentissage, même s'il est réussi, ne permet pas toujours une efficacité dans la tâche. La t-

UD est de ce fait intéressante à explorer puisqu'elle rend compte d'une étape importante d'un transfert efficace, à savoir l'adaptation à la nouvelle tâche. À travers la t-UD, on observe que l'adaptation peut être difficile pour certains enfants lorsque le coût cognitif associé au transfert est trop important, faisant du transfert un processus cognitif à part entière. À notre connaissance, il n'existe pas d'études investiguant les conditions d'apparition de la t-UD en fonction de la distance entre les tâches.

Figure 7

Représentation graphique du pattern des performances mnésiques et stratégiques prédites par la t-UD.



Note. Les performances stratégiques et mnésiques s'améliorent à mesure des essais en tâche principale (prétest, entraînement, post-test). Alors que les performances stratégiques se maintiennent lors des deux essais de la tâche de transfert, les performances mnésiques quant à elles chutent lors du premier essai de la tâche de transfert.

Le transfert est un processus complexe influencé par divers facteurs tels que les compétences visées, le type d'entraînement et la distance entre les tâches. Pour en évaluer l'ampleur, il est essentiel de considérer les éléments qui peuvent le favoriser. En effet, étudier le transfert d'apprentissage est important pour comprendre la façon dont les connaissances sont réutilisées dans différentes situations de la vie quotidienne et scolaire des enfants. L'étudier au sein d'une population présentant un Trouble Développemental de la Coordination (TDC) permettrait non seulement de mieux cerner ce processus, mais aussi de mieux comprendre les éventuels déficits liés au transfert moteur présents chez les enfants porteurs de ce trouble. Enfin,

le transfert d'apprentissage constitue un enjeu central pour l'entraînement cognitif et la remédiation chez l'enfant, l'objectif des interventions étant de favoriser l'application des acquis dans leur quotidien et leur parcours scolaire.

Le trouble Développemental de la Coordination (TDC)

Le Trouble Développemental de la Coordination (TDC) est un trouble dit cognitivo-moteur qui s'exprime dans la période développementale précoce. Il se caractérise principalement par des difficultés dans les habiletés gestuelles qui ont un impact important et persistant sur les activités quotidiennes et scolaires des enfants (Cairney et al., 2005 ; Vaivre-Douret et al., 2021). Dans le cas d'une expression précoce du trouble, les difficultés motrices seront observées dès les premières phases du développement moteur (ramper, se tenir debout, marcher), puis vont s'exprimer, dans l'enfance, lors de l'utilisation d'objets de la vie quotidienne (lacer ses chaussures, s'habiller, se brosser les dents, faire du vélo, etc.), des activités scolaires (utilisation du matériel comme les règles et compas, et dans l'écriture) ainsi que dans les activités sportives (courir, attraper et lancer une balle). Le TDC limite les opportunités de participation sociale et affecte négativement l'estime de soi, notamment en raison des difficultés rencontrées dans les activités physiques (Cairney et al., 2005 ; Poulsen et al., 2007 ; Summers et al., 2008). De plus, le caractère persistant du TDC entraîne des conséquences qui s'étendent à l'âge adulte, sur les activités quotidiennes et professionnelles, imposant également aux adultes porteurs du trouble de fréquentes situations de handicap (Kirby et al., 2013).

Historique et terminologie

Le terme de trouble développemental de la coordination est apparu récemment avec la nouvelle classification des troubles du neurodéveloppement présentée dans le DSM-5 (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders,* APA, 2013). Les nombreuses appellations de ce trouble dans le temps, montrent une évolution de la compréhension du trouble. Ainsi, avant d'être qualifié comme un trouble des coordinations, le TDC a d'abord été présenté comme relevant d'une maladresse motrice, on parlait alors d'enfant maladroit (*Clumsy child*). Le trouble a ensuite été décrit à travers le prisme de l'apraxie, un trouble des praxies mieux connu, présent chez les patients à la suite d'une atteinte cérébrale. On verra donc apparaître, courant des années 30, le terme d'apraxie développementale. Plus tard, le terme de dyspraxie développementale (Mazeau, 2010) met l'accent sur un trouble s'exprimant pendant

la période développementale et dépourvu d'atteintes neurologiques acquises. Dans les éditions précédentes du DSM (DSM-III-R, 1989 ; DSM IV, 1996 ; DSM-IV-TR, 2004), le TDC est alors nommé Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC), terme qui souligne alors un déficit de l'acquisition motrice, puis sera remplacé en 2013, par le terme de Trouble Développemental de la Coordination (TDC, DSM-5 ; APA, 2013). En France, cette dénomination a été également adoptée par la communauté scientifique à la suite de l'expertise collective menée par l'INSERM (2019). Cependant, dans le langage courant, le terme "dyspraxie" est encore largement utilisé par les professionnels, cliniciens et chercheurs.

Avec la nouvelle édition du DSM (DSM-5, APA, 2013), le TDC est classé comme un trouble moteur, au sein des troubles neurodéveloppementaux (TND). On retrouve alors 4 critères diagnostiques :

Critère A : L'acquisition et l'exécution de bonnes compétences de coordination motrice sont nettement inférieures au niveau escompté pour l'âge chronologique du sujet compte tenu des opportunités d'apprendre et d'utiliser ses compétences. Les difficultés se traduisent par de la maladresse (par exemple laisser échapper ou heurter des objets), ainsi que de la lenteur et de l'imprécision dans la réalisation de tâches motrices (par exemple attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire à la main, faire du vélo ou participer à des sports).

Critère B : Les déficiences des compétences motrices du critère A interfèrent de façon significative et persistante avec les activités de la vie quotidienne correspondant à l'âge chronologique (par exemple les soins et l'hygiène personnels) et ont un impact sur les performances universitaires/scolaires, ou les activités préprofessionnelles et professionnelles, les loisirs et les jeux.

Critères C : Le début des symptômes date de la période développementale précoce.

Critère D : Les déficiences des compétences motrices ne sont pas mieux expliquées par un handicap intellectuel (un trouble du développement intellectuel) ou une déficience visuelle et ne sont pas imputables à une affection neurologique motrice (par exemple une infirmité motrice cérébrale, une dystrophie musculaire, une maladie dégénérative).

Le TDC se différencie des autres troubles et pathologies motrices par le fait qu'il s'exprime pendant la période développementale et est dit « cognitivo-moteur », c'est-à-dire que les individus qui en sont porteurs présentent des difficultés dans la réalisation d'activités

motrices dues, non pas à des atteintes neurologiques, musculaires ou squelettiques, mais à la préparation et la réalisation du geste. Ce sont les aspects cognitifs du geste qui sont alors impactés.

Étiologie et facteurs de risque

Plusieurs pistes ont été évoquées dans la littérature afin de connaître l'étiologie du TDC (pour revue, Vaivre-Douret et al., 2021). Dans des études faisant appel à l'imagerie cérébrale, on retrouve des différences anatomiques chez les individus porteurs d'un TDC, notamment des différences de volumes de certaines aires cérébrales (Reynolds et al., 2017), et une connectivité atypique (Zwicker et al., 2012). Des différences fonctionnelles avec un groupe contrôle sont aussi mises en évidence (Biotteau et al., 2017). Cependant, aucun marqueur spécifique au TDC n'a pu être identifié pour le moment. Par ailleurs, la piste génétique a été très peu explorée. Dans une étude, il semble que les enfants avec un TDC présentent plus de variations génétiques que les enfants au développement typiques, dans des gènes déjà identifiés comme gènes candidats dans d'autres TND (Mosca et al., 2016). Cette étude suggère ainsi une étiologie commune aux différents TND. Enfin, la prématurité est un facteur de risque important, le risque de TDC augmente avec la diminution de l'âge gestationnel (Zhu et al., 2012). En effet, chez les enfants nés prématurément (Arnaud et al., 2007) ou avec un faible poids de naissance (Zwicker et al., 2013) l'occurrence des difficultés motrices est 3 à 8 fois plus élevée que les chez les enfants nés à terme ou de poids normal à la naissance.

Diagnostic du TDC et comorbidités

Pour effectuer le diagnostic du TDC, les quatre critères du DSM-V doivent être évalués. Pour ce faire, plusieurs professionnels de la santé issus de différentes spécialités médicales et paramédicales peuvent intervenir dans le diagnostic. L'anamnèse permettra d'évaluer la précocité du trouble (Critère C), et les examens médicaux et neuropsychologiques permettront de vérifier l'absence de trouble intellectuel, perceptif ou neurologique (Critère D). Une évaluation des compétences motrices de l'enfant au moyen de tests standardisés permet l'évaluation du critère A. Le test MABC-2 (*Movement Assessment Battery for Children 2nd edition,* Henderson et al., 2007) permet une évaluation globale des coordinations motrices de l'enfant. Ce test consiste en l'évaluation de 3 grands domaines de la motricité : *Equilibre statique et dynamique*, *Viser et attraper*, *Dexterité Manuelle.* Chacun de ces domaines est constitué de deux à trois épreuves spécifiques à trois groupes d'âge (3 à 6 ans ; 7 à 10 ans ; 11

à 16 ans). La valeur seuil pour considérer un TDC chez un enfant peut varier du 15e percentile au 5e percentile. Bien qu'il soit recommandé de considérer le seuil du 5e percentile pour le diagnostic, il semble pertinent de considérer le seuil du 15e percentile, car même si les difficultés sont moins importantes, elles peuvent créer des situations de handicap qui nécessitent d'être prises en compte dans les activités scolaires et de la vie quotidienne des enfants (INSERM, 2019). Malgré la fréquence de son utilisation par les professionnels pour le diagnostic, et dans la recherche pour les critères d'inclusion de la population, le test du MABC-2 présente plusieurs limites (INSERM, 2019) et d'autres batteries de tests peuvent compléter le diagnostic, comme les tests de la BOT-2 (*Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency Second Edition*, Bruininks & Bruininks, 2005) et la NP-MOT (*Batterie d'évaluation des fonctions psychomotrices de l'enfant*, Vaivre-Douret, 2006).

Prévalence

Il est difficile d'estimer précisément le nombre d'enfants porteurs de ce trouble, car les études de prévalences sont peu nombreuses. Elle est estimée à 6% des enfants d'âge scolaire par l'APA (2000), contre 5 à 8% pour Gibbs, Appleton et Appleton (2017). Cependant, la prévalence chez l'enfant dépend des études et des pays, allant de 4.9% (Kadesjo & Gillberg, 1999) à 15.6% (Wright et al., 1994) chez les enfants âgés de 7 ans, et à 19% (Tsiotra et al., 2006) chez les enfants âgés de 11 ans. Ces valeurs sont également étroitement liées au seuil de prévalence pris en compte dans ces différentes études.

Par ailleurs, il semble que les garçons soient plus touchés que les filles avec un sex-ratio de 1,8 (Girish et al., 2016). Dans une étude de 2020, Fairbairn et collaborateurs ont évalué les différences de genre chez des enfants australiens âgés de 8 à 9 ans dans différents domaines de la motricité. Les résultats ont montré que les garçons ont de moins bonnes performances que les filles dans des tâches de dextérité manuelle et dans des tâches d'équilibre. Selon certains auteurs, ces différences seraient dues à des facteurs socioculturels, les filles investiraient plus les activités nécessitant de la dextérité manuelle que les garçons (Valtr et al., 2016). Pour van Hoorn et collaborateurs (2021), la différence de prévalence filles / garçons dans le TDC dépendrait de l'âge gestationnel à la naissance, et la proportion de filles et de garçons porteurs d'un TDC serait similaire chez les enfants nés prématurément.

Comorbidités et hétérogénéité du trouble

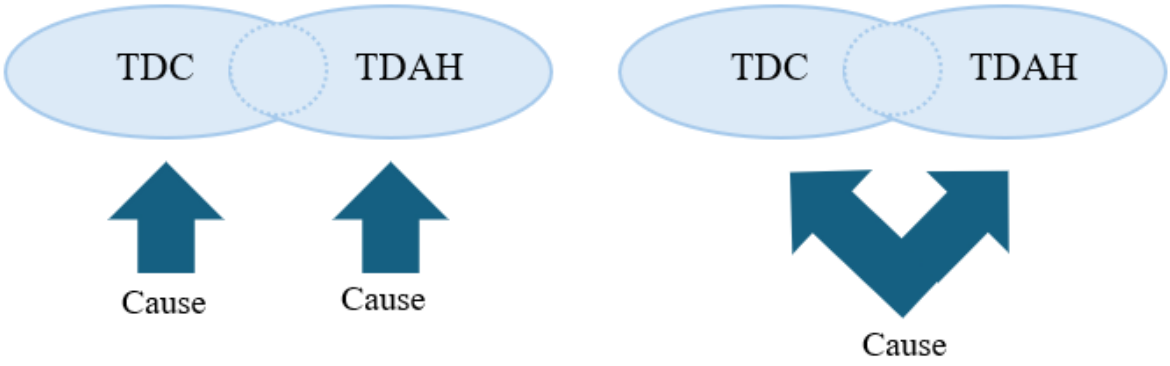
Le TDC est un trouble hétérogène et cette hétérogénéité s'observe sur différents plans. Tout d'abord, les composantes déficitaires sont différentes d'un individu à l'autre. Cette variabilité dans la symptomatologie a mené à plusieurs tentatives de classification des sous-types de TDC. Cependant, aucune de ces typologies ne fait consensus à ce jour (INSERM, 2019). Par ailleurs, le degré de sévérité des symptômes peut varier, de même que leur début d'apparition. Ceux-ci peuvent être précoces et s'observer dès les premiers gestes du nouveau-né, ou plus tardifs et s'observer lors de la réalisation de tâches motrices plus complexes à l'école par exemple, avec l'apprentissage de l'écriture.

Le TDC s'exprime rarement seul. Effectivement, peu d'enfants présentent un TDC de manière isolée. Le TDC est régulièrement associé à d'autres troubles et notamment aux autres troubles du neurodéveloppement. Il est ainsi fréquemment associé à la dyslexie développementale, à la dyscalculie, au Trouble de Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) (Vaivre-Douret et al., 2021). Ces associations de troubles sont les plus fréquentes, mais l'on peut également retrouver d'autres troubles associés au TDC comme le Trouble du Spectre Autistique (TSA) et le Trouble Spécifique du Langage Oral (TSLO). En outre, une dysgraphie secondaire (trouble de l'écriture manuscrite) est souvent observée dans le TDC, avec une prévalence allant de 50 à 88% selon les auteurs (Jolly, 2017 ; Vaivre-Douret et al., 2021). Ainsi, les associations avec d'autres troubles du neurodéveloppement participent à l'hétérogénéité du trouble en créant des profils pathologiques complexes.

Les associations entre troubles du neurodéveloppement (TND) sont fréquentes, et des symptômes similaires peuvent être partagés par plusieurs troubles. Ainsi, plusieurs auteurs recommandent de mieux définir ce qu'est une comorbidité, et proposent de nouveaux modèles explicatifs des TND. Malgré le fait que le terme de comorbidité soit utilisé de façon générique pour désigner les associations entre les TND, Kaplan et ses collaborateurs (2006) reviennent sur les définitions de comorbidité et de cooccurrence, et recommandent plutôt l'utilisation du terme de cooccurrence. Alors que la notion de comorbidité est issue du domaine médical et suggère que les troubles sont indépendants, le terme de cooccurrence suggère plutôt une étiologie commune aux différents troubles. Ces deux termes sont représentés schématiquement en Figure 8.

Figure 8

Représentation schématique de la comorbidité et de la cooccurrence.



Note. Représentation schématique des termes de comorbidité (A) et de cooccurrence (B), adaptée de Kaplan et al. (2006), exemple de l'apparition conjointe du TDC et du TDAH. La comorbidité suggère une étiologie différente aux troubles, et la cooccurrence suggère l'apparition de deux troubles ayant la même étiologie.

Ainsi, Kaplan et ses collaborateurs (2001) proposent un modèle explicatif des TND en considérant les différents troubles non pas comme des entités distinctes, mais comme ayant une cause commune. Le modèle du développement cérébral atypique suppose qu'un fonctionnement cérébral atypique, commun aux TND, affecterait le développement des enfants, et s'exprimerait à travers différents symptômes. Ceci expliquerait le chevauchement entre les symptômes sur l'ensemble des TND. L'hypothèse d'une étiologie commune aux différents TND a également été appuyée par Nicolson et Fawcett (2007) dans leur modèle décrivant les difficultés d'apprentissages procéduraux comme expliquant les difficultés des enfants porteurs de différents TND.

La classification des différents symptômes des TND en catégories symptomatiques distinctes est donc remise en cause avec les propositions de Kaplan et collaborateurs (2001) et Nicholson et Fawcett (2007). Récemment, le cadre des approches transdiagnostiques, déjà décrit en psychopathologie (Dalgleish et al., 2020), a été utilisé par Astle et ses collaborateurs (2022) pour décrire les ressemblances entre les différents TND. Selon les auteurs, les classifications diagnostiques ne sont plus pertinentes pour décrire les troubles du neurodéveloppement et ne permettent plus de prendre en compte l'hétérogénéité des troubles.

Ainsi, les auteurs recommandent de se concentrer sur les caractéristiques et les mécanismes qui sont régulièrement communs aux différents troubles, à la fois dans la recherche et pour le diagnostic et la prise en charge.

Difficultés motrices chez les enfants porteurs d'un TDC

Sur le plan clinique et en l'absence de troubles moteurs primaires, les individus porteurs d'un TDC peuvent présenter des difficultés sur les différentes sphères de la motricité. Ainsi, la motricité globale, l'équilibre et la motricité fine sont impactés (Albaret & Chaix, 2015). On retrouve un contrôle postural déficitaire lié à une moins bonne utilisation des informations vestibulaires (Grove & Lazarus, 2007) et proprioceptives (Fong et al., 2011). On observe aussi régulièrement des difficultés dans les tâches bimanuelles (Volman et al., 2006). Le TDC se caractérise également par une forte variabilité et un fort ralentissement qui affecte les performances motrices. La vitesse, la précision et la stabilisation du geste en sont impactées. Selon certains auteurs, il semble qu'un déficit des apprentissages moteurs peut être à l'origine des difficultés de coordination chez ces enfants (Bo & Lee, 2013).

Adaptation sensorimotrice

L'adaptation sensorimotrice correspond à la modification d'un mouvement en réponse à des changements dans les entrées sensorielles ou motrices venant de l'environnement (Seidler, 2010), c'est une façon d'observer les interactions entre l'individu et son environnement pendant la planification et la production du mouvement. L'adaptation sensorimotrice est le résultat d'une mise à jour, ou réactualisation, des modèles internes après une inadéquation entre les conséquences prédites et les conséquences réelles d'un mouvement (Wolpert & Gramani, 2000).

Les auteurs s'accordent à dire qu'il existe un déficit de l'adaptation sensorimotrice chez les enfants porteurs d'un TDC. Par exemple, dans leur étude de 2004, Kagerer et collaborateurs ont montré que les enfants porteurs d'un TDC, âgés de 6 à 8 ans, présentent un déficit d'adaptation sensorimotrice dans une tâche de tracé d'un point a à un point b sur une tablette graphique. Le retour visuel s'effectuait en temps réel sur un écran face à l'enfant. Après une phase sans modification des entrées visuelles, une seconde phase avec l'application d'une rotation à 45° du tracé réalisé par les enfants a montré que ceux porteurs d'un TDC ont un taux d'adaptation moins important que les enfants au développement typique. Brookes et collaborateurs (2007) montrent également un déficit d'adaptation sensorimotrice chez les

enfants porteurs d'un TDC dans un paradigme de lancer de balle, dans lequel les enfants portaient des lunettes prismatiques, perturbant ainsi les entrées visuelles. Dans une étude récente de Danna et collaborateurs (2024), une tâche d'adaptation sensorimotrice dans laquelle les enfants doivent recopier des trigrammes (suite de trois lettres) en écriture cursive dans le sens non conventionnel de l'écriture (de la droite vers la gauche) pour des enfants ayant appris à écrire le français a été proposée à des enfants porteurs ou non d'un TDC. Les résultats montrent que les enfants porteurs d'un TDC ont plus de difficultés que les enfants au développement typique, à la fois sur le produit (i.e. la qualité de la trace écrite) et le processus de l'écriture (i.e. le mouvement qui génère la trace).

Cependant, d'autres études montrent des compétences d'adaptation sensorimotrice conservées chez les enfants porteurs d'un TDC (Cantin et al., 2007 ; Gomez-Moya et al., 2019 ; Knaier et al., 2023 ; Lejeune et al., 2016). Par exemple, dans leur étude de 2016, Lejeune et collaborateurs proposent un paradigme de souris inversée. Dans ce paradigme, le déplacement du curseur sur un écran est inversé par rapport au déplacement de la souris (i.e. lorsque la souris est déplacée vers la droite, le curseur se déplace vers la gauche, et de même pour les autres directions). Dans une tâche dans laquelle les participants devaient déplacer des personnages dans un panier avec la souris inversée, les enfants au développement typique et les enfants avec TDC ont été entraînés lors de deux sessions comprenant 60 essais. Les enfants porteurs d'un TDC ont montré une chute du temps d'exécution similaire à celle des enfants au développement typique. Lors de la phase de consolidation, une semaine plus tard, les enfants porteurs d'un TDC ont des performances similaires aux enfants au développement typique.

Apprentissage de séquences

Un mouvement est un ensemble d'actions distinctes organisées dans un ordre temporel particulier. L'apprentissage de séquences est l'apprentissage temporel d'une combinaison de mouvements isolés en une seule action fluide et cohérente (Krakauer et al., 2019). Ainsi, un unique mouvement continu est constitué d'une séquence de plusieurs sous-éléments.

Dans leur étude, Gheysen et collaborateurs (2011) ont utilisé une tâche dite SRTT (*Serial Reaction Time Task*). Dans cette tâche, les participants, âgés de 8 à 12 ans, au développement typique ou porteurs d'un TDC, étaient face à un écran sur lequel 4 cases étaient affichées. Toutes les 250 ms, un stimulus apparaissait dans l'une des cases et les participants devaient répondre le plus rapidement possible en appuyant sur le bouton correspondant. L'apparition des stimuli

suivait une séquence de 10 apparitions qui était répétée à travers les essais. Les auteurs ont montré que les enfants porteurs d'un TDC ont échoué à apprendre la séquence visuomotrice en comparaison de leurs pairs. Cependant la littérature sur l'apprentissage moteur chez les enfants porteurs d'un TDC n'est pas unanime quant à leurs difficultés d'apprentissage de séquences (Adi-Japha & Brestel, 2020 ; Biotteau et al., 2015 ; Lejeune et al., 2013 ; Wilson et al., 2003).

Difficulté d'écriture dans le TDC

Les difficultés motrices des enfants porteurs d'un TDC mènent à des difficultés d'écriture, aussi appelées « dysgraphie », chez 50 à 88 % d'entre eux (Vaivre-Douret et al., 2021). Ce sont les difficultés d'écriture chez ces enfants qui représentent le principal motif de consultation (Miller et al., 2001). En effet, l'écriture étant une activité majoritaire dans l'ensemble des activités scolaires, les difficultés d'écriture ont un impact indirect sur les activités scolaires en freinant les apprentissages. L'écriture des enfants porteurs d'un TDC se caractérise par la lenteur et l'imprécision, des irrégularités et un agencement désordonné des lettres et des mots sur le support faisant baisser la lisibilité (Chang & Yu, 2010 ; Jolly, 2017 ; Vaivre-Douret et al., 2021).

Une des caractéristiques importantes dans le TDC, qui se retrouve également dans l'écriture, est la grande variabilité intra- et interindividuelle en fonction de la tâche ou des contraintes (Di Brina et al., 2008 ; Huau et al., 2015 ; Jolly et al., 2010 ; Rosenblum et al., 2003, 2006 ; Rosenblum & Livneh-Zirinski, 2008). Cette variabilité dans l'écriture pourrait traduire une instabilité des programmes moteurs (Huau et., 2015). En effet, puisque les modèles internes pour l'écriture ne seraient pas construits et consolidés, le passage entre le mode de contrôle rétroactif, centré sur les retours visuels, et le mode de contrôle proactif, reposant sur des modèles internes stables, ne pourrait pas s'effectuer (Smits-Engelsman et al., 2003). La difficulté à construire et consolider les modèles internes pour l'écriture et donc de passer à un mode de contrôle proactif aurait pour conséquence un défaut d'automatisation de l'écriture chez les enfants porteurs d'un TDC (Barnett & Punty, 2020 ; Jolly & Gentaz, 2014 ; Prunty et al., 2013, 2014 ; Rosenblum & Livneh-Zirinski, 2008). L'outil d'évaluation des capacités d'écriture le plus utilisé par les praticiens et par les chercheurs est le test du BHK (Charles et al., 2003, pour la version française). La qualité de l'écriture de l'enfant est évaluée à la suite d'une copie de texte, dont la production est analysée sur 13 critères de qualité et un critère de vitesse.

Déficits non moteurs

Les déficits moteurs peuvent également être accompagnés de troubles visuospatiaux ou visuoconstructifs. Tous les enfants porteurs d'un TDC ne sont pas porteurs de déficits visuospatiaux ce qui a d'ailleurs mené certains auteurs à considérer les troubles visuospatiaux comme un sous-type du TDC (Gras et al., 2023 ; Vaivre-Douret et al., 2011).

En ce qui concerne le versant cognitif, on observe des déficits des fonctions exécutives. En particulier, les enfants TDC peuvent présenter un déficit en mémoire de travail visuospatiale (Alloway et al., 2011 ; Tsai et al., 2008), alors que la mémoire de travail verbale semble épargnée (Maziero et al., 2020). Des auteurs rapportent également un déficit de flexibilité sur la tâche du WCST (Wisconsin Card Sort Test ; Wuang et al., 2011). Sur le plan de la planification, certains auteurs ont décrit un déficit de planification motrice (Fuelscher et al., 2016), et un déficit de planification exécutive (Pratt et al., 2014), alors que d'autres observent une préservation des capacités de planification (van Swieten et al., 2010). On retrouve également un déficit d'inhibition motrice dans des tâches bimanuelles (Blais et al., 2017).

Métacognition et déficit métacognitif chez les enfants porteurs d'un TDC

La métacognition a été définie par Flavell (1976) comme étant la capacité d'un individu à connaître, à évaluer et à réguler ses propres processus cognitifs. Elle est décrite en trois composantes : les connaissances métacognitives, les expériences métacognitives et les compétences métacognitives (Allix et al., 2023). La métacognition s'articule autour de deux fonctions : le contrôle métacognitif et la surveillance métacognitive aussi appelée *monitoring* (Nelson & Narens, 1990).

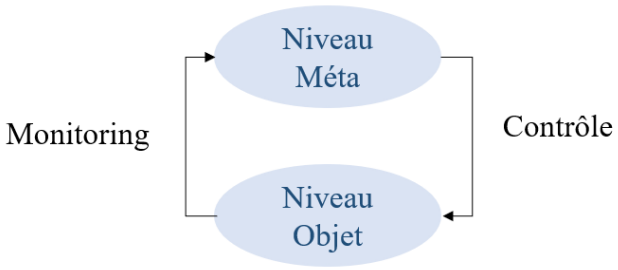
Les connaissances métacognitives renvoient aux connaissances d'un individu sur ses propres compétences cognitives, leurs fonctionnements et leurs limites. Ces connaissances peuvent être correctes ou erronées. Les expériences métacognitives sont les expériences cognitives ou affectives en lien avec l'activité cognitive en cours (Flavell, 1976). Les expériences métacognitives correspondent à la conscientisation des caractéristiques de la tâche, des efforts mis en œuvre pour effectuer une tâche, des résultats obtenus. Elles peuvent également correspondre à une autoévaluation lors de la réalisation d'une tâche, comme un sentiment d'échec ou de réussite. Les compétences métacognitives renvoient aux capacités de l'individu à mettre en place des stratégies pour contrôler ses activités cognitives pendant la réalisation d'une tâche. Il peut s'agir de prendre des décisions en fonction de la tâche à réaliser,

mettre en place un plan d'action, modifier le but à atteindre ou décider d'arrêter la tâche (Flavell et al., 2002).

Selon le modèle de Nelson et Narens (1990), les activités cognitives sont divisées en deux niveaux, le niveau objet et le niveau méta. Le niveau objet (1er ordre) correspond aux processus cognitifs et le niveau méta (2d ordre) correspond aux représentations qu'a l'individu de ses propres processus cognitifs et comporte les trois composantes de la métacognition (i.e. les expériences, connaissances et compétences métacognitives ; Efklides, 2008). Selon ce modèle, il existe un flux d'informations entre ces deux niveaux (voir Figure 9) : le niveau objet informe le niveau méta grâce au *monitoring* et le niveau méta régule le niveau objet grâce au contrôle métacognitif.

Figure 9

Représentation schématique du modèle de Nelson et Narens (1990)



Note. Le *monitoring* et le contrôle correspondent au flux d'informations entre le niveau méta et le niveau objet. Alors que le *monitoring* permet une mise à jour des représentations du niveau objet dans le niveau méta, le contrôle permet au niveau méta d'opérer des ajustements au niveau objet.

Mesure du *monitoring*. Il existe de nombreuses manières de mesurer les représentations qu'ont les individus de leurs propres processus cognitifs et de mesurer le *monitoring*. Parmi les méthodes dites *offline,* permettant de mesurer les capacités métacognitives chez l'enfant et chez l'adulte, dont le *monitoring*, on retrouve des questionnaires sur différents aspects de la vie quotidienne (Fleur, et al., 2021 ; Gascoine et al., 2017 ; Gopi & Madan, 2024). Les méthodes

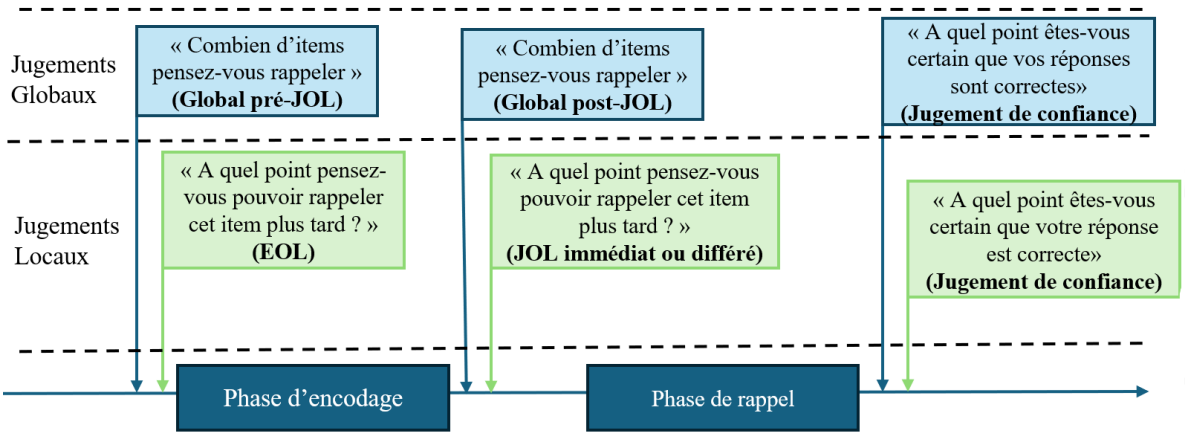
dites *online* quant à elle sont réalisées pendant la tâche. La méthode traditionnellement utilisée est de demander aux participants de réaliser des jugements explicites sur leurs performances passées ou futures (Nelson & Narens, 1990). Le type de jugement et le moment où il est effectué dans la tâche ont leur importance, car ils permettront d'évaluer différents aspects du *monitoring*. Les jugements seront alors considérés comme une performance dite de type-2 et la performance à la tâche sont dites performances de type-1.

Les différents types de jugements et leur position temporelle sont décrits en Figure 10. Les jugements peuvent être soit locaux, c'est-à-dire portés sur un seul item ou essai, par exemple « à quel point pensez-vous pouvoir rappeler cet item plus tard » ou « à quel point pensez-vous pouvoir réussir cet essai ? » ; soit globaux, c'est-à-dire porter un jugement sur les performances générales à une tâche, par exemple : « Combien d'items pensez-vous pouvoir rappeler ? » ou « combien d'essais pensez-vous pouvoir réussir ? ». Les jugements métacognitifs peuvent également être prédictifs, dans ce cas l'individu émet un jugement sur une performance future, par exemple dans une tâche de mémoire : « Combien d'items pensez-vous pouvoir vous rappeler ? », l'individu fait alors un jugement prédictif sur une performance future en répondant par un nombre d'items. Les jugements prédictifs sont toujours réalisés avant que l'individu ne réalise sa performance à la tâche. Cependant ils peuvent apparaître avant la phase d'encodage, après ou plusieurs minutes après la phase d'encodage. Les jugements rétrospectifs sont des jugements effectués après la performance, par exemple en répondant à la question « combien d'items pensez-vous avoir rappelés ? ».

Ainsi, de façon non exhaustive, on retrouve des jugements prédictifs globaux pré- et post- encodage (dits JOL pré-apprentissage, ou post-apprentissage, pour *judgment-of-learning*, Moulin et al., 2000 ; Wojcik et al., 2022), on retrouve également des jugements locaux prédictifs avant encodage (dits EOL, pour *ease-of-learning*, Jemstedt et al., 2018 ; Nelson & Narens, 1990), des jugements locaux prédictifs après encodage (dits JOL immédiat, Rhodes, 2016), des jugements locaux prédictif après encodage, mais avec un intervalle temporel plus long (dits JOL différé, Nelson & Dunlosky, 1991), et des jugements rétrospectifs globaux et locaux après la performance. Ces différents jugements sont présentés en Figure 3. Il existe d'autres types de jugements régulièrement utilisés dans les études sur la métacognition, comme le jugement FOK (pour *feeling-of-knowing*, Hart, 1965), mais nous ne rentrerons pas dans le détail de ces différents jugements.

Figure 10

Différents types de jugements métacognitifs pour la mesure du monitoring



Note. Différents types de jugements représentés à différents moments d'une tâche de mémoire.

Avec ces jugements il est possible de mesurer plusieurs indicateurs du *monitoring* (Fleming & Lau, 2014). Le biais métacognitif (ou calibration) permet d'évaluer un degré de sur- ou sous-estimation des performances du participant en effectuant une comparaison entre la magnitude des jugements et les performances de type-1. La précision (ou sensibilité métacognitive) correspond à l'écart entre la prédiction de la performance et la performance réelle (Fleming, 2024).

Déficit métacognitif chez les enfants porteurs d'un TDC. Dans leur méta-analyse de 2013, Wilson et collaborateurs mettent en évidence un déficit métacognitif chez les enfants porteurs d'un TDC (d = 1.44), suggérant une altération généralisée à cette aire de la cognition. Deux études sont incluses dans cette méta-analyse :

Dans leur étude de 2004, Martini et collaborateurs ont évalué le type de concepts métacognitifs utilisés pendant une tâche de lancer par des enfants porteurs d'un TDC en comparaison à des enfants au développement typique. Les enfants, âgés de 9 à 10 ans, devaient effectuer une tâche de lancer / attraper d'une balle avec rebond. Les différents essais étaient enregistrés et il était demandé aux enfants de verbaliser à voix haute leurs pensées sur la tâche pendant son exécution. Différents types de verbalisation ont été comptabilisés : les verbalisations de planification (e.g. « Je dois lancer la balle plus fort »), les verbalisations d'évaluation (e.g. « C'était un bon lancer ») et les verbalisations d'affects (e.g. « Je n'y arrive

pas »). Les enfants porteurs d'un TDC ont généré moins de verbalisation de planification que les enfants au développement typique ayant des performances de lancer moyennes, et sont les seuls à verbaliser des affects négatifs. Par ailleurs, les auteurs ont évalué la qualité des verbalisations en considérant des verbalisations appropriées (i.e. pertinentes pour la bonne exécution de la tâche, par exemple : « Je dois lancer plus fort pour que la balle rebondisse ») et des verbalisations inappropriées (i.e. non pertinentes à la bonne exécution de la tâche, par exemple : « Je dois lancer moins fort » alors que le lancer nécessiterait d'être plus fort). Les enfants porteurs d'un TDC font plus de verbalisations de planification inappropriées. Pour les auteurs, les enfants porteurs d'un TDC ont de moins bonnes performances dans la tâche de lancer / attraper et montrent de faibles capacités à choisir et utiliser des stratégies de planification appropriées ainsi que de faibles capacités de *monitoring* et d'évaluation.

Par ailleurs, dans leur étude de 2005, Sangster et collaborateurs ont évalué l'efficacité de deux types d'intervention sur la capacité des enfants porteurs d'un TDC à générer des stratégies pour effectuer une tâche motrice. Des participants, âgés de 7 à 11 ans, recevaient 11 sessions soit d'une intervention classique centrée sur les processus, soit d'une intervention dite CO-OP (*Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance*) centrée sur l'apprentissage de stratégie (Missiuna et al., 2001 ; Polatajko et al., 2001a, 2001b). Avant et après l'intervention, les enfants devaient regarder une vidéo d'une enfant ayant de grandes difficultés à utiliser une corde à sauter. Ils devaient évaluer sa performance et générer des stratégies qui devraient être utilisées par l'enfant pour améliorer ses performances. Les résultats montrent qu'après l'intervention CO-OP, en comparaison à l'intervention classique, les enfants ont généré un plus grand nombre de stratégies et ont également fourni des stratégies de meilleure qualité. Pour les auteurs, la modification quantitative et qualitative des stratégies générées après l'intervention CO-OP reflète une amélioration des connaissances métacognitives et du *monitoring* chez les enfants porteurs d'un TDC. L'intervention CO-OP permettrait de pallier le déficit métacognitif des enfants porteurs d'un TDC.

Ces deux études montrent que les enfants porteurs d'un TDC semblent rencontrer des difficultés à verbaliser des stratégies appropriées nécessaires à la bonne exécution d'une tâche motrice. Même si l'intervention CO-OP semble permettre une amélioration des connaissances métacognitives, ces différents résultats indiquent un déficit métacognitif chez les enfants porteurs d'un TDC, lors de l'exécution d'une tâche motrice. Les enfants TDC sont connus pour avoir des capacités métacognitives faibles, cependant, à notre connaissance, aucune étude ne

s’est intéressée à des mesures plus directes du monitoring et du contrôle métacognitif chez les enfants porteurs d’un TDC. En effet, la verbalisation de stratégie constitue un indicateur des capacités métacognitives chez les enfants, bien qu'elle demeure une mesure indirecte du *monitoring* et du contrôle métacognitif. Des recherches futures utilisant des mesures directes (Flemming & Lau, 2014) pourraient fournir une évaluation plus précise de la métacognition dans cette population. Par ailleurs, à notre connaissance, aucune étude ne s'est encore intéressée à la métacognition des enfants présentant un TDC dans des tâches non motrices.

Une telle exploration permettrait de mieux appréhender l'étendue de leurs déficits et de déterminer si leurs difficultés s'étendent à d'autres domaines de la cognition. De plus, Sangster Joki´c et Whitebread (2011), préconisent d’investiguer l’autorégulation des apprentissages et la métacognition chez les enfants porteurs d’un TDC dans le but d’améliorer l’efficacité des interventions centrées sur l’apprentissage de stratégie. Par ailleurs, l’expertise collective de l’INSERM (INSERM, 2019) met en évidence le fait que peu d’études se sont intéressées aux mécanismes cognitifs qui sous-tendent les difficultés scolaires chez les enfants porteurs d’un TDC (Harrowell et al., 2018). En effet, l’apprentissage et le transfert de stratégie, ainsi que la métacognition, sont des mécanismes cognitifs essentiels dans les activités scolaires (Gomes et al., 2014).

Hypothèses explicatives des déficits observés dans le TDC

Plusieurs hypothèses explicatives de l’apparition des troubles dans le TDC ont été évoquées dans la littérature. La plus ancienne hypothèse explicative du TDC est l’hypothèse d’un déficit perceptif (Wilson & McKenzie, 1998). En effet, les informations sensorielles et notamment la vision, la proprioception et la perception haptique sont particulièrement sollicitées dans le contrôle moteur et pourraient être à l’origine des déficits dans la construction et la mise à jour des modèles internes chez les enfants porteurs d’un TDC.

L’hypothèse d’un déficit d’apprentissage procédural a beaucoup été explorée (Biotteau et al., 2016). Selon cette hypothèse, les enfants porteurs d’un TDC auraient des difficultés dans l’apprentissage des deux processus de l’apprentissage procédural que sont l’adaptation sensorimotrice et l’apprentissage de séquences. Comme vu plus haut, de nombreuses études montrent en effet un déficit d’adaptation sensorimotrice et d’apprentissage de séquences, même si d’autres études montrent des compétences préservées. L’hypothèse d’un déficit des modèles

internes, la plus consensuelle aujourd'hui, va également dans le sens de l'hypothèse d'un déficit de l'apprentissage procédural.

Selon l'hypothèse d'un déficit des modèles internes, les enfants porteurs d'un TDC présenteraient une habileté restreinte à utiliser un mode de contrôle du mouvement basé sur les prédictions (Wilson et al., 2013). Comme vu plus haut, les modèles internes, et en particulier le modèle direct, permettent de prédire les conséquences sensorielles d'un mouvement et de le corriger si nécessaire via la comparaison entre les conséquences prédites et les conséquences réelles. Ce type de contrôle basé sur les prédictions permet de corriger le mouvement si la commande motrice initiale n'est pas correcte ou des changements dans l'environnement apparaissent. Selon Wolpert et Kawato (1998), les modèles internes sont les éléments constitutifs pour construire des comportements moteurs précis dans l'apprentissage moteur. En effet, les enfants porteurs d'un TDC réalisent des actions motrices lentes et imprécises, et un déficit des modèles internes pourrait expliquer pourquoi l'on observe des difficultés d'adaptation sensorimotrice et d'apprentissage de séquences chez ces enfants.

Ce déficit des modèles internes chez les individus porteurs d'un TDC est expliqué par Smits-Engelsman et Wilson (2013) par un bruit neuromoteur exacerbé. Le bruit neuromoteur apparaît à tous les niveaux du système sensorimoteur (Harris & Wolpert, 1988). Il est responsable de la variabilité normale des mouvements, et correspond à des perturbations aléatoires et imprévisibles du système sensorimoteur. Le bruit neuromoteur est normal chez les personnes au développement moteur typique, mais semblerait être plus important chez les enfants porteurs d'un TDC ce qui expliquerait pourquoi ces enfants ont un faible contrôle moteur.

Les enfants porteurs d'un TDC présenteraient un déficit des modèles internes, une déficience qui pourrait être attribuée à un bruit neuromoteur altérant la précision et l'efficacité des commandes motrices. Cette hypothèse a été soutenue par diverses études montrant des déficits dans l'adaptation sensorimotrice et l'apprentissage de séquences motrices, bien que ces difficultés ne soient pas systématiquement observées dans toutes les recherches. Dès lors, il serait pertinent d'évaluer le transfert des apprentissages sensorimoteurs chez ces enfants, afin de mieux identifier les processus moteurs les plus touchés dans le TDC.

Transfert des apprentissages chez les enfants porteurs d'un TDC

Les enfants porteurs d'un TDC sont connus pour rencontrer des difficultés à transférer (Blank et al., 2012). En effet, la question du transfert chez ces enfants est particulièrement importante puisqu'elle questionne leur capacité à s'adapter à de nouvelles situations, notamment motrices, il convient alors de s'intéresser non seulement à leurs capacités d'acquisition, mais également à leurs capacités de transfert. Les travaux sur le transfert des apprentissages chez les enfants porteurs d'un TDC sont peu nombreux et incluent des entraînements, des tâches principales et des tâches de transfert qui sont variables d'une étude à l'autre. L'ensemble des études portant sur le transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC sont décrites dans le Tableau 1.

Tableau 1

Résumé des études en laboratoire et des études interventionnelles portant sur le transfert d'apprentissage chez les enfants avec un TDC.

Références	Population	Tâche principale	Tâche de transfert	Résultats
Adi-japha & Brestel, 2020	16 TDC 16 TD	Tracer un nouveau caractère	Tracer le même caractère sans les points guides	TDC < TD
Araújo et al., 2019	8 TDC	CO-OP : 3 activités choisies par les enfants (Activités différentes pour chaque enfants)	- 4ième activité - MABC-2	- Amélioration des performances pour la 4ième activité - Amélioration du MABC-2 pour 4 enfants
Bartov et al., 2013	27 TDC	Ecrire un texte avec ou sans feedback visuel	Nouveau texte	Avec feedback > Sans feedback
Bonney et al., 2017a	56 TDC 55 TD	Jeu Wii Fit soit répétitif (un seul jeu) soit variable (plusieurs jeux)	Nouveau jeu Wii Fit	Pas de différence entre les deux types d'entraînement
Bonney et al., 2017b	57 TDC 54 TD	Wii Fit soit répétitif (un seul jeu) vs. Variable (plusieurs jeux)	- MABC-2 - BOT-2 - Force - Sprint	TDC = TD Pas de différence entre les deux types d'entraînement
Capistran & Martini, 2016	4 TDC	CO-OP : 3 activités choisies par les enfants (Activités différentes pour chaque enfants)	4ième activité	Amélioration des performances à la 4ième activité pour 2 enfants
Farhat et al., 2016	27 TDC	Intervention centrée sur la tâche – Motricité globale	- MABC - Dextérité manuelle	Entraînement > Sans entraînement
Grohs et al., 2020	28 TDC	PPT main dominante + tDCS	- PPT main gauche - PPT main droite - PPT bimanuel - JTT	Amélioration sur toutes les tâches de transfert Pas de différence avec et sans tDCS

Jarus et al., 2015	12 TDC 13 TD	Suivre avec le curseur le mouvement du cercle sur l'écran	Mouvement du cercle différent	TDC < TD
Jelsma et al., 2023a	35 TDC 35 TD	Soit jeux Wii Fit, soit jeux Xbox Kinect	Attention divisée	TDC < TD
Jelsma et al., 2023b	34 TDC 34 TD	Soit jeux Wii Fit, soit jeux Xbox Kinect	- MABC-2 - BOT-2 - Nouveau jeu WiiFit	Wii Fit = Xbox Kinect pour MABC-2 (test d'équilibre) et nouveau jeu Wii Fit
Kluwe et al., 2012	2 TDC	CO-OP ; 2 activités choisies par les enfants	-MABC	1 enfant a de meilleures performances au MABC
Koopmans et al., 2023	12 TDC 12 TD	Intervention de type CO-OP : planification motrice	Nouvelle tâche	TDC = TD
Lejeune et al., 2016	17 TDC 17 TD	Utilisation de la souris inversée	Utilisation de la souris inversée, mais dans une tâche différente	TDC = TD
Niemeijer et al., 2007	26 TDC	NTT	- MABC - TGMD-2	Amélioration en tâche de transfert, mais seulement pour les items similaires aux tâches entraînées
Smits-Engelsman et al., 2015	18 TDC 18 TD	Wii Fit, un seul jeu	- MABC-2 (items équilibre) ; - BOT-2 (items équilibre) - Nouveau jeu Wii Fit	TDC = TD
Smits-Engelsman et al., 2020	33 TDC 28 TD	Wii Fit	- MABC-2 - Nouveau jeu Wii Fit	Nouveau jeu Wii Fit : TDC < TD Amélioration des performances aux items d'équilibre du MABC-2 pour les enfants TDC
Smits-Engelsman et al., 2023	16 TDC 34 TD	Soit Wii Fit jeux de balles ; soit Wii Fit jeux d'agilité	- Jeux de balles et jeux d'agilité réels. - MABC-2 - BOT-2	Amélioration en tâche de transfert pour tous les enfants

Évaluation du transfert chez les enfants avec TDC dans les études en laboratoire

Dans leur étude de 2015, Jarus et collaborateurs montrent un apprentissage et un transfert d'apprentissage de séquences déficitaire chez les enfants porteurs d'un TDC, dans une tâche de transfert proche. Dans cette étude, les enfants devaient apprendre à déplacer le curseur de la souris en suivant le déplacement vertical d'un cercle en tâche principale, puis dans la tâche de transfert, les enfants devaient suivre le mouvement horizontal du cercle. Selon Lejeune et collaborateurs (2016) les enfants porteurs d'un TDC présentent un transfert d'apprentissage après une tâche d'adaptation motrice préservée, dans une tâche de transfert proche. En effet, avec le paradigme de la souris inversée, les enfants sont entraînés à déplacer un personnage dans un panier, puis en phase de transfert à suivre les contours d'une forme avec le curseur.

Par ailleurs une série d'études a porté sur le transfert d'apprentissage moteur après un entraînement à la motricité globale sur des outils de jeux tels que la console WiiFit (Nintendo©). Dans leur étude de 2015, Smits-Engelsman et collaborateurs, avec un paradigme prétest / entraînement / post-test, ont montré qu'un entraînement de 10 semaines à plusieurs jeux de la console WiiFit a permis une amélioration des performances à un nouveau jeu non entraîné chez des enfants porteurs d'un TDC. Dans deux études, Bonney et collaborateurs (2017a ; 2017b) ont montré des performances en tâche de transfert similaires entre les enfants porteurs d'un TDC et les enfants au développement typique, après un entraînement répétitif à un seul jeu issu de la console WiiFit ou à un entraînement varié à plusieurs jeux de la console WiiFit. Par ailleurs, Jelsma et collaborateurs (2023a) ont observé une amélioration des performances à un nouveau jeu avec un entraînement de plusieurs semaines aux jeux de la console WiiFit et de la console Xbox© Kinect. Par ailleurs, les auteurs observent également des effets de transfert positif de l'entraînement aux jeux WiiFit sur des mesures standardisées comme le MABC-2 (Bonney et al., 2017b ; Jelsma et al., 2023b ; Smits-Engelsman et al., 2015 ; Smits-Engelsman et al., 2021 ; Smits-Engelsman et al., 2023). Les différents auteurs expliquent cet effet de transfert positif par des processus similaires entre les jeux de la WiiFit et les items du MABC-2, et notamment en ce qui concerne l'équilibre.

Dans une étude de 2020, Grohs et collaborateurs montrent que les enfants porteurs d'un TDC présentent des compétences préservées de l'acquisition, du maintien et du transfert d'une tâche de dextérité manuelle. Après un entraînement au test de PPT (*Purdue Pegboard Test* ; Tiffin & Asher, 1948) avec la main dominante, les enfants porteurs d'un TDC sont capables de transférer leur apprentissage en améliorant leurs performances avec la main non dominante.

Enfin, une seule étude a porté sur l'apprentissage et le transfert graphomoteur chez les enfants porteurs d'un TDC (Adi-japha & Brestel, 2020). Les participants au développement typique et porteurs d'un TDC ont été entraînés au tracé d'une pseudo-lettre (i.e. un symbole nouveau ressemblant à une lettre). Pendant l'entraînement les enfants devaient tracer la pseudo-lettre en reliant des points-guides, puis lors d'une tâche de transfert, les participants devaient tracer la pseudo-lettre apprise sans l'aide des points-guides. Les résultats ont montré que les enfants porteurs d'un TDC présentaient des performances similaires aux enfants au développement typique dans les phases d'acquisition et de maintien, mais des performances plus faibles en tâche de transfert. Les auteurs expliquent les difficultés de transfert des enfants

porteurs d'un TDC par le fait que la tâche de transfert comprenait des contraintes spatiales plus importantes, considérant donc cette tâche de transfert comme relevant du transfert lointain.

Ainsi, les recherches en laboratoire portant sur le transfert de la motricité semblent montrer que les enfants porteurs d'un TDC sont capables de transférer leurs apprentissages moteurs lorsque la tâche de transfert reste proche des tâches entraînées, mais qu'ils présentent plus de difficultés que les enfants au développement typique lorsque les tâches de transfert sont plus lointaines sur les caractéristiques de tâche, le contexte ou les processus impliqués dans la tâche.

Évaluation du transfert des enfants avec TDC dans les études interventionnelles

Par ailleurs d'autres études ont investigué le transfert chez les enfants porteurs d'un TDC après une intervention. En effet, le transfert est un des objectifs des interventions (Blank et al., 2012) puisque le but des interventions est d'améliorer les performances motrices des enfants dans leur vie quotidienne et scolaire. Il existe plusieurs types d'intervention proposés aux enfants porteurs d'un TDC : les interventions avec une approche centrée sur les processus (*process-oriented approach*), et les interventions avec une approche centrée sur la tâche (*task-oriented approach*).

L'approche centrée sur les processus (Sugden, 2007) concerne les interventions axées sur la rééducation des processus sensorimoteurs fondamentaux, supposés sous-tendre de multiples performances motrices (Missiuna et al., 1997). Cette approche est progressivement abandonnée, car plusieurs méta-analyses ont montré des résultats peu concluants quant à leur efficacité (Lucas et al., 2016 ; Smits-Engelsman et al., 2018 ; Wilson et al., 2013). D'autre part, l'approche centrée sur la tâche se concentre sur les compétences fonctionnelles qui doivent être améliorées chez un enfant (Schoemaker et al., 2003). Par exemple, l'intervention *Cognitive Orientation to Daily Occupation Performance* (CO-OP) a trois objectifs : l'acquisition de compétences, le développement de l'utilisation de stratégies cognitives et le transfert de l'apprentissage (Blank et al., 2012). Les enfants sont amenés à découvrir des stratégies cognitives de résolution de problèmes pour réussir une activité motrice (Polatajko & Mandich, 2004). Dans l'intervention d'entraînement à la tâche neuromotrice (NTT pour *Neuromotor Task Training*), la tâche et son contexte environnemental sont modifiés pour offrir à l'enfant une expérience d'entraînement variée afin de promouvoir le transfert de l'apprentissage (Schoemaker et al., 2003).

Les interventions centrées sur les processus et les interventions centrées sur les tâches diffèrent en ce qui concerne le transfert de l'apprentissage. Dans l'approche centrée sur les processus, la compétence fondamentale acquise pendant l'intervention est censée améliorer les performances dans toute une série de tâches motrices. Par conséquent, les tâches utilisées pendant l'intervention sont susceptibles d'être dissimilaires aux tâches motrices rencontrées dans la vie quotidienne, pour lesquelles on espère voir une amélioration après l'intervention. Les différences entre la tâche entraînée et les tâches non entraînées de la vie quotidienne résident dans les tâches, dans leurs contextes de présentation, ou dans les deux, ce qui est typique du transfert lointain (Klahr & Chen, 2011). Le transfert lointain est notamment difficile à observer (Sala & Gobet, 2017 ; Tricot & Sweller, 2014). Par conséquent, ce type d'intervention n'est que peu susceptible de conduire à un transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC, ce qui explique leur faible efficacité.

Le transfert des interventions centrées sur la tâche peut se manifester de deux façons. Tout d'abord, en entraînant l'enfant à réaliser une tâche spécifique, l'objectif est qu'il réussisse cette tâche ou des variations similaires dans sa vie quotidienne. Ce type d'approche favorise un transfert proche, qui est plus susceptible de se produire (Luis-Ruiz et al., 2020). Cela pourrait expliquer en partie l'efficacité des interventions centrées sur la tâche. Deuxièmement, dans des approches comme l'intervention CO-OP ou l'intervention NTT, l'accent est également mis sur l'apprentissage de stratégies de résolution de problèmes. Une fois maîtrisées, ces stratégies cognitives permettraient aux enfants de transférer leurs compétences à de nouvelles tâches et contextes. Ici, le transfert ne repose pas sur le transfert de l'habileté motrice elle-même, mais sur les stratégies cognitives qui facilitent l'acquisition de nouveaux apprentissages moteurs.

Plusieurs études se sont intéressées au transfert des interventions chez les enfants porteurs d'un TDC. Bartov et collaborateurs (2023) ont montré qu'une intervention fournissant des feedbacks visuels pendant l'écriture améliorait les performances d'écriture des enfants porteurs d'un TDC sur un nouveau texte. Plusieurs études ont investigué le transfert des apprentissages des enfants porteurs d'un TDC après une intervention centrée sur la tâche. Dans l'étude de Araújo et collaborateur (2019), les auteurs ont proposé une intervention CO-OP à 8 enfants pendant 6 semaines. Pendant l'intervention les enfants ont été entraînés à réaliser 3 tâches qu'ils ont choisies au préalable et la tâche de transfert correspondait à une quatrième tâche. Les résultats ont montré que tous les enfants ont amélioré leurs performances sur la quatrième tâche. Les auteurs expliquent ces résultats par la capacité des enfants à transférer la

stratégie apprise pendant l'intervention vers une tâche non entraînée. Dans cette étude, les auteurs ont également évalué le transfert vers le test du MABC-2 et ont observé une amélioration des performances pour 4 enfants sur les 8 participants. Dans une étude similaire, Capistran et Martini (2016) montrent l'amélioration des performances des enfants porteurs d'un TDC sur une nouvelle tâche après l'intervention CO-OP grâce au transfert de la stratégie apprise pendant l'intervention. D'autres auteurs ont montré des résultats similaires avec l'intervention CO-OP (Kluwe et al., 2012 ; Koopmans et al., 2023) et l'intervention NTT (Niemeijer et al., 2007). Ainsi, il semble que lorsque ce sont des stratégies cognitives appliquées à des tâches motrices qui sont entraînées, alors le transfert vers des tâches non entraînées semble plus facile pour les enfants porteurs d'un TDC.

Problématique

Le transfert moteur nécessite la réutilisation des modèles internes consolidés pour effectuer un mouvement. Ainsi, étudier le transfert moteur chez les enfants porteurs d'un TDC permettrait de mieux caractériser les difficultés motrices vécues par ces enfants. L'étude de l'apprentissage moteur et du transfert de cet apprentissage permettra de spécifier à quel niveau apparaissent les difficultés. En effet, étudier l'acquisition, et le transfert, permettra une évaluation des différentes étapes de l'apprentissage moteur. Par ailleurs, si les interventions les plus efficaces en ce qui concerne le transfert des apprentissages portent sur le transfert de stratégie, il semble pertinent d'étudier l'apprentissage et le transfert de stratégies cognitives, en lien avec leurs capacités métacognitives.

Dans ce travail de thèse, nous évaluerons le transfert d'apprentissage moteur, et en particulier graphomoteur, et le transfert d'apprentissage de stratégie chez des enfants au développement typique et chez des enfants porteurs d'un TDC. Mieux comprendre les capacités des enfants porteurs d'un TDC à transférer des apprentissages graphomoteurs nous permettra de mieux caractériser les difficultés d'écriture présentes chez ces enfants. D'autre part, évaluer le transfert de stratégie non motrice des enfants porteurs d'un TDC, à la lumière de leurs compétences métacognitives, permettra de mieux caractériser leurs compétences à la fois métacognitives et stratégiques. Ainsi, évaluer conjointement le transfert moteur et non moteur permettra une évaluation complète de la capacité de ces enfants à transférer leurs apprentissages.

Deux questions principales nous ont intéressé :

1. Quelle est la capacité des enfants au développement typique et porteurs d'un TDC à transférer leurs apprentissages, tant sur le plan moteur que non moteur ?

2. Dans quelle mesure les enfants au développement typique et les enfants porteurs d'un TDC peuvent-ils transférer leurs apprentissages le long du continuum allant du transfert proche au transfert lointain ?

Étant donné le nombre limité d'études ayant exploré le transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC, la réalisation d'une revue de portée visant à identifier et cartographier l'ensemble des travaux existants sur ce sujet nous a paru pertinente. Ce travail fera l'objet du Chapitre 2 : Transfert des apprentissages moteurs et stratégiques chez les enfants porteurs d'un TDC, une revue de portée.

Afin d'évaluer le transfert moteur dans différentes tâches de transfert, nous avons développé un paradigme d'apprentissage et de transfert de pseudo-lettres visant à évaluer, chez des enfants âgés de 7 à 10 ans et des adultes au développement typique et porteurs d'un TDC, le développement des capacités à créer des représentations d'un apprentissage de séquences graphiques, avec une quantité de pratique limitée, et de transférer cet apprentissage vers le tracé de nouvelles séquences ou combinaisons de séquences (Chapitre 3).

Dans le Chapitre 4, nous présenterons une application développée pour mesurer l'apprentissage, l'utilisation et le transfert de stratégies de mémorisation. Deux études permettront d'évaluer l'apprentissage et le transfert de deux stratégies mnésiques, respectivement la stratégie d'autorépétition (étude 2) et la stratégie de groupement catégoriel (étude 3), chez les enfants au développement typique âgés de 7 à 10 ans. Ces deux études permettront également de comparer le matériel numérique (l'application) et le matériel tangible.

À l'aide d'un paradigme similaire à celui de l'étude 3, nous avons réalisé une nouvelle étude afin d'évaluer les capacités d'apprentissage et de transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez des enfants au développement typique âgés de 7 à 10 ans et chez des enfants porteurs d'un TDC. Cette étude, dans laquelle nous nous intéresserons particulièrement à l'adaptation en tâche de transfert de la stratégie de groupement catégoriel apprise en tâche principale, fera l'objet du Chapitre 5 : « Métacognition et transfert de l'apprentissage de la stratégie de groupement catégoriel chez les enfants au développement typique âgé de 7 à 10 ans et chez 4 enfants porteurs d'un TDC ». Dans cette étude, plusieurs tâches de transfert seront proposées : une tâche de transfert dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la

tâche elle-même, et une seconde tâche de transfert dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche, mais également dissimilaire sur le contexte numérique de présentation de la tâche. De cette manière nous évaluerons le transfert de la stratégie dans deux tâches de transfert plus ou moins proche de la tâche principale sur le continuum transfert proche / transfert lointain. De plus, nous évaluerons les capacités métacognitives associées à l'utilisation de la stratégie.

Chapitre 2 : Transfert des apprentissages moteurs et stratégiques chez les enfants porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination (TDC) : Une revue de portée.

Résumé

Le trouble développemental de la coordination (TDC) est un trouble du développement qui affecte l'apprentissage et l'exécution des habiletés motrices. On en sait peu sur la capacité des enfants atteints de TDC à transférer leurs apprentissages, c'est-à-dire à adapter leurs connaissances antérieures à de nouvelles tâches (Hattie & Donoghue, 2016). Cette question est importante chez ces enfants, tant pour mieux comprendre comment ils peuvent adapter un apprentissage initial à de nouvelles situations, que pour développer des interventions leur permettant de transférer leurs acquis dans leur vie quotidienne. L'objectif de cette revue de portée est d'évaluer l'ampleur et la nature de la littérature existante sur le transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC. Après une recherche dans quatre bases de données, 58 publications répondant aux critères d'inclusion ont été retenues. Parmi ces études, 18 visaient à mesurer le transfert et 40 peuvent être interprétées comme évaluant le transfert d'apprentissage même si celui-ci n'est pas explicitement mentionné par les auteurs. Les résultats montrent qu'en comparaison à des enfants au développement typique, les enfants porteurs d'un TDC semblent rencontrer des difficultés à transférer leurs apprentissages moteurs lorsque les tâches de transfert sont éloignées des tâches entraînées, mais semblent capables de transférer leurs apprentissages lorsque les tâches restent proches. Cependant, ils peuvent transférer des stratégies cognitives à des tâches de transfert plus éloignées. Des recherches futures sont nécessaires pour évaluer systématiquement les différents aspects du transfert, dans le but de proposer des interventions efficaces aux enfants porteurs d'un TDC.

Article associé :

Josseron, L., Mombo, W. T., Maggiacomo, M., Jolly, C., & Clerc, J. (2025). Transfer of motor and strategy learning in children with Developmental Coordination Disorder (DCD): A scoping review. *Research in Developmental Disabilities*, *157*, 104908.

Objectif de la revue de portée

L'objectif de ce chapitre est de présenter un travail de revue de la littérature portant sur le transfert des apprentissages chez les enfants porteurs d'un TDC. En effet, étant donné le faible nombre d'études ayant exploré le transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC, la réalisation d'une revue de portée visant à identifier et « cartographier » l'ensemble des travaux existants sur ce sujet nous a paru pertinente.

Le choix du type de revue s'est porté sur la revue de portée (ou *scoping review*) pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la revue de portée correspond à une recherche exploratoire des publications disponibles sur un sujet en prenant en compte tous types de publications (études expérimentales, études de cas, etc.), mais sans prendre en compte la qualité méthodologique des publications, qui est généralement évaluée dans les revues systématiques et méta-analyses. La revue de portée permet ainsi de cartographier l'étendue d'un champ de recherche, afin de le décrire et d'en extraire les concepts clés, ainsi que d'en résumer les preuves (Nambiema et al., 2021). De plus, la revue de portée permet de mettre en évidence la nature des publications du champ de recherche et d'en identifier les limites et les lacunes, permettant ainsi d'émettre des recommandations pour de futures recherches sur le sujet d'intérêt. Enfin, le caractère exploratoire de la revue de portée permettra de guider des questions de recherche plus spécifiques, et peut donc être un précurseur de la revue systématique et de la méta-analyse (Munn et al, 2018).

Ainsi la revue de portée pouvant répondre à plusieurs questions de recherche, les objectifs de notre revue de portée sont les suivants :

1. Avoir une vue d'ensemble sur les travaux de recherche sur le transfert des apprentissages des enfants porteurs d'un TDC, d'en connaître la portée et la nature[1].
2. Évaluer la façon dont le transfert est abordé théoriquement dans ce champ de recherche et quelles implications ces choix théoriques ont sur les méthodologies expérimentales.
3. Identifier les méthodologies utilisées pour évaluer le transfert chez ces enfants.

[1] L'ensemble des publications incluses dans la revue de portée est présenté en Annexe 1.

4. Identifier les compétences les plus régulièrement évaluées dans la littérature portant sur le transfert chez les enfants porteurs d'un TDC.
5. Proposer un résumé des résultats présents dans la littérature sur le transfert des apprentissages des enfants porteurs d'un TDC.
6. Identifier les lacunes de la littérature, en pointant les aspects les moins traités du champ de recherche.
7. Justifier de la pertinence et de la faisabilité d'une revue systématique et/ou d'une méta-analyse.

Research in Developmental Disabilities 157 (2025) 104908

Contents lists available at ScienceDirect

Research in Developmental Disabilities

journal homepage: www.elsevier.com/locate/redevdis

Transfer of motor and strategy learning in children with Developmental Coordination Disorder (DCD): A scoping review

Laureen Josseron [a], Wilfried Thierry Mombo [b], Mélanie Maggiacomo [a], Caroline Jolly [a], Jérôme Clerc [a,*]

[a] Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LPNC, Grenoble 38000, France
[b] Université de Bourgogne, Institut de Recherche sur l'Education (IREDU), Dijon, France

ARTICLE INFO

Keywords:
Transfer of learning
Developmental Coordination Disorder
Children
Motor transfer
Strategy transfer

ABSTRACT

Developmental coordination disorder (DCD) is a developmental disorder that affects the learning and execution of motor skills. Little is known about their ability to transfer their learning, i.e. to adapt prior knowledge to new tasks (Hattie & Donoghue, 2016). This is an important issue in these children, both to better understand how they can adapt initial learning to new tasks, and to develop interventions that will enable them to transfer their knowledge into their daily lives. The aim of this scoping review is to assess the body and nature of the existing literature on transfer of learning in children with DCD. After a search in 4 databases, 58 publications meeting the inclusion criteria were included. Among the studies, 18 aimed at measuring transfer, other can be interpreted as measuring transfer of learning even if transfer is not explicitly mentioned by the authors. The results show that children with DCD seem to have difficulty transferring their motor learning when the transfer tasks are far from the trained tasks but seem able to transfer their learning when the transfer tasks remain close, however they can transfer cognitive strategies to more distant transfer tasks. Future research is needed to systematically assess different aspects of transfer, with the aim of proposing effective interventions for children with DCD.

1. Introduction

Developmental Coordination Disorder (DCD) affects motor acquisition and execution in children (APA, 2013). Research tends to focus on the evaluation of children's motor learning capacity or, on the evaluation of interventions intended to improve motor performance. However, little is known about the ability of children with DCD to transfer one's learning, that is the ability to apply prior learning to new situations (Chi & VanLehn, 2012; Hattie & Donoghue, 2016). While transfer of learning can be regarded as a driving force behind child development (Brown et al., 1986), as an integral part of learning (Shea & Morgan, 1979), and as the ultimate goal of interventions (Blank et al., 2012), the transfer of learning framework has rarely been used to answer specific questions on DCD. Approaching the effectiveness of interventions for children with DCD through the theoretical framework of transfer of learning may shed light on the ability of those children to adapt to new situations. This could lead to a better understanding of their motor execution deficits by disentangling their leaning skills from their transfer skills. Additionally, measuring transfer in a systematic way may lead to increase the effectiveness of interventions intended to benefit children in their daily life activities.

* Corresponding author.
E-mail address: jerome.clerc@univ-grenoble-alpes.fr (J. Clerc).

https://doi.org/10.1016/j.ridd.2024.104908
Received 18 July 2024; Received in revised form 20 December 2024; Accepted 28 December 2024
Available online 8 January 2025
0891-4222/© 2024 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

According to Arksey and O'Malley (2005), the goals of scoping reviews are to identify all relevant literature regardless of design and quality of the studies, adopting a broad approach in order to cover a wide range of topics, and present a general overview of all material reviewed. The aim of the present scoping review is to explore the extent and nature of the literature on DCD dealing directly or indirectly with transfer of learning in children. Following an overview of DCD and transfer, we will present research findings and discuss the implications of these results.

1.1. Developmental Coordination Disorder (DCD)

According to the DSM-5 (APA, 2013), DCD is a neuro-developmental disorder, mainly affecting acquisition and execution of motor activities. The prevalence of this disorder in children depends on the study and the country, ranging from 4.9 % (Kadesjo & Gillberg, 1999) to 15.6 % (Wright, Sugden, & Tan, 1994) in 7 years old children, to 19 % (Tsiotra et al., 2006) in 11 years old children. Children with DCD show deficits in executing many motor activities, this disorder massively impacts school and daily life activities, participation, and life quality (Cairney et al., 2005).

Motor performances in children with DCD are systematically less precise and slower (Smits-Engelsman et al., 2003). Supported by the internal modeling deficit hypothesis (Adams et al., 2014), these characteristics led researchers to hypothesize the presence of a deficit in motor skill learning (Bo & Lee, 2013; Gheysen et al., 2011; Gomez & Sirigu, 2015; Kagerer et al., 2004) whereas other report preserved motor skill learning (Ferguson et al., 2013; Lejeune et al., 2013). These opposite results may be caused by different protocols, different tasks, and different ways to assess learning. Hence, the mechanisms explaining motor difficulties in these children are still poorly understood. On the other hand, the European Academy for Childhood Disability (EACD, Blank et al., 2012) recommended interventions that permit the enhancement of transfer of learning in daily life activities, because children with DCD are known to present difficulties in transfer of learning.

1.2. Transfer of learning

Transfer of learning is a long-standing field of psychological and cognitive science research, it is defined as the ability for individuals to reuse their prior knowledge to solve new problems, or how knowledge acquired in a previous task or situation can be adapted to a different task or situation (Barnett & Ceci, 2002; Nokes, 2009). Transfer of learning can be described on a continuum from near transfer to far transfer (Barnett & Ceci, 2002), with near transfer repeatedly shown to be more efficient than far transfer (Sala & Gobet, 2017). Originating in the pioneer work by Thorndike and Woodworth (1901), who showed that transfer depends on similarity between tasks, this work predates Klahr and Chen's (2011) three-dimensional conceptual model that predict transfer between the main task (i.e. the task that enabled initial learning) and the transfer task (i.e. the new task, in which the initially learned skill must be applied). In this model, transfer is determined by the similarity of tasks, the similarity of contexts, and the time interval between the two tasks. The more dissimilar the tasks and their contexts and the longer the time interval, the less likely the transfer. Another view of transfer is the Transfer of Appropriate Processing framework (TAP; Franks et al., 2000). In this framework, transfer depends on the similarity of the cognitive processes involved in the tasks. Although this framework emphasizes the similarity of processes, it can be articulated with the more traditional view of transfer as depending on tasks' and contexts' similarities. In fact, if the main task and the transfer task are somewhat similar, then common processes are likely to be needed to perform both tasks (Lobato, 2006). Thus, evaluating transfer of learning through the degree of similarity of tasks and contexts or similarity of processes are two different and compatible ways of approaching transfer which emphasize respectively the "where" and the "what". While the "where" question seems to have given rise to more research that the "what" one, these two theoretical frameworks for transfer have been mainly involved in studies of cognitive transfer. However, similar ideas have emerged in parallel to explain motor transfer.

Among transfers of learning, transfer of a motor skill is defined as the ability to apply a previously acquired motor skill to a novel task (Seidler & Noll, 2008), and as the fact that learning one motor skill influences learning another skill or a variation of it (Müssgens & Ullén, 2015). In addition, motor learning is considered in several stages, namely the motor acquisition process itself, the ability to maintain performance over time, i.e. retention, and the ability to transfer it to new task variants, i.e. transfer. Thus, motor learning is considered successful when it is transferred effectively to new untrained tasks (Schmidt et al., 2018; Shea & Morgan, 1979). Motor skills are learned over the long term across child development. Repetitions and - even slight - variations in the environment allow children to refine motor skills and make them even more precise and adapted. Some authors also mention tasks' similarity, with the idea that the more similar the tasks, the more likely the transfer (Schmidt, 1975). Furthermore, using TAP theory, Lee (1988) argued that motor transfer depends on the similarity of the cognitive processes involved in the tasks, rather than on the tasks' motor features per se. Finally, Braun and colleagues (Braun et al., 2010) proposed the concept of structural learning to describe how previous motor learning can benefit learning of a new motor skill. According to them, learning a new motor skill is faster if a previous motor skill learning required the same motor parameters. Thus, it seems that the parameters that should be considered when assessing transfer are 1) the degree of similarity of the tasks and contexts between what has been learned and the transfer task, and 2) the common processes between learning and outcome. This mimics the "where" and "what" theoretical approaches of cognitive transfer. Hence, motor transfer shares several theoretical elements with cognitive transfer, which implies that knowledge of transfer in the field of psychology and cognitive science seems to be fruitfully applicable to motor outcomes.

1.3. Transfer of learning in children with DCD

As transfer is considered a feature of successful motor learning (Muratori et al., 2013; Shea & Morgan, 1979), it seems relevant to

study not only motor learning but also transfer of learning in children with DCD. Understanding how such children can adapt learned motor skills to new situations raises the question of their ability to execute motor tasks. Studying transfer may thus help to better understand why the execution of motor skills is frequently impaired in these children.

A second reason to focus on transfer of learning in children with DCD is to enhance the quality of interventions aiming at improving their motor skills, at school and in the daily life. Motor interventions for such children follow either a process-oriented approach or a task-oriented approach. The process-oriented approach (Sugden, 2007) concerns interventions focusing on the rehabilitation of fundamental sensory-motor processes, assumed to underlie multiple motor performances (Missiuna et al., 1997). This approach is gradually being abandoned, as several meta-analyses showed inconclusive results regarding their efficiency (Lucas et al., 2016; Smits-Engelsman et al., 2018; Wilson et al., 2013). On the other hand, the task-oriented approach focuses on functional skills that need to be improved in a child (Schoemaker et al., 2003). For example, the Cognitive Orientation to Daily Occupation Performance (CO-OP) intervention has three objectives: skill acquisition, development of cognitive strategy use, transfer of learning (Blank et al., 2012). Children are led to discover cognitive problem-solving strategies, to successfully perform a motor activity (Polatajko & Mandich, 2004). In the Neuromotor Task Training (NTT) intervention, the task and its environmental context are modified to offer the child a varied training experience to promote transfer of learning (Schoemaker et al., 2003).

Process-oriented and task-oriented interventions differ in addressing transfer of learning. In the process-oriented approach, the trained fundamental skill is assumed to improve performance in a whole range of motor tasks. Consequently, the tasks used for training are likely to differ from the motor tasks encountered in daily life, which are expected to show improved performance following training. The differences between the trained task and the untrained tasks in daily life lie on the tasks, on their contexts of presentation, or both, which is typical of far transfer (Klahr & Chen, 2011). Far transfer is noteworthy difficult to observe (Sala & Gobet, 2017; Tricot & Sweller, 2014). Hence, this type of intervention is not likely to conduct to transfer of learning in children with DCD.

On the other hand, transfer of learning based on task-oriented interventions is expected in two ways. Firstly, by training a particular task with the purpose that the child succeeds in this task or close variations of it in his or her daily life, this kind of intervention addresses near transfer. Near transfer is more likely to occur (Luis-Ruiz et al., 2020), which may be one of the reasons why task-oriented approaches prove to be more effective. Secondly, in this type of intervention, and in particular in the CO-OP intervention, the objective is also for the child to learn several problem-solving strategies. Once mastered, those cognitive strategies can be transferred to new tasks and contexts. In this case, transfer is not based on the motor skill per se, but on the cognitive strategies allowing children to cope with new motor learning tasks.

In sum, a better understanding of transfer in children with DCD is required. To this end, it seems relevant to study how and to what extent such children can acquire motor skills and cognitive strategies and transfer them to new tasks or situations. The aim of this scoping review is to assess the body and nature of the existing literature on transfer of learning in children with DCD. We will consider the overall ability of children with DCD to transfer their skills, paying attention to motor transfer as well as transfer of cognitive skills. We will address the four following questions:

Research Question 1: What kind of publications can we consider as dealing with transfer of learning in children with DCD?
Research Question 2: Is transfer of learning theoretically, and explicitly, addressed in the literature on children with DCD, and if so, in what way?
Research Question 3: Which methodology to evaluate transfer and which transfer outcome are reported in DCD literature?
Research question 4: What are the key main findings reported in regards with transfer of learning in children with DCD?

2. Method

This scoping review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) criteria: Checklist and Explanation guidelines (Tricco et al., 2018).

2.1. Search strategy

English written peer-reviewed articles published from January 1973 until December 2023 have been extracted from the following databases: PubMed, PsychInfo, Scopus and Web of Science. Literature search in each database was made using the following terms in Title, Abstract and Keywords for every type of article (example of search terms for PubMed is describe in Supplementary Materials Appendix S1):

(DCD OR "developmental coordination disorder" OR "developmental dyspraxia" OR "motor coordination impairment" OR "clumsy child" OR clumsiness) AND (transfer OR "transfer of learning" OR training)

Multiple synonyms of DCD were used to adapt to the different terminology of DCD across time. Additionally, we added the term "training" in order to also review transfer of learning in training protocols. Since some experiments may assess learning some skills in a new and different task after initial training, this task can be regarded as a transfer task, even if it is not explicitly labeled as such in the article. Indeed, the literature on transfer defines it as either reusing the same knowledge in a new different but still similar task and/or context or, performing a new task by reusing the different but still similar processes as in a previous task. In both cases, transfer exists as far as tasks, contexts, and/or processes defining the transfer task, resemble the ones that were learned in the main task but are not strictly the same (e. similarity).

2.2. Inclusion criteria

Studies were included if the following criteria were met: (1) Population of children diagnosed with DCD, with or without comorbidities, as defined by international classifications diagnostic, i.e., (a) motor difficulties assessed using standardized tests; (b) these motor difficulties affect the child's daily life and school activities; (c) the symptoms date from the early developmental period; (d) the motor difficulties are not best explained by an intellectual disorder, a visual impairment or a neurological condition. (2) Protocols included an intervention test, or a test of training, or transfer of training, in a new task that was different from the one trained. (3) Without or with control groups. (4) Motor or cognitive performances were used as transfer outcomes. Transfer outcomes were considered when: (i) the authors specifically indicated that a particular outcome or measure was used to evaluate transfer, (ii) a particular outcome was different from the trained task, even if transfer was not labeled as such by the authors.

2.3. Screening and articles selection

Fig. 1 displays a flow chart of the publication's selection. Two thousand and forty-eight articles were retrieved from the databases and other sources. After removal of duplicates (remaining n = 1380) and initial screening based on titles and abstracts (remaining n = 266), preselection for relevance and population inclusion criteria were made (remaining n = 89). The articles were then divided

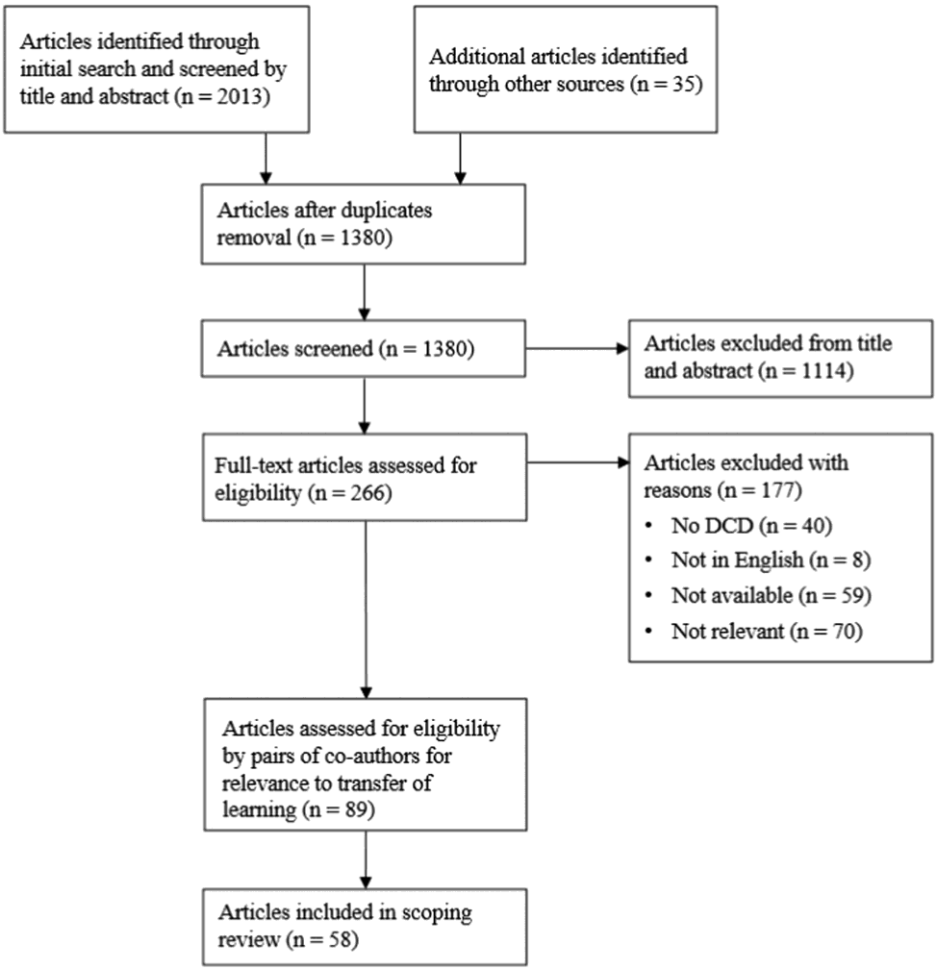


Fig. 1. PRISMA flow chart of the article selection. *Note*. DCD = Developmental Coordination Disorder.

between the co-authors, so that each article was read by 2 co-authors, for selection on the relevance of the protocol to transfer of learning. Cohen's kappa analyses were computed to assess inter-rater reliability between each pairs of co-author, the inclusion of articles assessing by LJ and WM lead to a strong agreement (k=.9), by LJ and MM lead to a strong agreement (k=1), by LJ and CJ lead to a fair agreement (k=.33), by LJ and JC lead to a substantial agreement (k=.63). If the co-authors disagreed with the inclusion of an article, a collective discussion among all co-authors allowed a decision to be made. After the whole selection process, 58 articles were included in this scoping review.

3. Results

Of the 58 publications selected, stand 50 experimental articles, 5 pilot studies, 1 proof-of-concept study and 2 case studies. All selected studies are described in supplementary material (Table S1).

3.1. Research Question 1: What kind of publications can we consider as dealing with transfer of learning in children with DCD?

3.1.1. Articles aiming at studying transfer explicitly

Among selected publications, 16 experimental studies and 2 case studies aimed at measuring or addressing the issue of transfer of learning in DCD explicitly. Fourteen studies dealt with transfer of learning in laboratory studies (Adi-japha & Brestel, 2020; Bartov et al., 2023; Bonney et al., 2017a, 2017b; Farhat et al., 2016; Grohs et al., 2020; Jarus et al., 2015; Lejeune et al., 2016; Jelsma et al., 2023a, 2023b; Koopmans et al., 2023; Smits-Engelsman et al., 2015, 2020, 2023). Four studies examined transfer of learning after a task-oriented intervention (Araújo et al., 2019; Capistran & Martini, 2016; Kluwe et al., 2012; Niemeijer et al., 2007). None of the selected studies aimed at evaluating transfer following a process-oriented intervention. As an example for a laboratory experiment, Adi-Japha and Brestel (2020) proposed a grapho-motor training task, involving copying a pseudo-letter with guiding dots, and a subsequent transfer task requiring the child to trace the letter again but without any guiding dots. In this study, the transfer task was considered by authors as a far transfer task since the removal of the guiding dots generates new spatial constraint. Another example lies in Bonney et al. (2017b) study, which evaluates the effectiveness of variable and repetitive training on Nintendo Wii Fit console games, on several transfer tasks.

There are various reasons given by the authors to justify transfer measurement in DCD. The most frequent reason is the need to ascertain that interventions enable transfer to non-trained activities. Another reason is that studying transfer of learning in children with DCD may allow to assess their abilities to use acquired knowledge "beyond initial learning" (Adi-Japha & Brestel, 2020), or to test the "effectiveness of learning" (Lejeune et al., 2016). The rationale behind this is that transfer is an essential element of learning. Authors from studies included in this scoping review therefore justify measure of transfer with the fact that, when assessing the learning abilities of children with DCD, it is necessary to measure the different phases of learning, namely acquisition, retention, and transfer (Adi-japha & Brestel, 2020, Jarus et al., 2015; Smits-Engelsman et al., 2020), as proposed by Shea and Morgan (1979). In the same way, transfer is also described as an explicit feature of successful motor learning (Grohs et al., 2020).

3.1.2. Articles that were not designed to assess transfer

One of the contributions of this scoping review is to bring to light the existing literature through the theoretical prism of transfer. Thus, 40 publications were considered as addressing transfer of learning, even if assessing transfer was not presented by the authors as a proper objective. It includes 34 experimental studies, 1 proof-of-concept study, 5 pilot studies. These publications were considered to address transfer of learning in DCD, because their common aim was to evaluate the effects of training one skill on the performance of that skill in a different, untrained task. This clearly falls under the current definitions of transfer, either in cognitive (Sala & Gobet, 2017) or in motor literature (Müssgens & Ullén, 2015; Seidler & Noll, 2008), and justifications for inclusion of each article are summarized in supplementary materials (Table S1). Indeed, in any pre-test/training/post-test design, as soon as training occurs in a different task than the one used at pre- and post-test, any improvement at post-test when compared to pre-test should be considered as transfer of training. Consequently, and of special interest for the present scoping review, even if the authors did not explicitly state that their study aimed to investigate the transfer of learning in children with DCD, the results showing effectiveness of training or intervention in a non-trained task are true instances of transfer of learning and must be considered as such.

Twenty-two studies were conducted on transfer of learning in laboratory studies (Fong et al., 2012, 2013, 2016a, 2016b, 2022; Ghadiri et al., 2022; Hammond et al., 2014; Hashemi et al., 2022; Hillier et al., 2010; Hung & Pang, 2010; Jahanbakhsh et al., 2020; Jelsma et al., 2014; Kordi et al., 2016; Kuijpers et al., 2022a, 2022b; Ma et al., 2018; Maharaj & Lallie, 2016; Smits-Engelsman et al., 2017, 2021; Tajari et al., 2023; Tsai et al., 2014; Wilson et al., 2016). Thirteen studies assessed at least one transfer task after a task-oriented intervention (Adams et al., 2017; Bonney et al., 2017; Caçola et al., 2016; Cavalcante Neto et al., 2020; Chan, 2007; Ferguson et al., 2013; Green et al., 2008; Izadi-Najafabadi et al., 2022; Rameckers et al., 2023; Schoemaker et al., 2003; Thornton et al., 2016; Tsai et al., 2012; Ward & Rodger, 2004). Four studies assessed at least one transfer task after a process-oriented intervention (Cheng et al., 2019; Polatajko et al., 1995; Tamplain et al., 2021; Wuang et al., 2022). Finally, one study compared transfer performance following a task-oriented intervention and a process-oriented intervention (Au et al., 2014). As an example, Ghadiri et al. (2022) measured performance on Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency Second Edition (*BOT-2*, Bruininks, 1978), before and after karate training. In this study, children with DCD showed improved performance on BOTMP-SF2 after karate training. This study can be considered as evaluating transfer because, it is expected that what is learned during karate training can be used to improve performance on other untrained tasks such as BOTMP-SF2 sub-tests.

In short, the literature on transfer of learning in DCD reveals two categories of publications: explicit transfer studies and no explicit

transfer studies. Each of these two categories can be divided into two types of study: laboratory studies and intervention studies. Nevertheless, whether in one category or the other, studies address transfer of learning within various theoretical frameworks.

3.2. Research Question 2: Is transfer of learning theoretically, and explicitly, addressed in the literature on children with DCD, and if so, in what way?

Among publications, 8 are directly using a theory of transfer. The most frequent concepts borrowed from transfer theory are those of near and far transfer, which are used to highlight the distance between the trained task and the untrained task. The theory of identical elements between tasks that enable transfer to occur is found in only 3 studies, and it is often associated with the very first authors who proposed this idea (i.e. Thorndike & Woodworth, 1901). Only Bonney et al. (2017b) refer to both identical elements theory (Thorndike & Woodworth, 1901) and transfer of appropriate processing theory (Franks et al., 2000). In the same way, the study from Bonney et al. (2017a) is the only study referring to structural learning (Braun et al., 2010). Finally, in their case study, Capistran and Martini (2016) also refer to the common elements shared by the main and transfer tasks to explain the occurrence of transfer. However, in this case study, "common elements" between the two tasks do not refer to task and context as defined by Klahr and Chen (2011), but are identified as movement elements, perceptual elements and conceptual or strategic elements (Schmidt & Wrisberg, 2004). Among these 8 publications, theoretical choices are provided to justify the measurement of transfer but it does not seem to lead to specific decisions on the choice of transfer task. However, Bonney et al. (2017a), (2017b) used knowledge of motor transfer to examine the effects of repeated and variable learning on transfer, employing the transfer theoretical framework to evaluate different types of training aimed at promoting transfer.

In brief, these 8 studies, which explicitly use the transfer theoretical framework, are based on different transfer theories but they do not always lead to specific choices for the transfer task. Thus, the different articles propose various transfer tasks.

3.3. Research Question 3: Which methodology and which transfer outcome are reported in DCD literature?

Isomorphic task paradigm was observed in only 2 experimental studies (Adi-Japha & Brestel, 2020; Koopmans et al., 2023) and one case study (Capistran & Martini, 2016). In this type of paradigm, the outcome is measured once, after the intervention. However, the most frequently used protocol type follows a pretest / intervention / post-test design (55 studies). This type of protocol enables authors to compare pretest task scores measured before intervention, with post-test scores obtained on the same task after intervention, thereby testing the effect of intervention on the chosen measure. According to its definition, transfer occurs when a knowledge acquired in a previous task is applied to another task or situation (Cox, 1997; Helsdingen et al., 2011). In the 55 mentioned studies, the aim is to show that intervention or training changes the performance in the task used in pre- and post-test, which itself is different from the one used for intervention or training, and can therefore be considered a transfer task at the post-test.

The selected studies evaluate various types of transfer. They may focus on different aspects, such as measuring the transfer of training to a different task outcome, to a new context, over different time intervals (follow-up tasks), or across different effectors. Most reported studies focus on gross motor skills and balance. Some studies focus on graphomotricity and fine motor skills, and few studies focus on executive function (i.e., attention and inhibitory control), and on problem-solving strategies in CO-OP or NTT interventions and their transfer to other tasks. On the other hand, outcome are mainly standardized tests of gross motor skills, fine motor skills and balance (for example, the Movement Assessment Battery for Children 2nd edition (*MABC-2*, Henderson et al., 2007) or the Bruininks Oseretsky Test of Motor Profiency, second edition (BOT-2, Bruininks, 1978). Complete tests or only items of interest were administered depending on the study. Furthermore, the effects of training were analyzed on the overall test scores or on different test dimensions independently. For example, Rameckers et al. (2023) investigated the effect of the NTT intervention on the different dimensions of the MABC-2 independently. Last, in the reported studies, outcomes also consist in one or several variants of the trained task.

In sum, the studies included in this scoping review mainly use the pretest/intervention/post-test design. Studies assess different types of transfer, focusing mainly on balance, graphomotricity, fine motor skills, executive function, and on problem-solving strategies in CO-OP or NTT interventions.

3.4. Research question 4: What are the key main findings reported in regards with transfer of learning in children with DCD?

3.4.1. Failed transfer

The selected studies report 17 instances of failed transfer in children with DCD. The authors explain these results for various reasons. It appears that transfer is more challenging for children with DCD when the trained tasks and the transfer outcomes are too distant, i.e., when a high degree of dissimilarity between tasks exist, introducing a disadvantage for these children when compared to a group of typically developing children (Adi-Japha & Brestel, 2020; Thornton et al., 2016). Failed transfer also arises when the environment presented during training and during the transfer outcome is highly dissimilar, i.e., contextual dissimilarity (Smits-Engelsman et al., 2020); when transfer outcome is assessed on a follow-up measurement, i.e. when the transfer task is measured after a longer time interval (Cheng et al., 2019). This is in line with the cognitive model of transfer by Klahr and Chen (2011) and the taxonomy by Barnett and Ceci (2002).

Transfer is also failed in children with DCD when the processes underlying the transfer outcome were not trained during the training phase, i.e., in the absence of common processes between the trained tasks and the transfer outcome (Au et al., 2014; Fong et al., 2022; Kordi et al., 2016; Tamplain et al., 2021; Ward & Rodger, 2004). Other researchers attribute these results to the high cognitive demand required for the transfer outcome (Ferguson et al., 2013; Kuijpers et al., 2022a), which hinders successful transfer in

these children, a factor also proposed to explain partially failed transfer in typically developing children (Clerc et al., 2014). Additionally, a deficit in implicit learning capacity may also hinder transfer, meaning that what was supposed to be transferred was not learned (Jarus et al., 2015). Moreover, the CO-OP intervention may facilitate the explicit learning of problem-solving strategies, but without leading to improved motor performance in standardized transfer tests (Chan, 2007). Finally, the failure of transfer can be difficult to explain (Fong et al., 2022; Polatajko et al., 1995; Rameckers et al., 2023) or can be explained by methodological limitations (Fong et al., 2013; Ma et al., 2018).

3.4.2. Successful transfer

The selected studies report 53 effects of successful transfer in children with DCD. Transfer seems successful when the trained tasks are similar to the transfer outcomes (Au et al., 2014; Bartov et al., 2023; Bonney et al., 2017; Cavalcante Neto et al., 2020; Ferguson et al., 2013; Fong et al., 2012; Hammond et al., 2014; Hung & Pang, 2010; Jelsma et al., 2014; Kluwe et al., 2012; Niemeijer et al., 2007; Smits-Engelsman et al., 2020; Wilson et al., 2016), even if the child has to use a different effector (Grohs et al., 2020). Transfer is also successful when authors propose a re-evaluation of the more distant transfer task in time interval (Fong et al., 2016b; Izadi-Najafabadi et al., 2022; Jahanbakhsh et al., 2020). This may be moderated when children have comorbidities, particularly attention deficit hyperactivity disorder (ADHD; Izadi-Najafabadi et al., 2022). Transfer is also successful when the trained tasks require specific skills that are also necessary for the transfer outcomes (Bonney et al., 2017a, 2017b; Fong et al., 2013, 2016a; Hillier et al., 2010; Jelsma et al., 2023a, 2023b; Maharaj and Lallie, 2016; Smits-Engelsman et al., 2015; 2017; 2020, 2021; 2023; Tajari et al., 2023; Tamplain et al., 2021; Tsai et al., 2014). The transfer of problem-solving strategies learnt allows transfer to tasks that are more dissimilar from the trained ones (Araújo et al., 2019; Capistran & Martini, 2016; Chan, 2007; Farhat et al., 2016; Ferguson et al., 2013; Green et al., 2008; Koopmans et al., 2023; Rameckers et al., 2023; Thornton et al., 2016). The learning phase enables the child to release resources and thus succeed in the transfer outcome (Kuijpers et al., 2022b; Lejeune et al., 2016). Training led to neural changes that improve performance in transfer tasks (Ghadiri et al., 2022; Hashemi et al., 2022; Kordi et al., 2016; Schoemaker et al., 2003; Tsai et al., 2012; Wuang et al., 2022). Finally, some authors have difficulties or do not explain certain results (Adams et al., 2017; Caçola et al., 2016; Cheng et al., 2019).

4. Discussion

The aim of this scoping review was to describe the way transfer of learning is investigated in DCD literature. The literature search in 4 databases led to a selection of 50 experimental studies, 5 pilot studies, 2 case studies, 1 proof-of-concept study, leading to a selection of 58 publications. Among these publications, only 18 publications aimed to directly investigate transfer of learning in children with DCD. However, many studies included in this scoping review measured transfer indirectly, by assessing the effectiveness of interventions or training, on new untrained tasks. The fact that several studies refer to transfer to explain performance shows that studies that are presented as testing the effect of intervention or training on a new, untrained task, do actually come under the heading of testing transfer of learning. The aim of this scoping review was to highlight studies of transfer of learning in children with DCD. It seems that two important areas of transfer in these children have emerged from the literature, transfer of motor learning and transfer of cognitive strategies.

4.1. Transfer of motor learning

The emergence of transfer in children with DCD depends on the content of training and the type of transfer outcome proposed. It appears that transfer of learning is successful in children with DCD when the transfer tasks and their context remain close to the trained tasks, and when the processes evaluated during the transfer outcome are similar to those present during training. When trained and untrained tasks are more distant, transfer seems more difficult for these children. The fact that transfer appeared more regularly when the transfer tasks remained close (on the task itself, on the context and on the processes involved, i.e. near transfer) confirms that, in order to observe improvements in motor tasks, training must be specific. Neuroimaging studies in typically developing participant also show results in this direction, with functional and structural changes limited to the brain circuits solicited during training (Adkins et al., 2006; Draganski et al., 2004; Kami et al., 1995).

Regarding studies explicitly focusing on transfer of learning, the rationale for motor transfer failure in children with DCD is based on the hypothesis of internal models' deficit, according to which children with DCD have difficulty generating and using adequate internal models of motor planning (Adams et al., 2014). Thus, according to several authors, since the motor representation of the action is not adequate, the deficit in internal models would also impact motor skill transfer to new situations (Bonney et al., 2017; Smits-Engelsman et al., 2020). Because, in a changing environment, each situation can vary in task and/or context from the initial learning situation, this hypothesis may explain why so many difficulties in the execution of motor activities are observed in children with DCD.

4.2. Transfer of cognitive strategies

Transfer appears on a continuum ranging from near transfer to far transfer. Far transfer is known to be difficult to achieve by typically developing children (Sala & Gobet, 2017), and it seems even more difficult to observe in children with DCD. However, this stands mainly for transfer of motor learning, as transfer of cognitive strategies applied to motor tasks allows a more distant transfer than motor transfer in these children, as demonstrated by task-specific interventions studies. Hence, this scoping review also shows

that some authors are interested, not only in the transfer of a particular motor skill, but also in the transfer of the strategy that enabled the motor skill to be learned. Indeed, the aim of task-specific interventions is to train children to use general problem-solving strategies to perform a motor task. Thus, what can be expected to transfer following task-based interventions are verbal strategies applied to motor tasks, as opposed to process-based interventions for which far motor transfer to other motor tasks is expected. Since children with DCD may have marked difficulties transferring motor skills as predicted by the internal model deficit hypothesis, focusing on the transfer of verbal strategies seems more conducive regarding the effectiveness of interventions.

Cognitive strategies are controlled, goal-directed procedures, that require good self-regulation and metacognitive skills (Clerc et al., 2014). As argued by Blank et al. (2012), task-oriented interventions require children to monitor one's performance and self-evaluate the outcome. However, only few studies addressed children with DCD's strategy learning and transfer, and their ability to regulate their learning (Sangster Jokić & Whitebread, 2011). In addition, Wilson et al. (2013) in their meta-analysis, reported a metacognitive deficit in children with DCD, although it is not yet known whether this difficulty is specific to motor skills, or whether it can be observed in other areas of cognition like learning and transferring cognitive strategies.

Laboratory studies and interventional studies were included in this scoping review. The two types of studies have distinct objectives and characteristics that can influence the outcomes related to transfer of learning. First of all, the aim of laboratory studies is to describe and explore transfer of learning, and the processes that support it. To this end, controlled experimental environments are used to determine the conditions under which transfer occurs. In this case, the aim is to assess individual's ability to transfer learning, considering transfer as a cognitive process. In contrast, interventional studies aim to assess the effectiveness of training in applying skills to new tasks or situations, often in real-life contexts for greater ecological validity. These studies generally focus on the impact of the intervention on individuals with motor or cognitive impairments. Here, transfer is used as a mean to assess the benefits of the intervention, serving as an efficacy outcome rather than the central object of the research.

Furthermore, interventional studies, while being more ecological and better suited to real-world contexts, often suffer from significant variability in protocols and tasks used, both across participants and between studies. In contrast, laboratory studies, conducted in controlled environments, provide standardized tasks and protocols, which not only facilitate the interpretation of results but also enhance the understanding of the underlying mechanisms of transfer. These methodological differences also affect the purpose of the two approaches: while laboratory studies prioritize precision and experimental rigor, intervention studies aim to assess the effectiveness of interventions in more complex and realistic contexts. However, these divergences raise important questions regarding the generalizability of transfer outcomes.

4.3. Recommendations for future research

In future research, systematically measuring transfer after training or intervention will help clarify the results described in this scoping review and confirm or refine the factors that promote transfer in children with DCD. By systematically varying the degree of tasks' similarity, the context in which tasks are presented, the time interval between tasks, and the underlying processes of the tasks, future research will allow for a comprehensive evaluation of transfer skills in children with DCD based on the type of skills being trained. To achieve this, utilizing different theoretical frameworks of transfer will help in selecting appropriate transfer tasks and making precise predictions about whether transfer will occur. This will improve our understanding of the learning processes, including transfer, in these children and enable the development of more effective interventions.

Moreover, children with DCD who demonstrate strong verbal abilities seem capable of transferring problem-solving strategies to motor tasks (Houldin et al., 2018). This is a notable strength in children with DCD, which can be leveraged to develop interventions, as seen with the efficacy of the CO-OP and NTT approaches. Therefore, gaining a better understanding of their ability to learn cognitive strategies by investigating aspects of self-regulated learning and metacognition, which are essential for strategy learning and transfer, should help enhance the quality of intervention programs. Additionally, strategy transfer appears to facilitate the transfer to more distant tasks, so evaluating transfer across different transfer task types, while varying the degree of similarity between the training and transfer outcomes, will provide a more detailed understanding of the scope of strategy transfer in these children.

Furthermore, this scoping review did not include studies involving groups labeled as children with DCD if there was no mention of inclusion criteria based on international classifications. The lack of a clear diagnosis or classification criteria for DCD in some studies likely led to an underestimation of the total number of studies that could have been included in this review. Additionally, considering the comorbidities of children with DCD included in the studies may influence one's interpretation of transfer effects, according to the complexity of some children's comorbidity profiles.

Finally, many studies provide only limited information about the tasks performed during training or intervention. Without precise information on the content of the tasks used in training, it is difficult to interpret outcome scores and, consequently, understand transfer outcomes. Moreover, greater methodological transparency regarding the activities proposed during interventions would make the studies more replicable and provide professionals working with children with DCD with more precise information for implementing these interventions.

One of the main objectives of a scoping review is to determine whether it is possible to carry out a systematic review (Munn et al., 2018). In this case, it appears that a systematic review is indeed possible and even desirable. Assessing publication bias and the quality of studies in a systematic review would refine the results presented in this scoping review.

4.4. Limitations

This scoping review has several limitations. Firstly, the screening of titles, abstracts, and relevance to the population was conducted

solely by the first author. Although the inclusion criteria were collectively decided, this may introduce some bias in the selection of studies. Additionally, the choice of keywords may have influenced the selection of articles, potentially excluding publications focusing on other types of tasks. The keyword "training" was added to include studies on transfer effects following training, but this may have overlooked some of the literature on interventions for children with DCD. Future reviews may specifically address the question of transfer in interventions by revisiting this literature with a focus on transfer effects. Finally, this scoping review concentrates on the transfer of training to motor or cognitive tasks performances, excluding possible transfer effects on other components such as improvements in quality of life, participation levels, which are often measured through questionnaires after interventions. These potential transfer effects could also be explored in future reviews.

5. Conclusion

Transfer of learning is important to address in children with DCD, both to better understand their ability to learn and transfer one's learning, and to propose interventions that will be effective in children's daily lives. 58 studies were selected, among which only 18 studies aim to assess transfer explicitly. Children with DCD seem able to transfer motor and cognitive skills when transfer tasks are close from training on the task itself and the context of presentation of the task. This confirms the need for task-specific intervention to increase motor performance. Last, because 40 studies did measure transfer without identifying transfer explicitly, the literature on DCD would benefit from being nourished by transfer theory, to better establish the nature of learning to be transferred and to make better predictions about transfer in children with DCD.

CRediT authorship contribution statement

Laureen Josseron: Writing – review & editing, Writing – original draft, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization. **Wilfried Thierry Mombo:** Writing – review & editing, Formal analysis. **Mélanie Maggiacomo:** Writing – review & editing, Formal analysis. **Carolin Jolly:** Writing – review & editing, Validation, Formal analysis. **Jérôme Clerc:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Funding acquisition, Formal analysis.

Acknowledgements

This research was permitted by a fund attributed by the Fondation d'entreprise OCIRP (Paris, France).

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at doi:10.1016/j.ridd.2024.104908.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

References

Adams, I. L. J., Smits-Engelsman, B., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2017). Feasibility of motor imagery training for children with developmental coordination disorder – a pilot study. *Frontiers in Psychology, 8*, 1271. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01271

Adams, I. L., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2014). Compromised motor control in children with DCD: A deficit in the internal model? A systematic review. *Neuroscience Biobehavioral Reviews, 47*, 225–244. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.08.011

Adi-Japha, E., & Brestel, G. (2020). Motor skill learning with impaired transfer by children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 103*, Article 103671. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103671

Adkins, D. L., Boychuk, J., Remple, M. S., & Kleim, J. A. (2006). Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. *Journal of Applied Physiology, 101*(6), 1776–1782. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00515.2006

APA. (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.

Araújo, C. R. S., Cardoso, A. A., & Magalhães, L. D. C. (2019). Efficacy of the cognitive orientation to daily occupational performance with Brazilian children with Developmental Coordination Disorder. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy, 26*(1), 46–54. https://doi.org/10.1080/11038128.2017.1417476

Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology, 8*(1), 19–32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616

Au, M. K., Chan, W. M., Lee, L., Chen, T. M., Chau, R. M., & Pang, M. Y. (2014). Core stability exercise is as effective as task-oriented motor training in improving motor proficiency in children with developmental coordination disorder: A randomized controlled pilot study. *Clinical Rehabilitation, 28*(10), 992–1003. https://doi.org/10.1177/0269215514527596

Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin, 128*(4), 612. https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.4.612

Bartov, R., Wagner, M., Shvalb, N., & Hochhauser, M. (2023). Enhancing handwriting performance of children with developmental coordination disorder (DCD) using computerized visual feedback. *Children, 10*(9), 1534. https://doi.org/10.3390/children10091534

Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Wilson, P. (2012). European Academy for Childhood Disability (EACD): recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Developemental Medicine Child Neurology, 54*(1), 54–93. https://doi.org/10.1111/j.14698749.2011.04171.x. PMID: 22171930.

Bo, J., & Lee, C. M. (2013). Motor skill learning in children with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 34*(6), 2047–2055. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.03.012
Bonney, E., Ferguson, G., & Smits-Engelsman, B. (2017). The efficacy of two activity-based interventions in adolescents with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 71*, 223–236. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.013
Bonney, E., Jelsma, D., Ferguson, G., & Smits-Engelsman, B. (2017a). Variable training does not lead to better motor learning compared to repetitive training in children with and without DCD when exposed to active video games. *Research in Developmental Disabilities, 62*, 124–136. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.01.013
Bonney, E., Jelsma, L. D., Ferguson, G. D., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2017b). Learning better by repetition or variation? Is transfer at odds with task specific training? *PLOS ONE, 12*(3), Article e0174214. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174214
Braun, D. A., Mehring, C., & Wolpert, D. M. (2010). Structure learning in action. *Behavioural Brain Research, 206*(2), 157–165. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.08.031
Brown, A. L., Kane, M. J., & Echols, C. H. (1986). Young children's mental models determine analogical transfer across problems with a common goal structure. *Cognitive Development, 1*(2), 103–121. https://doi.org/10.1016/S0885-2014(86)80014-4
Bruininks, R. (1978). *Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency*. American Guidance Service.
Caçola, P., Romero, M., Ibana, M., & Chuang, J. (2016). Effects of two distinct group motor skill interventions in psychological and motor skills of children with Developmental Coordination Disorder: A pilot study. *Disability and Health Journal, 9*(1), 172–178. https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2015.07.007
Cairney, J., Hay, J. A., Faught, B. E., & Hawes, R. (2005). Developmental Coordination Disorder and overweight and obesity in children aged 9–14 y. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders, 29*(4), 369–372. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802893
Capistran, J., & Martini, R. (2016). Exploring inter-task transfer following a CO-OP approach with four children with DCD: A single subject multiple baseline design. *Human Movement Science, 49*, 277–290. https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.07.004
Cavalcante Neto, J. L., Steenbergen, B., Wilson, P., Zamunér, A. R., & Tudella, E. (2020). Is Wii-based motor training better than task-specific matched training for children with Developmental Coordination Disorder? A randomized controlled trial. *Disability and Rehabilitation, 42*(18), 2611–2620. https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1572794
Chan, D. Y. K. (2007). The application of Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance (CO-OP) in children with Developmental Coordination Disorder (DCD) in Hong Kong: A Pilot Study. *Hong Kong Journal of Occupational Therapy, 17*(2), 39–44. https://doi.org/10.1016/S1569-1861(08)70002-0
Cheng, Y. T. Y., Wong, T. K. S., Tsang, W. W. N., Schooling, C. M., Fong, S. S. M., Fong, D. Y. T., Gao, Y., & Chung, J. W. Y. (2019). Neuromuscular training for children with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled trial. *Medicine, 98*(45), Article e17946. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000017946
Chi, M. T. H., & VanLehn, K. A. (2012). Seeing deep structure from the interactions of surface features. *Educational Psychologist, 47*(3), 177–188. https://doi.org/10.1080/00461520.2012.695709
Clerc, J., Miller, P. H., & Cosnefroy, L. (2014). Young children's transfer of strategies: Utilization deficiencies, executive function, and metacognition. *Developmental Review, 34*(4), 378–393. https://doi.org/10.1016/j.dr.2014.10.002
Cox, B. D. (1997). The rediscovery of the active learner in adaptive contexts: A developmental-historical analysis of transfer of training. *Educational Psychologist, 32*(1), 41–55. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3201_4
Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature, 427*(6972), 311–312. https://doi.org/10.1038/427311a
Farhat, F., Hsairi, I., Baati, H., Smits-Engelsman, B. C. M., Masmoudi, K., Mchirgui, R., Triki, C., & Moalla, W. (2016). The effect of a motor skills training program in the improvement of practiced and non-practiced tasks performance in children with Developmental Coordination Disorder (DCD). *Human Movement Science, 46*, 10–22. https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.12.001
Ferguson, G. D., Jelsma, D., Jelsma, J., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2013). The efficacy of two task-orientated interventions for children with Developmental Coordination Disorder: Neuromotor Task Training and Nintendo Wii Fit training. *Research in Developmental Disabilities, 34*(9), 2449–2461. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.05.007
Fong, S. S. M., Chung, J. W. Y., Chow, L. P. Y., Ma, A. W. W., & Tsang, W. W. N. (2013). Differential effect of Taekwondo training on knee muscle strength and reactive and static balance control in children with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled trial. *Research in Developmental Disabilities, 34*(5), 1446–1455. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.01.025
Fong, S. S. M., Chung, L. M. Y., Schooling, C. M., Lau, E. H. Y., Wong, J. Y. H., Bae, Y.-H., & Chung, J. W. Y. (2022). Tai chi-muscle power training for children with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled trial. *Scientific Reports, 12*(1), Article 22078. https://doi.org/10.1038/s41598-022-25822-x
Fong, S. S. M., Guo, X., Cheng, Y. T. Y., Liu, K. P. Y., Tsang, W. W. N., Yam, T. T. T., Chung, L. M. Y., & Macfarlane, D. J. (2016b). A novel balance training program for children with Developmental Coordination Disorder: A Randomized Controlled Trial. *Medicine, 95*(16), Article e3492. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003492
Fong, S. S. M., Guo, X., Liu, K. P. Y., Ki, W. Y., Louie, L. H. T., Chung, R. C. K., & Macfarlane, D. J. (2016a). Task-Specific balance training improves the sensory organisation of balance control in children with Developmental Coordination Disorder: A Randomised Controlled Trial. *Scientific Reports, 6*(1), Article 20945. https://doi.org/10.1038/srep20945
Fong, S. S. M., Tsang, W. W. N., & Ng, G. Y. F. (2012). Taekwondo training improves sensory organization and balance control in children with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled trial. *Research in Developmental Disabilities, 33*(1), 85–95. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.08.023
Franks, J. J., Bilbrey, C. W., Lien, K. G., & McNamara, T. P. (2000). Transfer-appropriate processing (TAP). *Memory Cognition, 28*, 1140–1151. https://doi.org/10.3758/BF03211815
Ghadiri, F., O'Brien, W., Soltani, S., Faraji, M., & Bahmani, M. (2022). The effect of karate interventions on the motor proficiency of female adolescents with Developmental Coordination Disorder (DCD) from high and low socio-economic status. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 14*(1), 121. https://doi.org/10.1186/s13102-022-00501-6
Gheysen, F., Van Waelvelde, H., & Fias, W. (2011). Impaired visuo-motor sequence learning in Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 32*(2), 749–756. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.11.005
Gomez, A., & Sirigu, A. (2015). Developmental Coordination Disorder: Core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia, 79*, 272–287. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.09.032
Green, D., Chambers, M. E., & Sugden, D. A. (2008). Does subtype of developmental coordination disorder count: Is there a differential effect on outcome following intervention? *Human Movement Science, 27*, 363–382. https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.009
Grohs, M. N., Craig, B. T., Kirton, A., & Dewey, D. (2020). Effects of transcranial direct current stimulation on motor function in children 8–12 years with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled trial. *Frontiers in Human Neuroscience, 14*, Article 608131. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.608131
Hammond, J., Jones, V., Hill, E. L., Green, D., & Male, I. (2014). An investigation of the impact of regular use of the Wii Fit to improve motor and psychosocial outcomes in children with movement difficulties: A pilot study. *Child: Care, Health and Development, 40*(2), 165–175. https://doi.org/10.1111/cch.12029
Hashemi, A., Khodaverdi, Z., & Zamani, M. H. (2022). Effect of Wii Fit training on visual perception and executive function in boys with Developmental Coordination Disorders: A randomized controlled trial. *Research in Developmental Disabilities, 124*, Article 104196. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104196
Hattie, J. A. C., & Donoghue, G. M. (2016). Learning strategies: A synthesis and conceptual model. *Nature Partner Journal Science of Learning, 1*, Article 16013. https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.13
Helsdingen, A., van Gog, T., & van Merriënboer, J. (2011). The effects of practice schedule and critical thinking prompts on learning and transfer of a complex judgment task. *Journal of Educational Psychology, 103*(2), 383–398. https://doi.org/10.1037/a0022370
Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. L. (2007). *Movement assessment battery for children* (2nd ed). London, UK: The Psychological Corporation.
Hillier, S., McIntyre, A., & Plummer, L. (2010). Aquatic physical therapy for children with developmental coordination disorder: a pilot randomized controlled trial. *Physical Occupational Therapy in Pediatrics, 30*(2), 111–124. https://doi.org/10.3109/01942630903543575

Houldin, A., McEwen, S. E., Howell, M. W., & Polatajko, H. J. (2018). The Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance approach and transfer: A Scoping Review. *OTJR: Occupation, Participation and Health, 38*(3), 157–172. https://doi.org/10.1177/1539449217736059
Hung, W., & Pang, M. (2010). Effects of group-based versus individual-based exercise training on motor performance in children with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled study. *Journal of Rehabilitation Medicine, 42*(2), 122–128. https://doi.org/10.2340/16501977-0496
Izadi-Najafabadi, S., Gunton, C., Dureno, Z., & Zwicker, J. G. (2022). Effectiveness of Cognitive Orientation to Occupational Performance intervention in improving motor skills of children with Developmental Coordination Disorder: A randomized waitlist-control trial. *Clinical Rehabilitation, 36*(6), 776–788. https://doi.org/10.1177/02692155221086188
Jahanbakhsh, H., Sohrabi, M., Saberi Kakhki, A., & Khodashenas, E. (2020). The effect of task-specific balance training program in dual-task and single-task conditions on balance performance in children with Developmental Coordination Disorder. *Acta Gymnica, 50*(1), 28–37. https://doi.org/10.5507/ag.2020.003
Jarus, T., Ghanouni, P., Abel, R. L., Fomenoff, S. L., Lundberg, J., Davidson, S., Caswell, S., Bickerton, L., & Zwicker, J. G. (2015). Effect of internal versus external focus of attention on implicit motor learning in children with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 37*, 119–126. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.11.009
Jelsma, D., Geuze, R. H., Mombarg, R., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2014). The impact of Wii Fit intervention on dynamic balance control in children with probable Developmental Coordination Disorder and balance problems. *Human Movement Science, 33*, 404–418. https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.007
Jelsma, D., Targino Gomes Draghi, T., Cavalcante Neto, J., & Smits-Engelsman, B. (2023a). Improved attentional abilities after playing five weeks of active video games in children with and without developmental coordination disorder. *Applied Neuropsychology: Child*, 1–9. https://doi.org/10.1080/21622965.2023.2190024
Jelsma, L. D., Cavalcante Neto, J. L., Smits-Engelsman, B., Targino Gomes Draghi, T., Araújo Rohr, L., & Tudella, E. (2023b). Type of active video-games training does not impact the effect on balance and agility in children with and without Developmental Coordination Disorder: A randomized comparator-controlled trial. *Applied Neuropsychology: Child, 12*(1), 64–73. https://doi.org/10.1080/21622965.2022.2030740
Kadesjo, B., & Gillberg, C. (1999). Developmental coordination disorder in Swedish 7-year-old children. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 38*, 820–828. https://doi.org/10.1097/00004583-199907000-00011
Kagerer, F. A., Bo, J., Contreras-Vidal, J. L., & Clark, J. E. (2004). Visuomotor adaptation in children with Developmental Coordination Disorder. *Motor Control, 8*(4), 450–460. https://doi.org/10.1123/mcj.8.4.450
Kami, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature, 377*(6545), 155–158. https://doi.org/10.1038/377155a0
Klahr, D., & Chen, Z. (2011). Finding one's place in transfer space. *Child Development Perspectives, 5*(3), 196–204. https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00171.x
Kluwe, M., Miyahara, M., & Heveldt, K. (2012). A case study to evaluate balance training with movement test items and through teaching observation: Beyond specificity and transfer of learning. *Physical Education Sport Pedagogy, 17*(5), 463–475. https://doi.org/10.1080/17408989.2011.594428
Koopmans, D. C., Krajenbrink, H., Lust, J. M., & Steenbergen, B. (2023). End-state comfort planning after explicit goal instructions in children with and without probable Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science, 88*, Article 103066. https://doi.org/10.1016/j.humov.2023.103066
Kordi, H., Sohrabi, M., Saberi Kakhki, A., & Attarzadeh Hossini, S. R. (2016). The effect of strength training based on process approach intervention on balance of children with Developmental Coordination Disorder, 2016 *Archivos Argentinos Dèlelőtt Pediatria, 114*(6). https://doi.org/10.5546/aap.2016.eng.526.
Kuijpers, R., Smulders, E., Groen, B. E., Smits-Engelsman, B. C. M., Nijhuis-van Der Sanden, M. W. G., & Weerdesteyn, V. (2022a). The effects of a visuo-motor and cognitive dual task on walking adaptability in children with and without Developmental Coordination Disorder. *Gait Posture, 95*, 183–185. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.04.019
Kuijpers, R., Smulders, E., Groen, B. E., Smits-Engelsman, B. C. M., Nijhuis-van Der Sanden, M. W. G., & Weerdesteyn, V. (2022b). Walking adaptability improves after treadmill training in children with Developmental Coordination Disorder: A proof-of-concept study. *Gait Posture, 92*, 258–263. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.038
Lee, T. D. (1988). Transfer-appropriate processing: A framework for conceptualizing practice effects in motor learning. *Advances in Psychology, 50*, 201–215. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62557-1
Lejeune, C., Catale, C., Willems, S., & Meulemans, T. (2013). Intact procedural motor sequence learning in Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 34*(6), 1974–1981. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.03.017
Lejeune, C., Wansard, M., Geurten, M., & Meulemans, T. (2016). Procedural learning, consolidation, and transfer of a new skill in Developmental Coordination Disorder. *Child Neuropsychology, 22*(2), 143–154. https://doi.org/10.1080/09297049.2014.988608
Lobato, J. (2006). Alternative perspectives on the transfer of learning: History, issues, and challenges for future research. *The Journal of the Learning Sciences, 15*(4), 431–449. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1504_1
Lucas, B. R., Elliott, E. J., Coggan, S., Pinto, R. Z., Jirikowic, T., McCoy, S. W., & Latimer, J. (2016). Interventions to improve gross motor performance in children with neurodevelopmental disorders: A meta-analysis. *BMC Pediatrics, 16*(1). https://doi.org/10.1186/s12887-016-0731-6
Luis-Ruiz, S., Caldu, X., Sanchez-Castaneda, C., Pueyo, R., Garolera, M., & Jurado, M.Á. (2020). Is cognitive training an effective tool for improving cognitive function and real-life behaviour in healthy children and adolescents? A systematic review. *Neuroscience Biobehavioral Reviews, 116*, 268–282. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.06.019
Ma, A. W. W., Fong, S. S. M., Guo, X., Liu, K. P. Y., Fong, D. Y. T., Bae, Y.-H., Yuen, L., Cheng, Y. T. Y., & Tsang, W. W. N. (2018). Adapted Taekwondo training for prepubertal children with Developmental Coordination Disorder: A Randomized, Controlled Trial. *Scientific Reports, 8*(1), Article 10330. https://doi.org/10.1038/s41598-018-28738-7
Maharaj, S. S., & Lallie, R. (2016). Does a physiotherapy program of gross motor training influence motor function and activities of daily living in children presenting with Developmental Coordination Disorder? *South African Journal of Physiotherapy, 72*(1). https://doi.org/10.4102/sajp.v72i1.304
Missiuna, C., Malloy-Miller, T., & Mandich, A. (1997). Cognitive, or" Top-Down", Approaches to Intervention. *School of Rehabilitation Science, and Neurodevelopmental Clinical Research Unit in Ontario USA*.
Munn, Z., Peters, M. D., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology, 18*, 1–7. https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x
Muratori, L. M., Lamberg, E. M., Quinn, L., & Duff, S. V. (2013). Applying principles of motor learning and control to upper extremity rehabilitation. *Journal of Hand Therapy, 26*, 94–103. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.06.008
Müssgens, D. M., & Ullén, F. (2015). Transfer in motor sequence learning: Effects of practice schedule and sequence context. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 642. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00642
Niemeijer, A. S., Smits-Engelsman, B. C. M., & Schoemaker, M. M. (2007). Neuromotor task training for children with Developmental Coordination Disorder: A controlled trial. *Developmental Medicine Child Neurology, 49*(6), 406–411. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00406.x
Nokes, T. J. (2009). Mechanisms of knowledge transfer. *Thinking reasoning, 15*(1), 1–36. https://doi.org/10.1080/13546780802490186
Polatajko, H. J., Macnab, J. J., Anstett, B., Malloy-Miller, T., Murphy, K., & Noh, S. (1995). A clinical trial of the process-oriented treatment approach for children with developmental co-ordination disorder. *Developmental Medicine Child Neurology, 37*(4), 310–319. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1995.tb12009.x
Polatajko, H. J., & Mandich, A. D. (2004). *Enabling Occupation in Children. The Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance (CO-OP) Approach*. Ottawa, ON, USA: CAOT Publications ACE.
Rameckers, E. A. A., Crafford, R., Ferguson, G., & Smits Engelsman, B. C. M. (2023). Efficacy of a Task-Oriented Intervention for children with a dual diagnosis of specific learning disabilities and Developmental Coordination Disorder: A pilot study. *Children, 10*(3), 415. https://doi.org/10.3390/children10030415
Sala, G., & Gobet, F. (2017). Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Directions in Psychological Science, 26*(6), 515–520. https://doi.org/10.1177/0963721417712760
Sangster Jokić, C., & Whitebread, D. (2011). The role of self-regulatory and metacognitive competence in the motor performance difficulties of children with Developmental Coordination Disorder: A theoretical and empirical review. *Educational Psychology Review, 23*, 75–98. https://doi.org/10.3109/01942638.2015.1135844

Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review, 82*(4), 225. https://doi.org/10.1037/h0076770
Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human Kinetics.
Schmidt, R., & Wrisberg, C. A. (2004). *Motor learning and performance* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
Schoemaker, M. M., Niemeijer, A. S., Reynders, K., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2003). Effectiveness of neuromotor task training for children with Developmental Coordination Disorder: A pilot study. *Neural Plasticity, 10*(1–2), 155–163. https://doi.org/10.1155/NP.2003.155
Seidler, R. D., & Noll, D. C. (2008). Neuroanatomical correlates of motor acquisition and motor transfer. *Journal of Neurophysiology, 99*(4), 1836–1845. https://doi.org/10.1152/jn.01187.2007
Shea, J. B., & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental psychology: Human Learning and Memory, 5*(2), 179. https://doi.org/10.1037/0278-7393.5.2.179
Smits-Engelsman, B. C. M., Jelsma, L. D., Ferguson, G. D., & Geuze, R. H. (2015). Motor learning: An analysis of 100 trials of a ski slalom game in children with and without Developmental Coordination Disorder. *PLOS ONE, 10*(10), Article e0140470. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140470
Smits-Engelsman, B. C., Bonney, E., & Jelsma, D. (2023). Task-specificity and transfer of skills in school-aged children with and without Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 133*, Article 104399. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104399
Smits-Engelsman, B. C., Jelsma, L. D., & Ferguson, G. D. (2017). The effect of exergames on functional strength, anaerobic fitness, balance and agility in children with and without motor coordination difficulties living in low-income communities. *Human Movement Science, 55*, 327–337. https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.07.006
Smits-Engelsman, B. C., Wilson, P. H., Westenberg, Y., & Duysens, J. (2003). Fine motor deficiencies in children with Developmental Coordination Disorder and learning disabilities: An underlying open-loop control deficit. *Human Movement Science, 22*(4-5), 495–513. https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.006
Smits-Engelsman, B., Bonney, E., & Ferguson, G. (2020). Motor skill learning in children with and without Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science, 74*, Article 102687. https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102687
Smits-Engelsman, B., Bonney, E., & Ferguson, G. (2021). Effects of graded exergames on fitness performance in elementary school children with Developmental Coordination Disorder. *Frontiers in Sports and Active Living, 3*, Article 653851. https://doi.org/10.3389/fspor.2021.653851
Smits-Engelsman, B., Vinçon, S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2018). Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities, 74*, 72–102. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.002
Sugden, D. A. (2007). Current approaches to intervention in children with Developmental Coordination Disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology, 49*, 467–471. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00467.x
Tajari, S. N., Gholami, S., Rostami, R., Trabelsi, K., & Taheri, M. (2023). The effect of perceptual-motor exercise on temporal dynamics of cognitive inhibition control in children with Developmental Coordination Disorder. *Mental Health and Physical Activity, 24*, Article 100495. https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2022.100495
Tamplain, P., Sherrod, G. M., Fuchs, C., & Miller, H. L. (2021). Preliminary improvements in dynamic postural control after a group-based intervention program for children with Developmental Coordination Disorder: A brief report. *Developmental Neurorehabilitation, 24*(1), 63–67. https://doi.org/10.1080/17518423.2020.1819463
Thorndike, E. L., & Woodworth, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. II. The estimation of magnitudes. *Psychological Review, 8*(4), 384. https://doi.org/10.1037/h0071280
Thornton, A., Licari, M., Reid, S., Armstrong, J., Fallows, R., & Elliott, C. (2016). Cognitive Orientation to (Daily) Occupational Performance intervention leads to improvements in impairments, activity and participation in children with Developmental Coordination Disorder. *Disability and Rehabilitation, 38*(10), 979–986. https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1070298
Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., … Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine, 169*(7), 467–473. https://doi.org/10.7326/M18-0850
Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational Psychology Review, 26*(2), 265–283. https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1
Tsai, C.-L., Chang, Y.-K., Chen, F.-C., Hung, T.-M., Pan, C.-Y., & Wang, C.-H. (2014). Effects of cardiorespiratory fitness enhancement on deficits in visuospatial working memory in children with Developmental Coordination Disorder: A Cognitive Electrophysiological Study. *Archives of Clinical Neuropsychology, 29*(2), 173–185. https://doi.org/10.1093/arclin/act081
Tsai, C.-L., Wang, C.-H., & Tseng, Y.-T. (2012). Effects of exercise intervention on event-related potential and task performance indices of attention networks in children with developmental coordination disorder. *Brain and Cognition, 79*(1), 12–22. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.004
Tsiotra, G. D., Flouris, A. D., Koutedakis, Y., Faught, B. E., Nevill, A. M., Lane, A. M., & Skenteris, N. (2006). A comparison of Developmental Coordination Disorder prevalence rates in Canadian and Greek children. *Journal of Adolescent Health, 39*, 125–127. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2005.07.011
Ward, A., & Rodger, S. (2004). The application of cognitive orientation to daily occupational performance (CO-OP) with children 5–7 years with developmental coordination disorder. *The British Journal of Occupational Therapy, 67*, 256–264. https://doi.org/10.1177/03080226040670060
Wilson, P. H., Adams, I. L. J., Caeyenberghs, K., Thomas, P., Smits-Engelsman, B., & Steenbergen, B. (2016). Motor imagery training enhances motor skill in children with DCD: A replication study. *Research in Developmental Disabilities, 57*, 54–62. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.06.014
Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: A meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine Child Neurology, 55*(3), 217–228. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x
Wright, H. C., Sugden, D. A., & Tan, J. (1994). Identification of children with movement problems in Singapore: Usefulness of Movement ABC Checklist. *Adapted Physical Activity Quarterly, 11*, 150–157.
Wuang, Y.-P., Huang, C.-L., & Wu, C.-S. (2022). Haptic perception training programs on fine motor control in adolescents with developmental coordination disorder: A preliminary study. *Journal of Clinical Medicine, 11*(16), 4755. https://doi.org/10.3390/jcm11164755

Conclusion et contribution à la thèse

La réalisation de cette revue de portée a permis de faire émerger plusieurs éléments essentiels pour répondre à la problématique de cette thèse. Tout d'abord, ce travail a permis d'identifier les recherches ayant spécifiquement étudié le transfert des apprentissages chez les enfants présentant un TDC, ainsi que celles abordant indirectement cette thématique sans la nommer explicitement. Cette approche élargie a été rendue possible grâce à l'utilisation du cadre méthodologique de la revue de portée, qui s'est avéré tout à fait pertinent pour cartographier de manière exhaustive la littérature existante, qu'elle soit explicite ou implicite sur ce sujet.

Par ailleurs, la revue a mis en évidence les principales justifications théoriques avancées par les auteurs pour évaluer le transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC. Mieux comprendre les capacités de transfert de ces enfants constitue un enjeu fondamental, notamment dans la perspective de concevoir des stratégies de remédiation plus efficaces et mieux adaptées à leurs besoins spécifiques. En effet, le transfert d'apprentissage est essentiel pour assurer une généralisation des compétences acquises dans des contextes variés de la vie quotidienne.

L'analyse des concepts et des modèles théoriques utilisés dans les études incluses a également révélé que peu de travaux s'appuient sur des cadres conceptuels récents pour évaluer le transfert. De plus, lorsqu'une théorie est mentionnée, elle n'oriente pas systématiquement l'élaboration méthodologique des recherches, en particulier dans la sélection et la conception des tâches destinées à mesurer le transfert. Ceci limite la compréhension fine des mécanismes de transfert chez cette population.

En outre, cette revue a permis de synthétiser les connaissances disponibles sur le transfert des apprentissages chez les enfants avec TDC. Les données suggèrent que ces enfants rencontrent des difficultés pour transférer leurs apprentissages moteurs, comparativement aux enfants au développement typique, en particulier lorsque les tâches de transfert sont considérées comme "lointaines" de la tâche initialement apprise.

Cependant, les résultats mettent également en évidence un point positif : l'utilisation de stratégies cognitives appliquées à des activités motrices semble favoriser un transfert plus distant. Cela révèle une capacité chez les enfants porteurs d'un TDC, sur laquelle il est possible de s'appuyer pour concevoir des interventions plus efficaces. Ce constat rejoint les approches

de remédiation centrées sur la tâche, qui privilégient l'enseignement de stratégies globales plutôt que l'entraînement aux processus moteurs eux-mêmes.

Sur la base de ces constats, plusieurs recommandations peuvent être formulées pour les recherches futures. Il serait pertinent de considérer les « tests d'apprentissage » ou les « tests de remédiation », incluant des tâches différentes de celles utilisées durant l'apprentissage initial, comme des mesures explicites du transfert. De plus, les futurs travaux gagneraient à évaluer de manière systématique et avec des variations contrôlées le transfert des compétences acquises, afin de mieux caractériser les mécanismes d'apprentissage et de généralisation chez les enfants avec TDC. Enfin, une exploration plus approfondie des capacités de transfert de stratégies cognitives et des compétences métacognitives associées permettrait d'en savoir plus sur les capacités cognitives non motrices des enfants porteurs d'un TDC.

Chapitre 3 : Apprentissage et transfert graphomoteur chez des enfants âgés de 7 à 10 ans et des adultes au développement typique, et chez des enfants et un adulte porteurs d'un TDC

Résumé :

Dans ce chapitre nous présentons une étude visant à évaluer l'apprentissage et le transfert graphomoteur chez des enfants et des adultes au développement typique et chez trois enfants et un adulte porteurs d'un TDC. Nous avions fait l'hypothèse que les participants porteurs d'un TDC présenteraient un apprentissage moteur préservé, mais des difficultés lors du transfert de cet apprentissage vers de nouvelles tâches graphomotrices (Adi-Japha & Brestel, 2020). Dans un paradigme de tâches isomorphes, les participants devaient apprendre à tracer des pseudo-lettres. Puis, deux types de tâches de transfert leur étaient proposés : l'une mobilisant les segments appris en phase d'apprentissage pour tracer de nouvelles pseudo-lettres, l'autre demandant de combiner des séquences de segments appris en phase d'apprentissage. Les résultats ont révélé que la présence ou non d'une dysgraphie associée au TDC peu impacter soit l'apprentissage et le transfert soit le transfert uniquement. L'étude souligne ainsi que les capacités d'apprentissage et de transfert chez les enfants TDC varient selon les profils et peuvent être influencées par la présence d'un trouble graphique associé.

Article associé :

Josseron, L., Clerc, J., & Jolly, C. (*en révision*). Learning and transfer of graphomotor skills in typically developing 7- to 10-years old children and adults.

Communication affichée associée :

Josseron, L., Clerc, J., & Jolly, C. (2025, May 1). *Graphomotor skills learning and transfer in children with DCD* [Poster abstract]. Society for Research in Child Development, SRCD 2025 Biennial Meeting, Minneapolis, MN, United States.

Communication orale à venir :

Josseron, L., Clerc, J., & Jolly, C. (2025, June 2-5). *Learning and transfer of graphomotor skills in typically developing 7- to 10-years old children and adults* [Conference session]. 22nd conference of the International Graphonomics Society, Montréal, Canada.

Introduction

Les compétences graphomotrices sont particulièrement importantes dans l'apprentissage de l'écriture chez l'enfant. Tout au long de leur scolarité, les enfants seront progressivement exposés aux différentes étapes de l'apprentissage de l'écriture. Dès l'âge de 2 ans, les activités graphomotrices sont proposées dans le but de familiariser les enfants à l'utilisation de l'outil scripteur et de développer leur motricité fine. Puis, les enfants apprennent à tracer des segments simples, horizontaux, verticaux ou des cercles et des ellipses, qui composent les lettres. Puis, ils apprennent à tracer des lettres complètes et les suites de lettres liées entre elles, dans l'écriture cursive, pour former des mots. L'automatisation de l'écriture se met en place sur le long terme après plusieurs années de pratique et l'on observe plusieurs stades développementaux associés à cet apprentissage. Le marqueur développemental le plus important se produit entre 8 et 9 ans, période durant laquelle on observe une transition entre un mode de contrôle du mouvement dit « rétroactif » et un mode de contrôle « proactif ». Le mode de contrôle rétroactif est centré sur l'utilisation de feedbacks sensoriels visuels puis proprioceptifs (Bara & Gentaz, 2010) alors que le mode de contrôle proactif est centré sur la récupération des représentations motrices en mémoire à long terme (Meulenbroek & van Galen, 1988 ; Palmis et al., 2017 ; Schmidt et al., 2018 ; Zesiger, 1995). Le passage vers le mode de contrôle proactif marque le début de l'automatisation de l'écriture, associée à une stabilisation de la vitesse et de la fluidité du mouvement (Chiappedi et al., 2012).

Le contenu de la représentation motrice récupérée en mémoire à long terme lors du contrôle proactif fait encore l'objet de débats (Hulstijn & van Galen, 1983). Pour certains auteurs ce sont des unités motrices de bases (i.e. des traits) qui sont représentées dans les programmes moteurs, alors que d'autres auteurs proposent les unités motrices seraient plutôt des lettres ou des syllabes (Kandel et al., 2006 ; Teulings et al., 1983). La capacité à mémoriser un plus grand nombre d'unités motrices serait possible grâce au *chunking*. Les chunks moteurs correspondent à des assemblages de plusieurs unités motrices et aux relations spatio-temporelles qu'elles entretiennent entre elles. Selon Lambert & Esperet (2002), l'augmentation de la taille des chunks est un indicateur de l'apprentissage de l'écriture. Le mouvement fluide de l'écriture consistant en la réalisation successive d'unités motrices simples assemblées en chunks, puis de plusieurs chunks, l'apprentissage de l'écriture peut ainsi être considéré comme un apprentissage de séquences (Diedrichsen & Kornysheva, 2015).

Afin d'évaluer uniquement la composante motrice et non linguistique de l'écriture, Julius et Adi-Japha (2015) se sont intéressés à l'apprentissage d'une seule pseudo-lettre, chez des enfants âgés de 5 à 8 ans et chez des adultes. Après un entraînement au tracé d'une pseudo-lettre, les auteurs évaluaient la consolidation de l'apprentissage 24 heures après, et le maintien de l'apprentissage 2 semaines après l'entraînement. Les résultats ont montré que même si les adultes sont plus précis à travers les différentes phases de la mémorisation à long terme, le niveau de précision s'est maintenu pour tous les groupes d'âge. De plus, les 7-8 ans sont plus rapides que les 5-6 ans, mais tous les groupes d'âge ont produit la pseudo-lettre plus rapidement avec la pratique. Cette étude a montré différents patterns développementaux, mais montre que les enfants de 5 à 8 ans progressent à travers des étapes similaires à celles observées chez les adultes.

À notre connaissance il n'existe pas d'autres études portant sur les différentes étapes de l'apprentissage de pseudo-lettres pour différents groupes d'âge. De plus, l'étude de Julius et Adi-Japha porte spécifiquement sur les différentes étapes de l'apprentissage moteur d'une pseudo-lettre, mais n'évalue pas le transfert de l'apprentissage de la pseudo-lettre. En effet, l'apprentissage moteur comprend plusieurs phases : l'acquisition, la consolidation, le maintien, mais également le transfert de la compétence apprise vers de nouvelles tâches ou de nouveaux contextes (Shea & Morgan, 1979, Shmuelof et al., 2012). Le transfert moteur est la capacité d'un individu à réutiliser ses connaissances pour améliorer l'apprentissage, ou l'exécution d'un nouveau mouvement ayant des paramètres similaires (Braun et al., 2009 ; Seidler & Noll, 2008). Il est suggéré que les processus d'apprentissage lent, impliqués dans la consolidation à long terme (Dudai, 2004), tels que proposés dans l'étude de Julius et Adi-Japha, 2015, réduisent la flexibilité de l'apprentissage et limitent le transfert des représentations motrices. En effet, dans leur étude, les participants sont entraînés spécifiquement à une seule tâche (une pseudo-lettre), et l'entraînement est prolongé (180 répétitions de la même tâche en phase d'acquisition). Ces deux caractéristiques de l'entraînement (spécificité et intensité) ont permis le maintien à long terme de l'apprentissage, mais ne seraient pas optimales dans une perspective de transfert vers d'autres tâches variées (Clark & Ivry, 2010). En effet, un entraînement moins spécifique, donc plus variable et moins intensif, mènerait à la création d'une représentation motrice moins stable à long terme, mais plus flexible dans sa réutilisation lors de l'exécution d'un nouveau mouvement (i.e. transfert).

À notre connaissance, aucune étude développementale n'a porté sur le transfert d'apprentissage graphomoteur chez des participants au développement typique. En revanche une étude a porté sur ce type d'apprentissage chez des enfants porteurs d'un TDC (Adi-Japha & Brestel, 2020). Les enfants porteurs d'un TDC présentent régulièrement des difficultés d'écriture (Vaivre-Douret et al., 2021). Leur trouble spécifique de la motricité est expliqué principalement par un déficit des modèles internes (Adams et al., 2014). Hypothèse selon laquelle les enfants porteurs d'un TDC rencontreraient des difficultés à créer des modèles internes stables pendant l'apprentissage et des difficultés de contrôle prédictif pendant l'exécution du mouvement. Plusieurs études mettent ainsi en évidence des difficultés d'apprentissage chez les enfants avec un TDC dans des tâches d'adaptation sensorimotrice (Brookes et al., 2007 ; Danna et al., 2024 ; Kagerer et al., 2004) et des tâches d'apprentissage de séquences visuomotrices (Gheysen et al., 2011). Cependant, ces résultats restent mitigés puisque d'autres études montrent une adaptation sensorimotrice préservée (Cantin et al., 2007 ; Gomes-Moya et al., 2019 ; Knaier et al., 2023 ; Lejeune et al., 2016). L'ensemble de ces études ont porté sur l'évaluation de l'apprentissage initial chez les enfants porteurs d'un TDC, mais ne renseignent pas sur les effets de cet apprentissage sur le transfert vers d'autres tâches. Tel que soulevé par plusieurs auteurs (Bonney et al., 2017 ; Smits-Engelsman et al., 2020), le déficit des modèles internes n'impacterait pas seulement l'apprentissage moteur, mais également le transfert à de nouvelles tâches. En effet, alors que les résultats des études portant sur l'évaluation de l'apprentissage initial chez les enfants porteurs d'un TDC restent mitigés, l'évaluation de toutes les étapes de l'apprentissage moteur, c'est-à-dire l'apprentissage initial, la consolidation, le maintien et le transfert, permettrait d'identifier plus précisément les étapes de l'apprentissage étant les plus difficiles pour les enfants avec un TDC.

Dans leur étude de 2020, Adi-Japha et Brestel, comparent un groupe de 16 enfants au développement typique à un groupe de 16 enfants porteurs d'un TDC âgés de 5 à 6 ans. Dans une tâche similaire à l'étude de Julius et Adi-Japha (2015), les enfants sont entraînés à tracer une pseudo-lettre contenant deux segments. À l'aide de points guides, les enfants doivent tracer les deux segments de la pseudo-lettre en reliant les points guides. Les enfants ont été entraînés lors de l'apprentissage initial en réalisant 12 blocs de 15 répétitions de la pseudo-lettre (180 répétitions), puis ont réalisé 4 blocs en phase de consolidation 24 heures après la première phase, et enfin 4 blocs en phase de maintien une semaine plus tard. Enfin les enfants devaient réaliser une tâche de transfert, en 4 nouveaux blocs, consistant en le tracé de la pseudo-lettre

sans les points guides. Les résultats ont montré que les enfants porteurs d'un TDC présentaient une amélioration de leurs performances similaire à celle des enfants au développement typique lors de l'apprentissage initial. Cependant, en tâche de transfert, tous les enfants ont présenté une réduction de la fluidité et du temps de tracé, mais les enfants porteurs d'un TDC ont également présenté une réduction de la précision des tracés. Ainsi, cette étude montre que les enfants porteurs d'un TDC ont un apprentissage moteur préservé, mais un transfert déficitaire. Les auteurs expliquent ces résultats par le fait que les enfants porteurs d'un TDC ont rencontré des difficultés à adapter leur apprentissage aux nouvelles contraintes spatio-temporelles de la tâche de transfert. Les auteurs précisent que cette tâche de transfert est faiblement similaire à la tâche réalisée lors de l'apprentissage initial et relève donc d'un transfert lointain.

Cette étude montre que les enfants porteurs d'un TDC âgés de 5 à 6 ans présenteraient des capacités d'apprentissage préservé, mais de transfert de l'apprentissage graphomoteur altéré. Dans la continuité de ces travaux, nous proposons une nouvelle étude dans laquelle nous souhaitons évaluer l'apprentissage et le transfert graphomoteur chez des enfants plus âgés et en faisant varier les tâches de transfert. Pour cela, nous utilisons un paradigme de tâches isomorphes similaire à l'étude d'Adi-Japha et Brestel (2020), en proposant un apprentissage variable de plusieurs pseudo-lettres et le transfert vers différentes tâches de transfert, plus ou moins proche des pseudo-lettres apprises en phase d'apprentissage (Klahr & Chen, 2011).

Nous postulons que l'apprentissage de l'écriture repose principalement sur l'acquisition d'unités motrices simples (i.e. des segments). Ces segments se retrouvent de manière récurrente à travers différentes lettres de l'alphabet. Par ailleurs, nous considérons que les lettres sont composées de séquences de plusieurs segments, tandis que les syllabes et les mots résultent de la combinaison de plusieurs lettres. De plus, en France, les enfants apprennent l'écriture cursive, qui impose, dans la plupart des cas, une continuité du tracé entre les lettres : cela implique la production de segments supplémentaires, absents lorsque les lettres sont écrites isolément.

Afin de reproduire au plus près les conditions de l'apprentissage de l'écriture, les participants devront apprendre à tracer des pseudo-lettres, chacune composée de trois segments. Nous évaluerons ensuite le transfert de cet apprentissage à deux niveaux : d'une part, vers le tracé de nouvelles pseudo-lettres intégrant des segments déjà appris (nouvelles séquences de segments connus), et d'autre part, vers le tracé de combinaisons de pseudo-lettres précédemment apprises (nouvelles combinaisons de séquences connues). En cohérence avec les exigences de l'apprentissage de l'écriture cursive, les participants devront réaliser les tracés

sans lever le crayon, favorisant ainsi un enchaînement moteur continu. Cette étude portera sur des enfants âgés de 7 à 10 ans, une période développementale clé marquée par des changements dans les modes de contrôle de l'écriture. Cela nous permettra d'examiner les capacités d'apprentissage et de transfert en fonction de l'âge, et par extension, en fonction du type de contrôle moteur mobilisé.

Étant donné le peu d'études existantes sur les capacités d'apprentissage et de transfert dans ce type de tâche, nous commencerons par évaluer le produit et les processus d'écriture chez des enfants au développement typique, ainsi que chez des adultes sans troubles moteurs ni difficulté d'écriture. Nous comparerons ensuite les performances d'enfants présentant un TDC et/ou une dysgraphie, à un groupe contrôle apparié en âge et en genre.

Chez les enfants au développement typique, nous faisons l'hypothèse que les performances en phase d'acquisition (apprentissage initial) seront similaires entre les groupes d'âge (Julius & Adi-Japha, 2015). Cependant, les enfants les plus jeunes devraient présenter plus de difficulté lors de la première tâche de transfert puisque le mode de contrôle rétroactif ne permet pas la récupération des programmes moteurs, ce qui a l'inverse favoriserait le transfert chez les enfants les plus âgés et les adultes utilisant un mode de contrôle proactif. De plus, les enfants les plus jeunes devraient présenter de plus grandes difficultés lors de la seconde tâche de transfert (combinaison de séquences connues) puisque cette tâche nécessiterait la création de représentations motrices comportant des chunks de plusieurs unités motrices. Enfin, la contrainte du tracé des pseudo-lettres sans lever le crayon augmenterait le nombre d'arrêts pendant le tracé des pseudo-lettres en phase de transfert. En effet, le fait de réaliser des arrêts pendant le tracé de lettre est interprété comme une préparation du geste graphique (Rosenblum & Livneh-Zirinski, 2008).

Enfin, chez les enfants porteurs d'un TDC, nous faisons l'hypothèse que les performances en phase d'acquisition seront similaires aux individus au développement typique de leurs âges (Adi-Japha & Brestel, 2020), mais ils présenteront des performances de transfert moindre, témoignant de l'instabilité des modèles internes créés en phase d'acquisition.

Méthode

Participants

Cent individus ont participé à cette étude : 24 adultes ($M_{âge}$ = 23.53 ans ; $ET_{âge}$ = 7.88; 3 hommes; 24 droitiers), 76 enfants au développement typique (TD) âgés de 7 à 10 ans, répartis dans 4 groupes d'âge : les enfants âgés de 7 ans (N = 16; $M_{âge}$ = 7.56 ans; $ET_{âge}$ = 0.24; 7 garçons ; 14 droitiers), les enfants âgés de 8 ans (N = 19; $M_{âge}$ = 8.50 ans; $ET_{âge}$ = 0.32; 14 garçons; 17 droitiers), les enfants âgés de 9 ans (N = 20; $M_{âge}$ = 9.35 ans; $ET_{âge}$ = 0.28; 10 garçons, 18 droitiers), et les enfants âgés de 10 ans (N = 21; $M_{âge}$ = 10.30 ans; $ET_{âge}$ = 0.25; 12 garçons ; 18 droitiers). De plus 4 individus porteurs d'un TDC âgés de 7 et 9 mois, de 9 et 4 mois, de 10 et 10 mois, et de 21 ans ont été inclus. Tous les adultes, ainsi que les familles des enfants et les enfants eux-mêmes, ont donné leur consentement pour participer à cette étude. Cette étude a reçu un avis favorable du comité éthique de l'Université Grenoble Alpes (CERGA-Avis-2022-9).

Inclusion des participants au développement typique. Les adultes ont été recrutés au sein de l'Université Grenoble Alpes, ils ne présentaient pas de trouble des apprentissages, ni de trouble neurologique connus, et avaient une vue normale ou corrigée à la normale. Tous ont réalisé le test ADC (Adult Developmental coordination disorder/Dyspraxia Checklist ; Kirby et al., 2010). Ce questionnaire autoadministré est le plus utilisé dans la littérature scientifique pour évaluer le retentissement des difficultés motrices sur la vie quotidienne des individus. Nous avons réalisé une traduction de ce questionnaire puisqu'aucune traduction française n'a été validée. Ce questionnaire est composé de deux sections. Dans la première section, 10 questions portent sur les difficultés éprouvées pendant l'enfance et dans la seconde section, 30 questions portent sur le retentissement des difficultés motrices dans la vie quotidienne. On attribue un score de 0 à 3 pour chaque item. Un score égal ou supérieur à 17 dans la première section confirme la présence de difficultés dans l'enfance et un score total égal ou supérieur à 56 indique que le participant est « à risque de TDC », un score total égal ou supérieur à 65 indique un « TDC probable » (Kirby et al., 2011). Tous les adultes au développement typique inclus dans cette étude ont un score inférieur à 56 au questionnaire ADC. Un participant a été exclu, car il était en mesure d'écrire une langue s'écrivant de la droite vers la gauche. En effet, afin de créer une situation d'apprentissage nouvelle, les pseudo-lettres et les combinaisons de pseudo-lettres ont dû être tracées de la gauche vers la droite (i.e. sens d'écriture non conventionnel pour des participants ayant appris à écrire le français), le fait que ce participant sache écrire une langue

s'écrivant de gauche à droite aurait pu constituer un avantage dans le tracé des pseudo-lettres et des combinaisons de pseudo-lettres. Un participant a été exclu, car il présentait un TND.

Les enfants au développement typique ont été rencontrés au sein de deux écoles élémentaires publiques, avec l'accord du rectorat de l'académie de Grenoble. Les familles et les enseignants ont confirmé que les enfants n'étaient porteurs ni de troubles du neurodéveloppement ni de trouble neurologique, et tous avaient une vue normale ou corrigée à la normale. De plus, les enfants au développement typique ont réalisé 3 items du test MABC-2 (Évaluation du mouvement chez l'enfant – 2de édition MABC-2 ; Henderson et al., 2007), dans le but d'écarter de potentielles difficultés motrices. Les trois items suivants ont été administrés : Placer les chevilles main préférée (composante de Dextérité Manuelle), Lancer le sac lesté sur le tapis (composante Viser/Attraper), et Marcher talon-pointe (composante d'Equilibre). Ces trois items ont été sélectionnés pour leurs propriétés psychométriques (Psotta & Abdollahipour, 2017), cette procédure a déjà été utilisée pour évaluer la prévalence du TDC chez des enfants (Lingam et al., 2009). Les enfants étaient exclus si les trois notes standardisées étaient inférieures au 15e percentile. Les enfants ont également réalisé le test du BHK (Charles et al., 2003) afin d'écarter de potentielles difficultés d'écriture : les enfants ont été exclus s'ils présentaient une note standardisée < -1,5 sur le score total et le score de vitesse, ou une note standardisée < -2 sur l'un des deux scores. Cinq enfants au développement typique ont été exclus car ils présentaient une dysgraphie. Un enfant a été exclu car il présentait des troubles visuels. Un enfant a été exclu car il ne correspondait pas à la tranche d'âge définie dans cette étude.

Inclusion des participants porteurs d'un TDC. L'adulte porteuse d'un TDC inclus dans cette étude a répondu à une annonce. Pour l'inclusion de cette participante, les 4 critères du DSM-V ont été vérifiés. Afin d'évaluer ses performances motrices, la participante a effectué le MABC-2. L'utilisation de ce test et en particulier des normes pour les adolescents de 16 ans à 16 ans 11 mois a été recommandée par l'EACD (Blank et al., 2012) puisqu'aucun test standardisé équivalent n'est disponible chez l'adulte. Cette procédure a déjà été utilisée chez des adultes porteurs d'un TDC (Job et al., 2019). Le critère d'inclusion était un score total ou l'un des sous-scores au MABC-2 inférieur au 16e percentile (Critère A). La participante a également répondu à une version traduite du questionnaire ADC (Critère B et C), et présente un score de 17 dans la première section témoignant de difficulté motrice dans l'enfance et un score total de 46 (i.e. inférieur au score seuil décrit par Kirby et al. 2011). Cette participante a

reçu un diagnostic dans l'enfance qui a été associée à une remédiation spécifique à l'écriture. Cette participante a montré des difficultés motrices au MABC-2. Ses compétences en écriture n'ont pas pu être évaluées puisqu'il n'existe pas de test permettant cette évaluation chez l'adulte. Un entretien a permis de vérifier l'absence de trouble intellectuel et autres pathologies neurologiques (Critère D). Bien que le score total au questionnaire ADC soit faible, la participante a été incluse compte tenu de ses difficultés motrices dans l'enfance et à l'âge adulte.

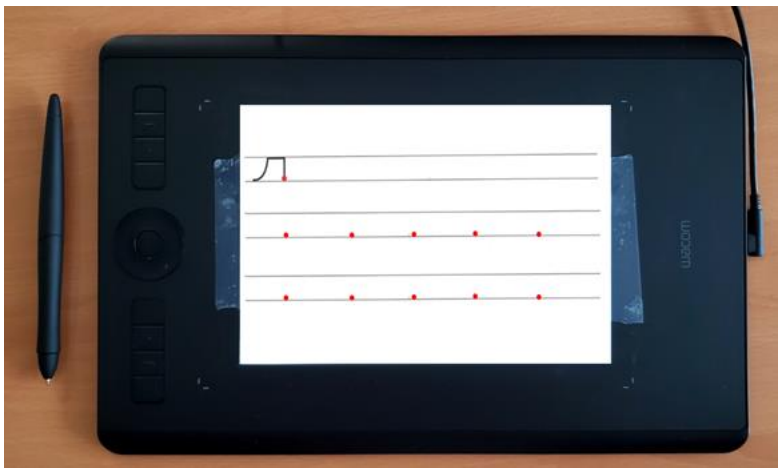
Les trois enfants porteurs d'un TDC inclus dans cette étude répondaient aux quatre critères diagnostiques du DSM-5 pour le TDC. Tous présentaient un score égal ou inférieur au 16e percentile au test complet ou à l'un des sous-scores du MABC-2 (Critère A). Le questionnaire du MABC-2 (MABC-2 *Checklist*), réalisé auprès des familles des enfants porteurs d'un TDC, a montré que les difficultés motrices des enfants interféraient avec les activités de la vie quotidienne et scolaire (Critères B et C). De plus, les familles des enfants porteurs d'un TDC ont confirmé l'absence de trouble intellectuel ou d'atteinte neurologique chez leur enfant (Critère D). Le test BHK a permis de savoir s'ils présentaient ou non une dysgraphie. Les familles ont également confirmé l'absence de comorbidités avec d'autre trouble du neurodéveloppement. Les enfants porteurs d'un TDC ont été rencontrés par l'intermédiaire de professionnels ergothérapeutes et psychomotriciens, en région Auvergne-Rhône-Alpes et en région Île-de-France. Un enfant porteur d'un TDC a été exclu car il a refusé de réaliser les tâches graphomotrices et le test BHK.

Matériel et procédure

Pseudo-lettres de l'étude. Nous avons créé un ensemble de pseudo-lettres, inspiré de Seyll et Content (2022), toutes les pseudo-lettres des phases sont présentées en Figure 12. Sur la feuille de passation, les pseudo-lettres sont présentées aux participants entre deux lignes et le début du tracé de la pseudo-lettre est marqué d'un point rouge, tel que présenté en Figure 11. Tous les participants ont tracé les pseudo-lettres sur la feuille de passation fixée sur une tablette graphique WACOM© (fréquence d'échantillonnage : 200 Hz), avec un stylo à encre laissant une trace visible sur la feuille (Figure 10).

Figure 11

Matériel expérimental



Note. La feuille de passation, ici d'une pseudo-lettre de la phase d'acquisition, est fixée à la tablette graphique.

Les tracés ont été enregistrés en utilisant un logiciel développé par le CEA-Leti (Deschamps et al., 2021), nous permettant ensuite d'extraire les caractéristiques dynamiques et cinématiques des tracés.

Procédure. Les participants étaient rencontrés individuellement lors d'une session de 45 minutes à 1 heure, et réalisaient toutes les tâches de l'étude. Tous les participants ont réalisé les tâches de l'étude dans le même ordre, mais l'ordre de présentation des pseudo-lettres à l'intérieur de chacune des tâches était contrebalancé (l'ordre des tâches est présenté en Figure 12). Après avoir réalisé toutes les tâches, les enfants au développement typique devaient réaliser le test du BHK, ainsi que les 3 items du MABC-2. Pour les participants porteurs d'un TDC, l'évaluation des compétences motrices à l'aide du MABC-2 était réalisée soit lors de la même séance, soit lors d'une autre séance.

Tâche principale - Phase d'acquisition. Lors de la phase d'acquisition, les participants devaient recopier à l'aide du modèle chacune des 6 pseudo-lettres 10 fois. Chaque tracé devait débuter sur les points rouges présents sur la feuille, et chaque pseudo-lettre devait être tracée de la droite vers la gauche. Ce sens du tracé a permis de créer une nouvelle situation d'apprentissage et d'éviter l'utilisation de mouvements automatisés. Il était demandé aux

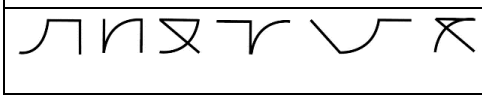
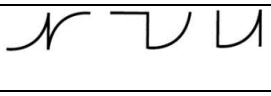
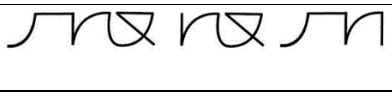
participants de recopier les pseudo-lettres de façon la plus fidèle possible au modèle. Puis, les participants devaient reproduire les pseudo-lettres de la phase d'acquisition deux fois chacune sans le modèle. Dans cette phase, la feuille de passation ne comprenait pas le modèle, mais comprenait les deux lignes guides, et le point rouge marquant le début du tracé. Cette phase a permis d'évaluer le maintien de la trace mnésique de chaque lettre apprise.

Tâche de transfert 1 - Tracés de nouvelles séquences de segments appris. Lors de cette phase, trois nouvelles pseudo-lettres étaient présentées aux participants. Ces trois nouvelles pseudo-lettres étaient toutes constituées de trois segments, appris en phase d'acquisition, mais assemblés en 3 configurations nouvelles constituant les 3 nouvelles pseudo-lettres. Ainsi, cette phase constitue le transfert d'unités motrices simples (segments) en 3 nouvelles séquences (i.e. 3 nouvelles pseudo-lettres). Dans une première session, il était demandé aux participants de recopier les pseudo-lettres deux fois chacune à l'aide du modèle en étant le plus fidèle possible au modèle. Dans une seconde session, les participants devaient recopier les trois pseudo-lettres deux fois chacune également, mais sans lever le crayon. Le fait de demander aux participants de ne pas lever le crayon, tel qu'il est demandé dans l'apprentissage de l'écriture cursive, constitue une contrainte supplémentaire.

Tâche de transfert 2 - Tracés de combinaisons de séquences apprises. Lors de cette phase, trois nouvelles combinaisons de séquences de segments étaient présentées aux participants. Parmi elles, deux étaient des combinaisons de deux pseudo-lettres déjà connues (bigrammes) et une était une combinaison de trois pseudo-lettres déjà connues (trigramme). Les trois combinaisons de séquences étaient arrangées de sorte à pouvoir être tracées sans lever le stylo, tel qu'il est possible de le faire dans l'écriture cursive. En outre, la combinaison des deux ou trois pseudo-lettres a engendré l'apparition de nouveaux segments qui ne sont pas présents lorsque les pseudo-lettres sont tracées de manière isolée (*cf* Figure 12). Dans cette phase, l'objectif était d'évaluer la capacité des participants à combiner des séquences de segments apprises. Dans une première session, les participants devaient recopier ces combinaisons de pseudo-lettres deux fois chacune en restant le plus fidèle possible au modèle. Puis, dans une seconde session, les participants devaient également les tracer deux fois chacune, mais sans lever le crayon.

Figure 12

Pseudo-lettres en fonction des différentes phases de l'étude

Phase d'acquisition	Tâche de transfert 1	Tâche de transfert 2
		

Note. La phase d'acquisition et la tâche de transfert 1 sont composées de pseudo-lettres simples. La tâche de transfert 2 est composée de deux bigrammes et d'un trigramme.

Résultats

Mesures

Les quatre variables suivantes ont été considérées dans les analyses :

Qualité du tracé. Cette variable sert à évaluer la qualité du transfert. Chaque tracé produit par les participants a été évalué à l'aide d'une échelle comprenant les critères suivants : La ressemblance globale au modèle (0 à 2 points), une extrémité touchant le point rouge (0-1 point), pas de liaison interrompue (0-1 point), départ au point rouge (0-1 point), proportion correcte (0-1 point), pas de retouche ou rature (0-1 point), pas de dépassement de ligne (0-1 point), respect des angles (0-1 point), segments droits respectés (0-1 point), courbes respectées (0-1 point), et un critère supplémentaire concernant le nouveau segment apparaissant dans les bi- et trigrammes (*cf* Figure 11) : qualité du nouveau segment (0-1 point). Le score maximal pour les pseudo-lettres simples est donc de 11, et de 12 pour les bi- et trigrammes comportant un nouveau segment. Plus le score est élevé, plus la qualité du tracé est bonne. La qualité des pseudo-lettres de l'ensemble des participants a été évaluée sur cette échelle par un premier juge, puis l'ensemble des participants ont été divisés en trois groupes pour que la qualité des pseudo-lettres soit évaluée par 3 autres juges. Ainsi, la qualité des pseudo-lettres pour chaque participant a été évaluée par le juge 1 et par l'un des trois autres juges. L'accord entre le juge 1 et les trois autres juges était modéré à fort, mesuré à l'aide de corrélations interclasses (Interclass correlation, ICC ; juge 1 et 2, ICC = .71 ; juge 1 et 3, ICC = .51 ; juge 1 et 4, ICC = .70).

Vitesse. La vitesse correspond à la vitesse moyenne du stylo lors du tracé, calculée du début à la fin du tracé. Elle a été calculée à partir des données spatio-temporelles recueillies par la tablette, grâce au logiciel développé par le CEA-LETI (Deschamps et al., 2021).

Fluidité. Ce paramètre a également été calculé grâce aux données recueillies par la tablette graphique. La fluidité a été calculée à travers l'indice SNvpd (Signal-to-Noise velocity peaks difference), qui est un indicateur de la fluidité du mouvement correspondant aux micro-fluctuations anormales de vitesse (Danna et al., 2013) : plus le mouvement est fluide, plus le nombre de pics de vitesse anormaux est bas.

Nombre d'arrêts. Le nombre d'arrêts, calculé grâce aux données recueillies par la tablette graphique, correspond au nombre de fois où le participant a marqué un arrêt de plus de 35 ms sans avoir levé le crayon (Paz-Villagràn et al., 2014). Ce paramètre a été montré comme révélateur de dysfluence.

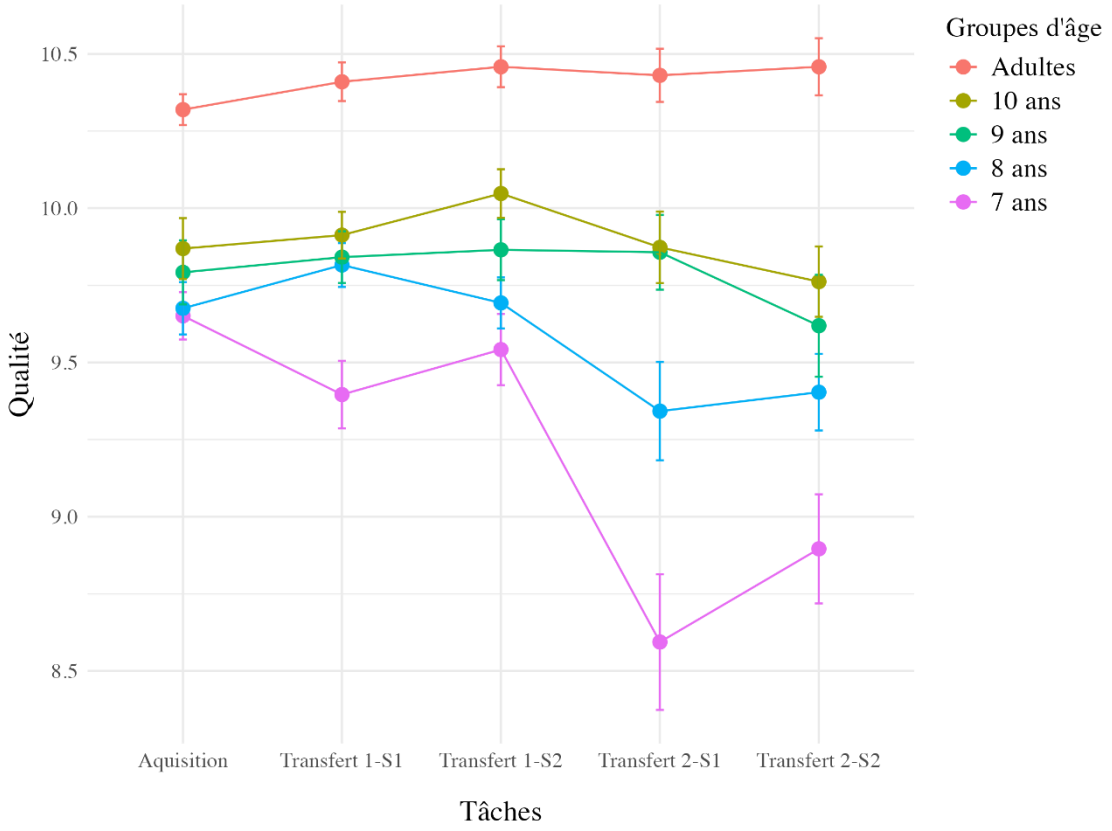
Résultats chez les participants au développement typique

Pour chaque variable, une ANOVA 5 (groupes d'âge) X 5 (tâches) avec mesures répétées sur le dernier facteur a été appliquée à la qualité moyenne des pseudo-lettres, à la vitesse moyenne sur papier, au SNvpd moyen et au nombre moyen d'arrêts. Une correction de Bonferonni a été appliquée pour 4 tests (tous les *ps* < *.01*). Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel JASP (Version 0.19.3 ; JASP Team, 2025).

Qualité du tracé. Les scores moyens de la qualité des pseudo-lettres en fonction de la tâche et de l'âge sont présentés en Figure 13. L'analyse a mis en évidence un effet principal de la tâche ($F(4, 380) = 7.31$, $p < .001$, $\eta^2p = .07$), un effet principal de l'âge ($F(4, 95) = 9.84$, $p < .001$, $\eta^2p = 0.29$), et un effet d'interaction entre la tâche et l'âge ($F(16, 380) = 2.75$, $p < .001$, $\eta^2p = 0.10$).

Figure 13

Représentation graphique de la qualité moyenne des tracés en fonction de l'âge et de la tâche



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon.

La qualité des tracés des pseudo-lettres en tâche principale (phase d'acquisition - reproduction sans le modèle des pseudo-lettres apprises) ne diffère pas significativement entre les groupes d'âge. Cependant, lors de la première tâche de transfert (nouvelles séquences de segments appris) en session 1, la qualité des tracés des enfants de 7 ans est significativement inférieure à celle des adultes ($t(95) = -5.78$, $p < .001$, $d = -1.30$). Lors de la session 2 (nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon), la qualité des tracés des enfants de 7 ans ($t(95) = -4.63$, $p = .003$, $d = -1.17$) est significativement inférieure à celle des adultes.

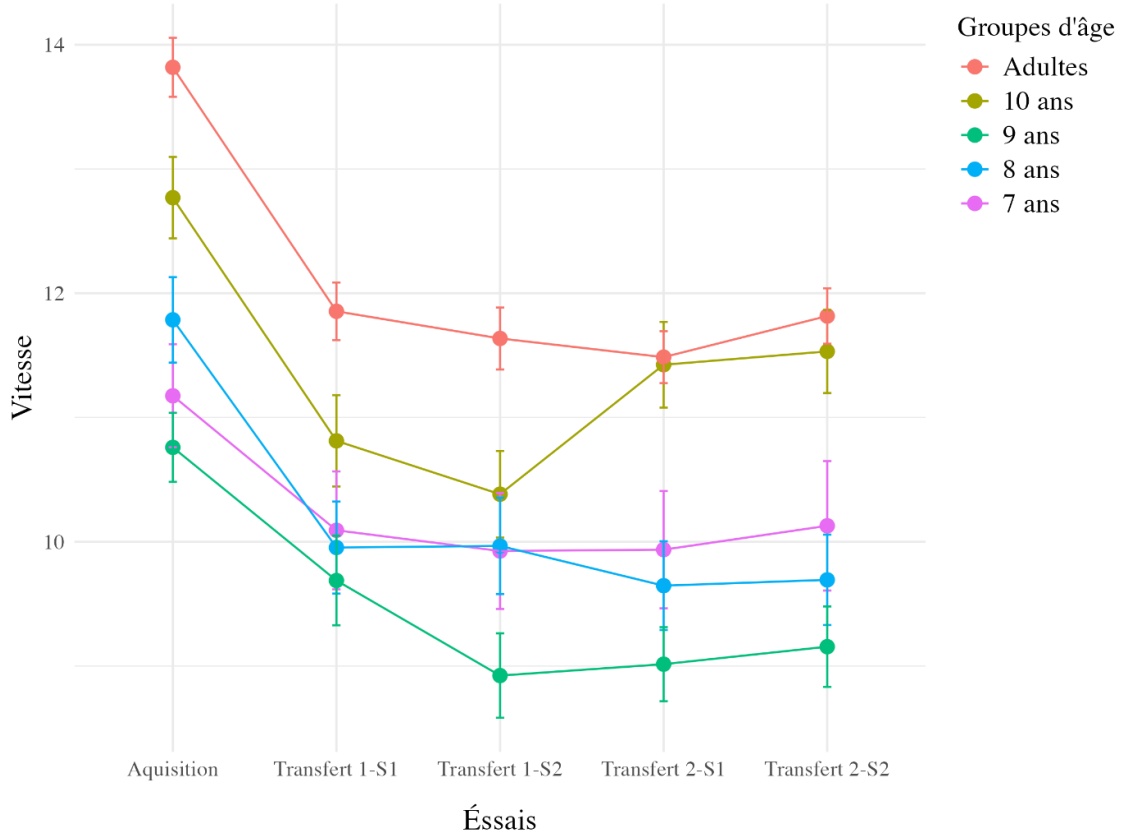
Enfin, lors de la première session de la seconde tâche de transfert (combinaison de séquences apprises), la qualité des tracés des enfants de 7 ans ($t(95) = -5.67$, $p < .001$, $d =$ -

2.35) est inférieure à celle des adultes, ainsi que lors de la seconde session (combinaison de séquences connues, sans lever le crayon, $t(95) = -4.93$, $p = .001$, $d = -2.00$).

Vitesse. Les scores moyens de vitesse en fonction de la tâche et de l'âge sont présentés en Figure 14. L'analyse a mis en évidence un effet principal de la tâche ($F(4, 380) = 33.82$, $p < .001$, $\eta^2p = 0.26$), mais pas d'effet principal de l'âge ni d'effet d'interaction.

Figure 14

Représentation graphique de la vitesse moyenne en fonction de l'âge et de la tâche



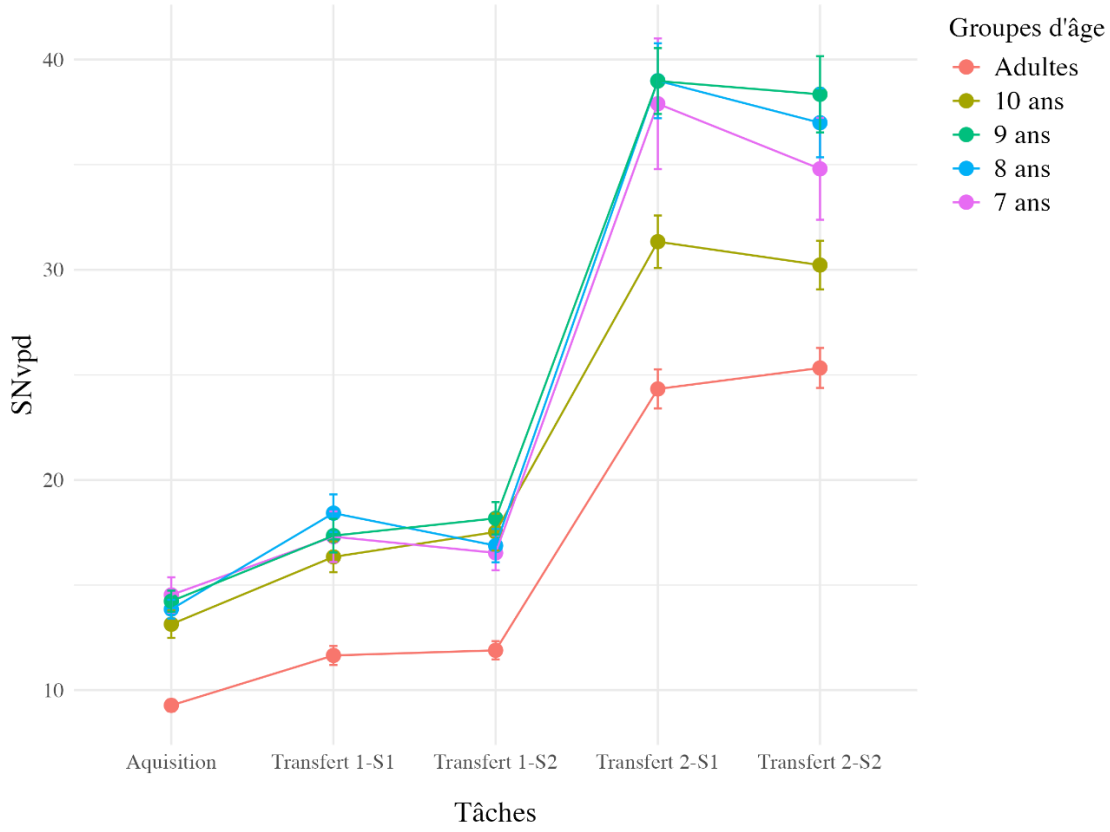
Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon.

La vitesse moyenne des tracés n'est pas différente entre les groupes d'âge pour chacune des tâches. Cependant, la vitesse moyenne en tâche principale, toutes tranches d'âge confondues est significativement supérieure à celles observées dans les différentes tâches de transfert et lors des différentes sessions (tous les *ps* < .001). La vitesse moyenne des participants n'est pas significativement différente entre les tâches de transfert et les sessions.

Fluidité. Les scores moyens pour le SNvpd en fonction de la tâche et de l'âge sont présentés en Figure 15. L'analyse a mis en évidence un effet principal de la tâche ($F(4, 380) = 417.79$, $p < .001$, $\eta^2p = .81$), un effet principal de l'âge ($F(4, 95) = 7.97$, $p < .001$, $\eta^2p = .25$), et un effet d'interaction entre la tâche et l'âge ($F(16, 380) = 4.56$, $p < .001$, $\eta^2p = .16$).

Figure 15

Représentation graphique de la fluidité moyenne en fonction de l'âge et de la tâche



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon.

Les scores de fluidité en tâche principale (phase d'acquisition - reproduction sans le modèle des pseudo-lettres apprises) ne diffèrent pas significativement entre les groupes d'âge. Les scores de fluidité ne diffèrent pas non plus lors de la première session de la première tâche de transfert entre les différents groupes d'âge, cependant lors de la seconde session, les enfants âgés de 9 ans ont des scores de fluidité inférieurs aux adultes ($t(95) = 4.31$, $p = .01$, $d = .86$).

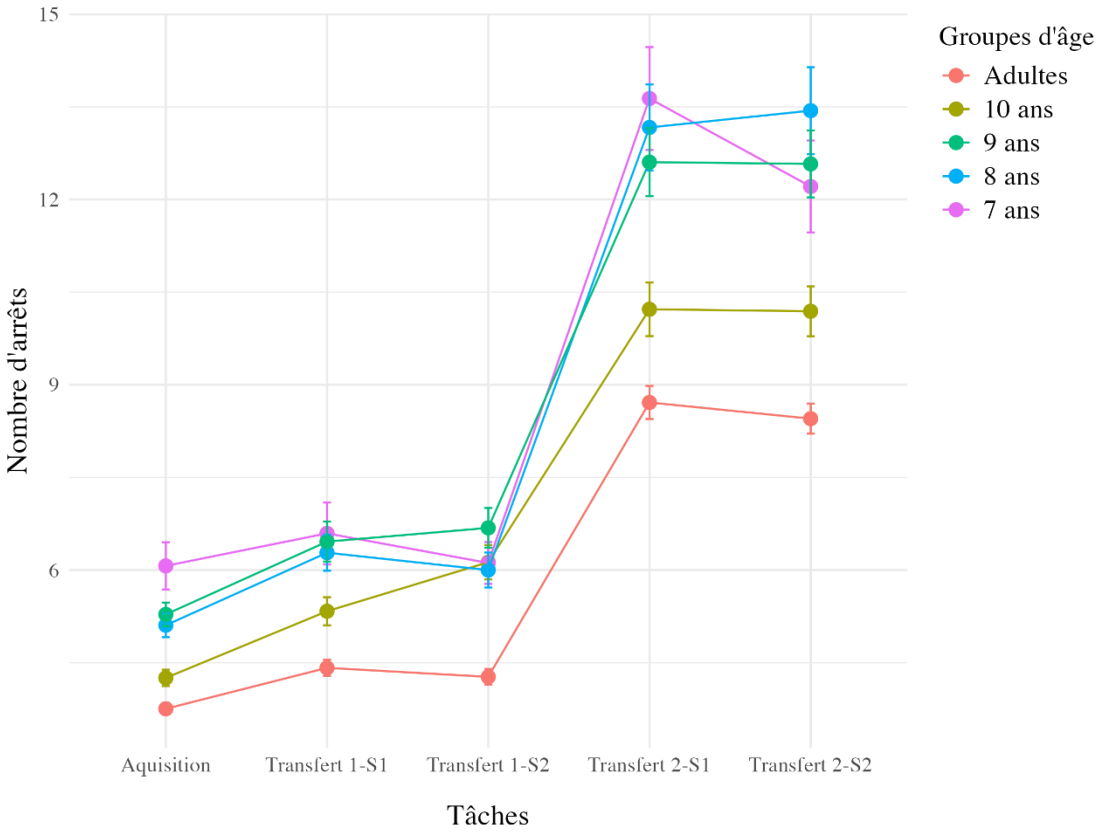
Lors de la première session de la seconde tâche de transfert, les adultes ont un score de fluidité supérieur aux enfants de 8 ans ($t(95) = 4.29$, $p = .01$, $d = 1.86$) et aux enfants de 9 ans ($t(95) = 4.85$, $p = .001$, $d = 2.07$). Lors de la seconde session, seuls les enfants de 9 ans ont un score de fluidité inférieur aux adultes ($t(95) = 4.68$, $p = .001$, $d = .82$).

Les scores de fluidité en tâche principale sont significativement inférieurs aux scores des tâches de transfert et des sessions (tous les $ps < .001$). Les scores de fluidité ne diffèrent pas entre les deux sessions de la première tâche de transfert ni entre les deux sessions de la seconde tâche de transfert. Cependant, les scores de fluidité de la première tâche de transfert sont inférieurs aux scores de fluidité dans la seconde tâche de transfert, que ce soit en première session ($t(95) = -22.23$, $p < .001$, $d = -2.16$) et en seconde session (sans lever le crayon, $t(95) = -22.23$, $p < .001$, $d = -2.16$).

Nombre d'arrêts. Le nombre moyen d'arrêts en fonction de la tâche et de l'âge est présenté en Figure 16. L'analyse a mis en évidence un effet principal de la tâche ($F(4, 380) = 323.72$, $p < .001$, $\eta^2p = 0.77$), un effet principal de l'âge ($F(4, 95) = 5.80$, $p < .001$, $\eta^2p = 0.20$), et un effet d'interaction entre la tâche et l'âge ($F(16, 380) = 3.80$, $p < .001$, $\eta^2p = 0.14$).

Figure 16

Représentation graphique du nombre d'arrêts moyen en fonction de l'âge et de la tâche



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon.

Le nombre d'arrêts moyen est similaire pour tous les groupes d'âge en phase d'acquisition. Seuls les enfants de 9 ans ont un nombre d'arrêts moyen plus important que les adultes ($t(95) = 4.09$, $p = .03$, $d = 0.82$) lors de la première session de la seconde tâche de transfert. Lors de la seconde session de la seconde tâche de transfert, seuls les enfants de 8 ans ont un nombre d'arrêts moyens supérieurs aux adultes ($t(95) = 4.10$, $p = .02$, $d = 1.61$).

Le nombre d'arrêts moyens en phase d'acquisition est significativement inférieur à celui en tâches de transfert toutes sessions confondues (tous les $ps < .001$). Le nombre d'arrêts moyen ne diffère pas entre les deux sessions de la première tâche de transfert ni entre les deux sessions de la seconde tâche de transfert. Cependant, le nombre d'arrêts moyen de la première tâche de transfert est inférieur à celui de la seconde tâche de transfert, que ce soit en première session

($t(95) = -21.25$, $p < .001$, $d = -1.91$) ou en seconde session (sans lever le crayon, $t(95) = -18.64$, $p < .001$, $d = -1.80$).

Résultats chez les individus porteurs d'un TDC

Quatre individus porteurs d'un TDC âgés de 7 ans et 9 mois, de 9 ans et 4 mois, de 10 ans et 10 mois et de 21 ans ont participé à cette étude. Afin d'évaluer leurs capacités à apprendre les pseudo-lettres et à les transférer, nous avons procédé à des comparaisons entre chaque individu et le groupe d'individus au développement typique apparié en âge et en genre. Les informations descriptives des 4 participants porteurs d'un TDC sont présentées dans le Tableau 2. Dans le but de comparer les participants porteurs d'un TDC aux participants au développement typique, nous avons comparé la valeur unique pour chaque tâche et chaque variable avec la moyenne du groupe apparié en âge et en genre à l'aide du logiciel *SingleBayes* (Crawford & Garthwaite, 2007). Le logiciel est disponible sur ce lien :

https://homepages.abdn.ac.uk/j.crawford/pages/dept/Single_Case_Effect_Sizes.htm).

Ce logiciel permet la comparaison des valeurs de cas unique à un groupe normatif en utilisant une méthode statistique bayésienne. En fournissant la valeur unique du participant et la moyenne et l'écart type du groupe apparié, le logiciel propose une estimation bayésienne de la position relative du patient dans la population normale, indiquant une estimation en pourcentage de la population contrôle ayant un score inférieur à la valeur unique du participant, ainsi qu'un intervalle de crédibilité à 95%, et une valeur du p indiquant si le score est différent ou non de la norme de la population contrôle. Une estimation faible (< 5 %) indique que moins de 5 % de la population contrôle à un score inférieur à celui du participant et donc que ce score est très atypique et témoigne d'un déficit probable, alors qu'une estimation haute (> 95 %) indique que le score du participant est supérieur à la norme du groupe contrôle. Par ailleurs, les estimations inférieures à 5 % et supérieures à 95 % étant des critères conservateurs, nous considérerons également les estimations inférieures à 10 % et supérieures à 90 % comme témoignant de performances faibles ou fortes des participants porteurs d'un TDC.

Tableau 2

Caractéristiques des participants porteurs d'un TDC

	Âge	**Genre**	**DM**	**V/A**	**E**	**Total (percentile)**	**MABC-2** ***checklist***	**BHK Score** ***vitesse NS***	**BHK** ***Score total NS***	**ADC**
Étude de cas n°1	7 ans 9 mois	Garçon	14	4	5	7 (16)	7	0.40	0.61	/
Étude de cas n°2	9 ans 4 mois	Garçon	3	2	5	2 (0.5)	23	-1.65	-1.84	/
Étude de cas n°3	10 ans 10 mois	Fille	8	6	6	6 (9)	7	0.54	-3.55	/
Étude de cas n°4	21 ans	Femme	4	/	7	/	/	/	/	46 (17 en section 1)

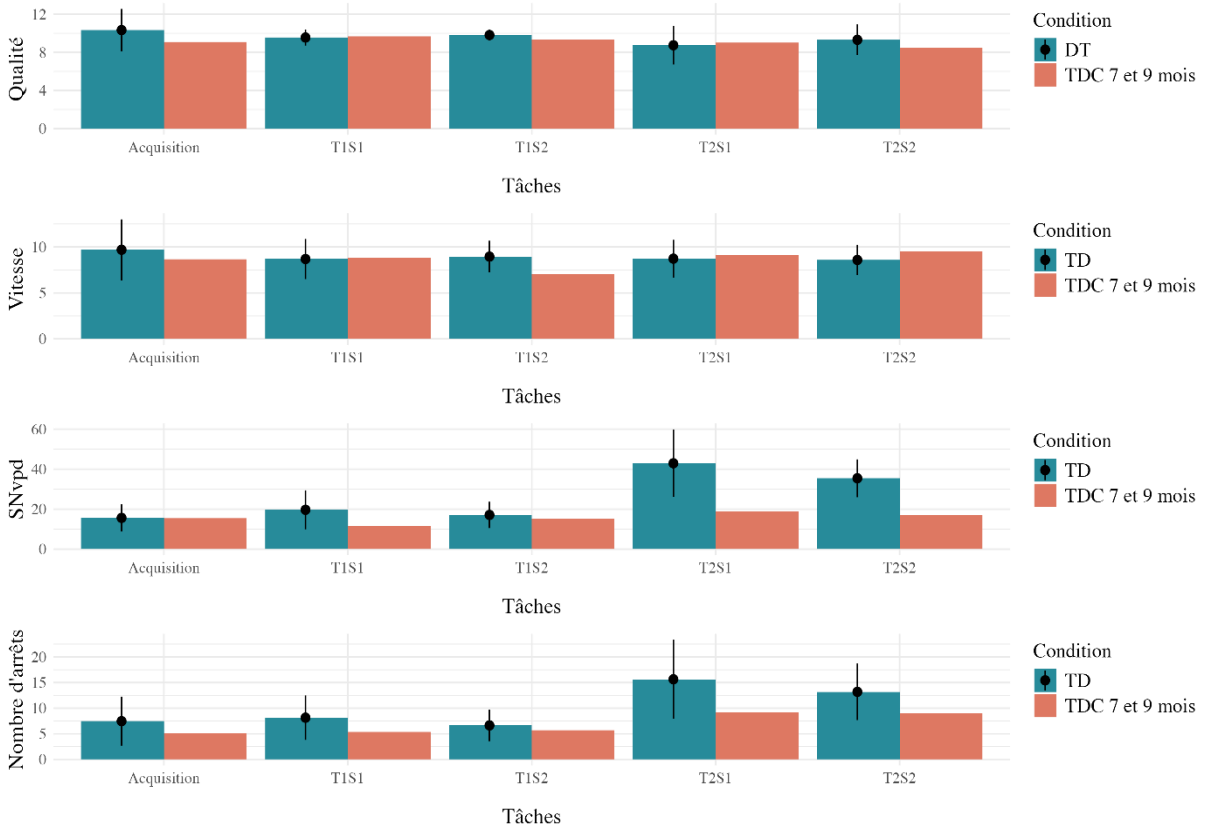
Note. DM = Dextérité manuelle, V/A = Viser & Attraper, E = Equilibre, Total(percentile) = score total au test MABC-2 et score percentile ; NS = Note standard

Étude de cas n° 1 : garçon de 7 ans et 9 mois porteur d'un TDC

Les scores moyens de qualité, de vitesse, de fluidité et du nombre d'arrêts de chacune des tâches pour ce garçon âgé de 7 ans et 9 mois ont été comparés avec la moyenne du groupe apparié en âge et en genre. Ainsi cet enfant de 7 ans et 9 mois a été comparé avec un groupe de 8 garçons au développement typique ($M_{âge}$ = 7.52, $ET_{âge}$ = 0.25). Cet enfant ne présentait pas de dysgraphie (BHK score de vitesse = 0.40 ; BHK score total = 0.61). La représentation graphique des scores de qualité, de vitesse, de fluidité et le nombre d'arrêts sont présentés en Figure 17.

Figure 17

Représentation graphique de la qualité, de la vitesse, de la fluidité et le nombre moyen d'arrêts en fonction des tâches pour le groupe contrôle et l'enfant avec TDC



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon. TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Qualité. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant âgé de 7 ans et 9 mois montre une qualité des tracés dans la norme du groupe, pour la tâche principale et pour les différentes tâches de transfert et sessions.

Vitesse. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant âgé de 7 ans et 9 mois montre une vitesse moyenne dans la norme du groupe, pour la tâche principale et les tâches de transfert et sessions.

Fluidité. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant âgé de 7 ans et 9 mois montre une fluidité dans la norme pour la tâche principale ainsi que pour les deux sessions de la première tâche de transfert. Lors de la seconde tâche de transfert, le participant montre des scores de fluidité dans la norme lors de la première session, et atypiques lors de la seconde session (5.99 % ; IC 95 % [0.07 % ; 26.87 %], p = .05).

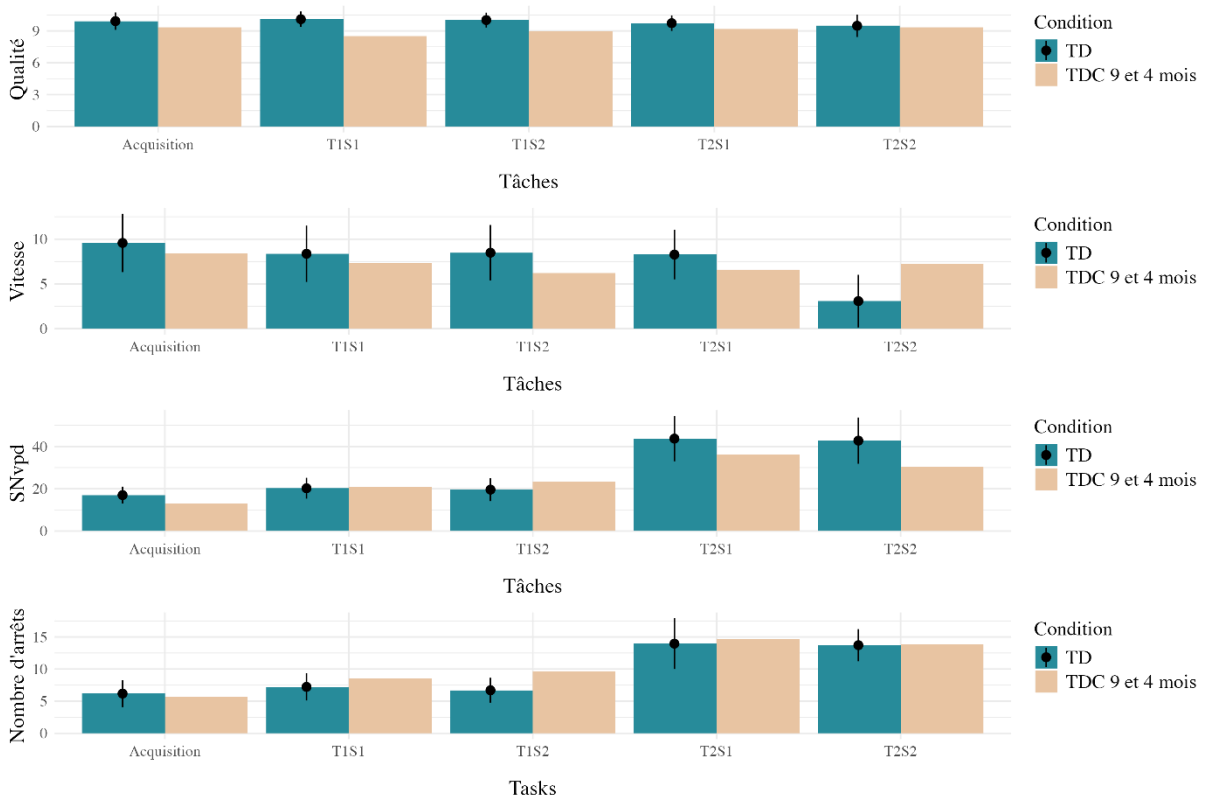
Nombre d'arrêts. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant âgé de 7 ans et 9 mois montre un nombre d'arrêts moyen dans la norme du groupe, pour la tâche principale et les tâches de transfert et sessions.

Étude de cas n° 2 : garçon de 9 ans et 4 mois porteur d'un TDC

Les scores moyens de qualité, de vitesse, de fluidité et du nombre d'arrêts de chacune des tâches pour ce garçon âgé de 9 ans et 4 mois ont été comparés avec la moyenne du groupe apparié en âge et en genre. Ainsi cet enfant de 9 ans et 4 mois a été comparé avec un groupe de 10 garçons au développement typique ($M_{âge}$ = 9.30, $ET_{âge}$ = 0.27). Cet enfant ne présentait pas de dysgraphie (BHK score de vitesse = -1.65 ; BHK score total = -1.84). La représentation graphique des scores de qualité, de vitesse, de fluidité et le nombre d'arrêts sont présentés en Figure 18.

Figure 18

Représentation graphique de la qualité, de la vitesse, de la fluidité et le nombre moyen d'arrêts en fonction des tâches pour le groupe contrôle et l'enfant avec TDC de 9 ans et 4 mois



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon. TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Qualité. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant âgé de 9 ans et 4 mois montre une qualité des tracés dans la norme du groupe en tâche principale. Cependant, les scores de qualité de cet enfant sont atypiques lors de la première session de la première tâche de transfert (nouvelle séquence de segment appris ; 5.23 % ; IC 95 % [0.17 % ; 20.71 %] ; p = .05) et lors de la seconde session (sans lever le crayon, 9.43 % ; I C 95 % [0.84 % ; 28.94 %] ; p = .09). Les scores de cet enfant se situent dans la norme du groupe lors des deux sessions de la seconde tâche de transfert.

Vitesse. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant âgé de 9 ans et 4 mois montre une vitesse moyenne dans la norme du groupe, et ce pour la tâche principale et les tâches de transfert.

Fluidité. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant de 9 ans et 4 mois montre des scores de fluidité dans la norme du groupe apparié en tâche principale. Ses scores de fluidité se situent dans la norme du groupe apparié lors des deux sessions des deux tâches de transfert.

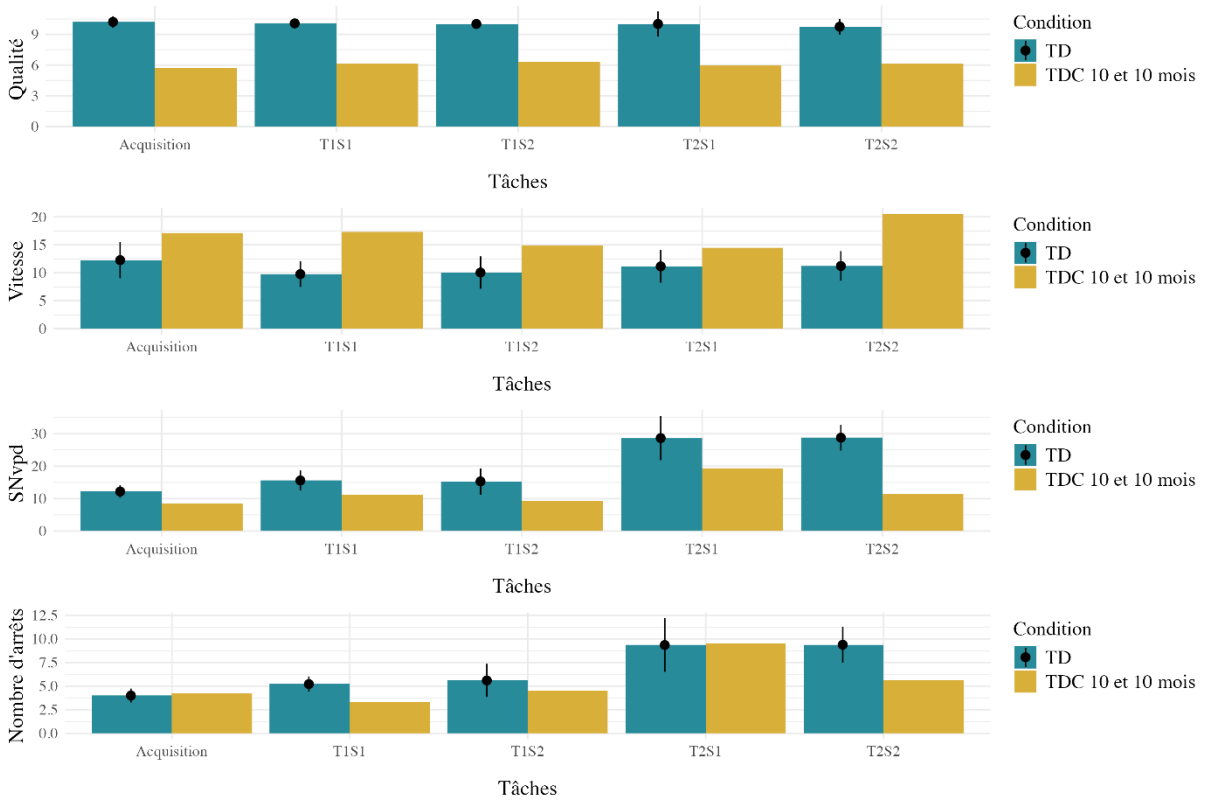
Nombre d'arrêts. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cet enfant de 7 ans et 9 mois montre un nombre moyen d'arrêts dans la norme du groupe pour la tâche principale et les tâches de transfert.

Étude de cas n° 3 : fille de 10 ans et 10 mois porteuse d'un TDC

Les scores moyens de qualité, de vitesse, de fluidité et du nombre d'arrêts de chacune des tâches pour cette fille âgée de 10 ans et 10 mois ont été comparés avec la moyenne du groupe apparié en âge et en genre. Ainsi cet enfant de 10 ans et 10 mois a été comparé avec un groupe de 9 filles au développement typique ($M_{âge}$ = 10.27, $ET_{âge}$ = 0.25). Cette enfant présentait une dysgraphie (BHK score de vitesse = 0.54 ; BHK score total = -3.55). La représentation graphique des scores de qualité, de vitesse, de fluidité et le nombre d'arrêts sont présentés en Figure 19.

Figure 19

Représentation graphique de la qualité, de la vitesse, de la fluidité et le nombre moyen d'arrêts en fonction des tâches pour le groupe contrôle et l'enfant avec TDC de 10 ans et 10 mois



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon. TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Qualité. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cette enfant de 10 ans et 10 mois montre une qualité des tracés déficitaire en tâche principale, ainsi que lors des différentes tâches de transfert et des différentes sessions (estimations < 1 %, tous les *ps* < .001).

Vitesse. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cette enfant de 10 ans et 10 mois montre une vitesse moyenne supérieure à la norme du groupe en tâche principale (97.44 % ; IC 95 % [85.63% ; 99.99 %], p = .02), lors de la première session (99.27 % ; IC 95 % [94.02 % ; 100 %], p = .007) et la seconde session (93.49 % ; IC 95

% [75.17 % ; 99.77 %], p = .06) de la première tâche de transfert, ainsi que pour la seconde session de la seconde tâche de transfert (99.43 % ; IC 95 % [95.11 % ; 100 %], p = .005).

Fluidité. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cette enfant âgée de 10 ans et 10 mois montre des scores de fluidité déficitaires en tâche principale (4.84 % ; IC 95 % [0.09 % ; 20.90 %], p = .04), similaire à la norme lors de la première session de la première tâche de transfert, mais atypique lors de la seconde session (8.40 % ; IC 95 % [0.48 % ; 28.43 %], p = .08). Lors de la seconde tâche, les scores de fluidité en première session sont atypiques (9.60 % ; IC 95 % [0.70 % ; 30.56 %], p = .09), et déficitaires en seconde session (0.31 % ; IC 95 % [0.00 % ; 2.86 %], p = .003).

Nombre d'arrêts. Après comparaison de chacune des tâches avec le groupe apparié en âge et en genre, cette enfant âgée de 10 ans et 10 mois montre un nombre moyen d'arrêts en tâche principale comparable à la norme du groupe apparié. Lors de la première tâche de transfert, cette enfant montre un nombre d'arrêts moyen inférieur au groupe (2.56 % ; IC 95 % [0.009 % ; 14.26 %], p = .02), mais similaire à la norme en session 2. Lors de la seconde tâche de transfert, le nombre d'arrêts moyen est similaire à la norme lors de la première session, mais est inférieur à la norme lors de la seconde session (4.38 % ; IC 95 % [0.06 % ; 19.73 %], p = .04).

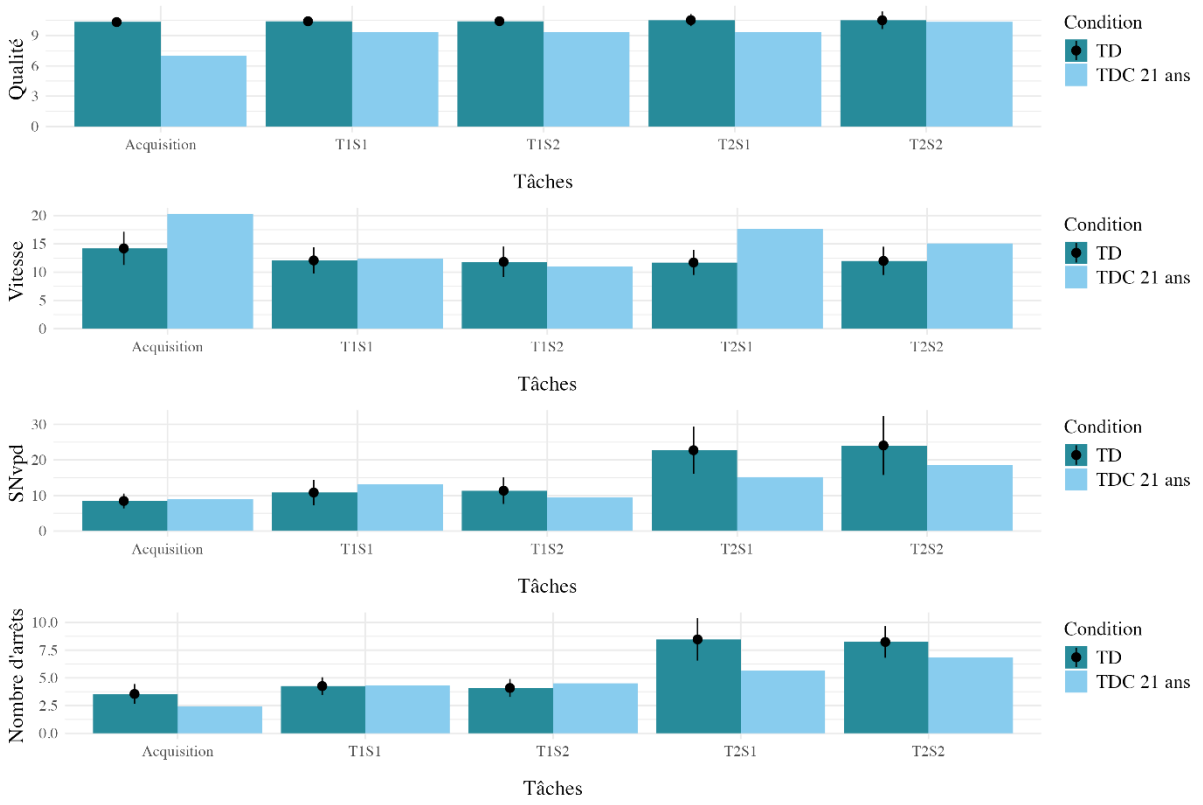
Étude de cas n° 4 : femme adulte âgée de 21 ans porteuse d'un TDC

Cette participante âgée de 21 ans a reçu un diagnostic de TDC pendant l'enfance accompagné d'une intervention ciblée sur ses difficultés d'écriture. Un score de 17 à la section 1 du questionnaire ADC confirme la présence de troubles moteurs durant l'enfance. Elle ne présente pas de comorbidités avec d'autres troubles du neurodéveloppement.

Les scores moyens de qualité, de vitesse, de fluidité et du nombre d'arrêt de chacune des tâches pour cette adulte âgée de 21 ans ont été comparés avec la moyenne du groupe apparié en âge et en genre. Ainsi la participante a été comparée avec un groupe de 21 femmes ne présentant pas de difficultés motrices ni de difficulté d'écriture ($M_{âge}$ = 22.60, $ET_{âge}$ = 7.82). Les représentations graphiques des scores de qualité, de vitesse, de fluidité et le nombre d'arrêts sont présentés en Figure 20.

Figure 20

Représentation graphique de la qualité, de la vitesse, de la fluidité et le nombre moyen d'arrêts en fonction des tâches pour le groupe contrôle et l'adulte avec TDC de 21 ans



Notes. Transfert 1 S1 = nouvelles séquences de segments appris ; Transfert 1 S2 = nouvelles séquences de segments appris, sans lever le crayon ; Transfert 2 S1 = combinaison de séquences connues ; Transfert 2 S2 = combinaison de séquences connues, sans lever le crayon. TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Qualité. Après comparaison des scores moyens de qualité entre le groupe contrôle, les analyses montrent que cette participante a une qualité des tracés inférieure aux participants du groupe contrôle en tâche principale (0.00 %, CI 95 % [0.00 % ; 0.00 %], $p < .001$). Lors de la première tâche de transfert, cette participante a également une qualité des tracés inférieure au groupe contrôle en première session (0.68 %, CI 95 % [0.01 % ; 3.52 %], $p = .006$), et en seconde session (1.91 %, CI 95 % [0.10 % ; 7.45 %], $p = .02$). Lors de la seconde tâche de transfert, la qualité des tracés de cette participante est également inférieure au groupe contrôle

lors de la première session (3.35 %, CI 95 % [0.33 % ; 10.94 %], p = .03), mais pas lors de la seconde session (42.10 %, CI 95 % [26.22 % ; 59.03 %], p = .42).

Vitesse. Les scores moyens de vitesse de cette participante sont supérieurs aux participantes du groupe contrôle en tâche principale (97.24 %, CI 95 % [90.40 % ; 99.78 %], p = .03) ainsi que lors de la première session de la seconde tâche de transfert (transfert de séquences connues, 99.19 %, CI 95 % [95.97 % ; 99.98 %], p = .008).

Fluidité. Les scores de fluidité moyens de la participante sont comparables aux scores des participantes du groupe contrôle en phase d'acquisition et lors des différentes tâches de transfert.

Nombre d'arrêts. Le nombre d'arrêts moyen de la participante sont comparables avec le nombre d'arrêts moyen des participantes du groupe contrôle, en tâche principale et lors des deux sessions de la première tâche de transfert. Cependant, lors de la première session de la seconde tâche de transfert, les scores de la participante sont atypiques (6.60 %, CI 95 % [1.22 % ; 17.26 %], p = .06).

Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer les capacités d'apprentissage et de transfert graphomoteur des enfants et adultes au développement typique et porteurs d'un TDC. À travers un paradigme de tâches isomorphes, les participants devaient apprendre à tracer des pseudo-lettres en phase d'acquisition dans une forme d'entraînement variable, mais limité en intensité (10 répétitions par pseudo-lettres). Puis les participants devaient transférer l'apprentissage des segments appris à travers les pseudo-lettres en phase d'acquisition lors d'une tâche de transfert consistant en la recopie de nouvelles pseudo-lettres composées de nouvelles séquences de segments. Enfin, les participants devaient transférer des séquences apprises lors de la recopie de pseudo-lettres composées de combinaisons de séquences.

Hypothèse 1 : Des performances en phase d'acquisition similaires pour les différentes tranches d'âge chez les participants au développement typique et chez les individus porteurs d'un TDC

Les participants au développement typique, toutes tranches d'âge confondues, montrent des performances similaires lors de la phase d'acquisition, que ce soit pour les variables de qualité des tracés, de vitesse, de fluidité et le nombre d'arrêts. Ceci suggère que, dans un contexte d'entraînement limité, impliquant des processus d'apprentissage moteur rapide (Clark & Ivry, 2010), les enfants âgés de 7 à 10 ans ont des performances comparables à celles des adultes. Cette observation est cohérente avec la littérature existante (Julius & Adi-Japha, 2015).

Cependant, chez les individus porteurs d'un TDC, ces résultats sont plus nuancés. Tous les individus porteurs d'un TDC n'ont pas atteint des performances de qualité des tracés similaires à leurs pairs en phase d'acquisition. Les enfants des études de cas n°1 (7 ans et 9 mois) et n°2 (9 ans et 4 mois) ne présentent pas de dysgraphie, et ont des performances similaires à celles d'enfants au développement typique de leurs âges, comme prédit par les résultats de l'étude d'Adi-Japha et Brestel (2020). Cependant, alors que les enfants porteurs d'un TDC dans l'étude d'Adi-Japha et Brestel (2020) présentaient une fluidité moindre que les enfants au développement typique en phase d'acquisition, cela n'a pas été le cas ici. Les deux enfants âgés de 7 ans et 9 mois et de 9 ans et 4 mois présentent une fluidité, une vitesse et un nombre d'arrêts similaire à ceux de leurs pairs. Ceci indique que ces enfants porteurs d'un TDC, ne présentant pas de dysgraphie, montrent un apprentissage moteur conservé (Bonney et al., 2017 ; Lejeune et al., 2013).

Par ailleurs, l'enfant de l'étude de cas n°3 (10 ans et 10 mois) présente une dysgraphie, et n'a pas atteint les mêmes performances que ses pairs en phase d'acquisition. En effet, la qualité et la fluidité de ces tracés sont moins bonnes et sa vitesse plus importante. Ce dernier résultat est en accord avec des travaux antérieurs qui ont montré une vitesse instantanée du stylo sur le papier plus élevée chez des enfants porteurs d'un TDC, témoignant d'une difficulté à contrôler précisément les gestes de façon fluide (Jolly & Gentaz, 2014 ; Rosenblum et al., 2013 ; Smits-Engelsman et al., 1994). De la même manière, la participante adulte de l'étude de cas n° 4, ayant présenté des difficultés d'écriture pendant l'enfance, montre des performances de qualité des tracés inférieures aux adultes sans TDC et une vitesse plus importante. Ainsi les difficultés graphomotrices associées à la dysgraphie semblent persister chez l'adulte (Biotteau et al., 2019). Ces résultats montrent que les individus porteurs d'un TDC associé à une

dysgraphie présentent un déficit d'apprentissage graphomoteur. Ces résultats vont dans le sens d'autres études montrant que les enfants porteurs d'un TDC présentent un apprentissage de séquences altéré (Gheysen et al., 2011).

Hypothèse 2 : Des difficultés à transférer chez les enfants au développement typique les plus jeunes et chez les individus porteurs d'un TDC

Les enfants de 7 ans au développement typique semblent rencontrer plus de difficultés à transférer leur apprentissage par rapport aux enfants plus âgés et aux adultes. De façon intéressante, la diminution de la vitesse pendant les tâches de transfert a permis aux enfants plus âgés et aux adultes de copier avec succès les nouvelles pseudo-lettres, mais ce ne fut pas le cas pour les enfants de 7 ans, bien que leur vitesse ait également diminué entre la phase d'acquisition et les tâches de transfert. De même, le nombre d'arrêts, un indicateur de la préparation du mouvement (Rosenblum et al., 2013), ne semble pas compenser la difficulté d'adaptation des connaissances aux nouvelles tâches de transfert. Cela est particulièrement évident dans la deuxième tâche de transfert, qui implique une combinaison de pseudo-lettres apprises pendant la phase d'acquisition, pour laquelle la qualité des tracés chute davantage chez les enfants de 7 ans.

La chute de la fluidité et l'augmentation du nombre d'arrêts, malgré un maintien de la vitesse de tracé, chez les enfants de 8 et 9 ans en tâche de transfert semblent montrer que dans la tranche d'âge 8-9 ans, qui correspond à une période de transition entre un mode de contrôle basé sur le retour sensoriel visuel et un mode de contrôle proactif (Meulenbroek & van Galen, 1988 ; Palmis et al., 2017 ; Schmidt et al., 2018 ; Zesiger, 1995), les enfants sont capables d'écrire rapidement, mais au détriment de la fluidité et avec un nombre accru d'arrêts. Ces résultats indiquent que ces enfants réussissent à transférer leur apprentissage, mais que le développement graphomoteur lors du transfert n'est pas linéaire, et que les enfants de 8 à 9 ans subissent une dégradation de la fluidité de l'écriture, même si la qualité des tracés est maintenue. De plus, cette détérioration de la fluidité semble être transitoire, puisque les enfants de 10 ans atteignent les mêmes performances que les adultes en tâche de transfert.

Chez les enfants porteurs d'un TDC, l'enfant de l'étude de cas n°1, qui a atteint les mêmes performances en phase d'acquisition que ses pairs et ne présentant pas de dysgraphie, ne montre pas de plus grandes difficultés lors des différentes sessions des tâches de transfert. Ceci indique que cet enfant présente des capacités de transfert de séquences similaires aux

enfants de 7 ans au développement typique, contrairement aux résultats décrits dans l'étude d'Adi-Japha et Brestel (2020) dans laquelle les enfants porteurs d'un TDC présentaient une chute des performances plus importante que les enfants au développement typique. Par ailleurs, l'enfant de l'étude cas n°2 présente une moins bonne qualité des tracés lors de la première tâche de transfert que les enfants de son âge. Ceci indique que même s'il présente des performances similaires aux enfants de son âge en phase d'acquisition, la représentation créée lors de l'apprentissage initial n'a pas permis le transfert vers de nouvelles combinaisons de segments, témoignant d'une inflexibilité de cette représentation. Cependant, le fait que ses performances lors de la seconde tâche de transfert soient équivalentes à celles des enfants de son âge est contraire à notre hypothèse selon laquelle cette tâche de transfert serait plus difficile car plus lointaine sur le continuum transfert proche / transfert lointain (Klahr & Chen, 2011). En effet, cette tâche de transfert devrait impliquer le transfert de plusieurs ensembles d'unités motrices alors que la première tâche de transfert implique le transfert d'unités motrices simples. Dans la seconde tâche de transfert, bien que les combinaisons de pseudo-lettres demandent un tracé plus long que les pseudo-lettres de la première tâche de transfert, il est possible que la ressemblance visuelle des combinaisons avec les pseudo-lettres apprises lors de la phase d'acquisition, seulement quelques minutes auparavant, ait facilité la récupération en mémoire des programmes moteurs nécessaires à leur exécution.

Enfin, les enfants porteurs d'un TDC n'ayant pas atteint les mêmes performances en phase d'acquisition que leurs pairs présentent plus de difficultés à transférer. Ceci confirme que pour que le transfert soit réussi, l'apprentissage initial doit être suffisamment maîtrisé pour être transféré de façon flexible (Hattie & Donoghue 2016 ; Seidler, 2010).

Ces résultats indiquent que les enfants porteurs d'un TDC, selon s'ils présentent une dysgraphie associée ou non, peuvent créer des représentations motrices en phase d'apprentissage et atteindre des performances de transfert comparables ou moins importantes que les individus au développement typique de leur âge ; ou au contraire peuvent échouer à créer une représentation interne stable lors de l'apprentissage initial, impactant également son transfert. La présence de résultats contradictoires, dans la littérature et dans cette étude, sur la présence ou non d'un déficit d'acquisition des compétences motrices et du transfert chez les enfants porteurs d'un TDC, pourrait s'expliquer par le fait que tous les enfants peuvent ne pas présenter les mêmes déficits moteurs. En effet, le TDC est connu comme étant un trouble très hétérogène, que ce soit sur la diversité des difficultés vécues par les enfants ou sur la sévérité

de ces difficultés, et par la présence de troubles associés (pour une revue, voir Vaivre-Douret et al., 2021). Ainsi, alors qu'un protocole en étude de cas ne permet pas la généralisation des résultats à l'ensemble de la population présentant un TDC, elle présente ici un avantage considérable pour mettre en évidence le fait que l'hétérogénéité des profils peut impacter l'apprentissage et le transfert graphomoteur de façon diverse à travers les individus.

Chapitre 4 : Développement et évaluation d'une application pour l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel chez les enfants au développement typique âgés de 7 à 10 ans.

Résumé :

Ce chapitre présente le développement et l'évaluation d'une application visant à évaluer l'apprentissage et le transfert proche de la stratégie d'autorépétition (Étude 2) et de groupement catégoriel (Étude 3), chez des enfants au développement typique âgés de 7 à 10 ans. Après avoir présenté l'application et ces fonctionnalités, deux études, aux procédures similaires, ont permis d'évaluer l'apprentissage et le transfert des deux stratégies. Ces deux études ont également permis de vérifier si les performances des enfants étaient similaires lors de l'utilisation du support numérique (l'application) et du matériel tangible. Dans l'étude 2, bien que les enfants aient utilisé la stratégie d'autorépétition, cela n'a pas amélioré leurs performances de rappel ni en tâche principale ni en tâche de transfert. En revanche, l'étude 3 a montré que les enfants pouvaient apprendre et transférer la stratégie de groupement catégoriel, malgré une baisse temporaire des performances de rappel en tâche de transfert (t-UD) témoignant d'une difficulté à adapter la stratégie dans une tâche de transfert proche. De plus, cette étude montre que cette chute des performances au rappel en tâche de transfert diminue avec l'âge. Enfin, les résultats montrent que l'utilisation de l'application et du matériel tangible ont mené à des performances similaires dans les deux études.

Communication affichée associée :

Josseron, L., Jolly, C., Clerc, J. (Juin 2023). *Évaluation d'un outil numérique pour l'apprentissage, l'utilisation et le transfert de stratégies mnésiques chez les enfants de 7 à 10 ans* [Poster abstract]. 15e colloque international Piaget-RIPSYDEVE, Genève, Suisse. **PRIX DU POSTER**

Communication orale à venir :

Josseron, L., Jolly, C., Clerc, J. (Juin 2025). *Apprentissage et transfert d'une stratégie de groupement catégoriel chez des enfants âgés de 7 à 10 ans en modalité numérique vs tangible* [Symposium session]. 17e colloque international RIPSYDEVE, Nancy, France.

Dans ce chapitre, nous présenterons le développement d'une application web spécifiquement conçue pour la recherche, afin d'évaluer l'apprentissage et le transfert de deux stratégies de mémorisation : l'autorépétition (Étude 2) et le groupement catégoriel (Étude 3). Cette application propose aux participants des tâches de rappel sériel et de rappel libre, à travers la présentation d'images à mémoriser. Elle a pour objectif de tester la capacité des enfants à mobiliser différentes stratégies mnésiques dans un environnement numérique. L'application intègre également plusieurs fonctionnalités paramétrables, permettant de faire varier les caractéristiques des tâches afin d'adapter les protocoles expérimentaux aux besoins des études.

Après avoir détaillé le développement de l'application ainsi que ses principales fonctionnalités, nous présenterons deux expériences visant à tester son utilisabilité et sa pertinence dans l'évaluation de l'apprentissage et du transfert des stratégies mnésiques chez l'enfant. Ces deux expériences poursuivront deux objectifs principaux : (1) vérifier si les paradigmes expérimentaux proposés permettent aux enfants d'apprendre et de transférer la stratégie d'autorépétition ainsi que la stratégie de groupement catégoriel, afin d'utiliser l'application dans une étude portant chez les enfants porteurs d'un TDC ; (2) comparer les patterns de performances stratégiques et de rappel entre l'utilisation de l'application numérique et l'utilisation d'un matériel tangible, traditionnellement employé dans ce type d'évaluation. Cette approche permettra d'estimer le degré d'équivalence entre l'outil numérique développé et le matériel tangible, et d'identifier d'éventuelles spécificités liées au support utilisé.

Développement d'une application pour l'apprentissage et le transfert de l'utilisation de stratégies de mémorisation

Développement

L'application *StratégiesMnésiques* est une application web que nous avons développée en collaboration avec des développeurs informatiques afin de proposer un entraînement et d'évaluer l'apprentissage, l'utilisation et le transfert de stratégies de mémorisation chez l'enfant. L'application est disponible sur ce site web : https://laureenjosseron.gitlab.io/applimemorystrategies/.

Il est possible de l'utiliser en accédant directement au lien précédent, ainsi que de la télécharger via le lien suivant pour l'installer et l'utiliser en local, et en faire des modifications : https://gitlab.com/LaureenJosseron/applimemorystrategies

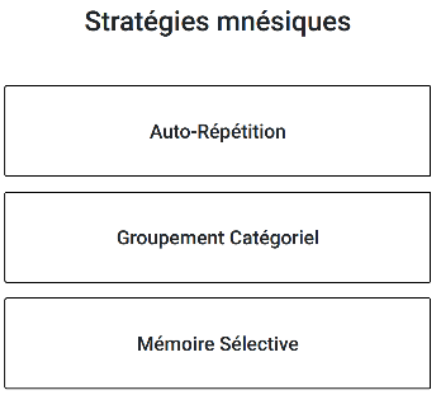
L'application a été développée avec l'infrastructure de développement Angular, et le langage TypeScript. Ce type de conception d'application web est populaire et accessible, ce qui permettra à de nombreux autres utilisateurs d'apporter des modifications à l'application, et notamment les items qui seront présentés, dans un but de recherche ou pédagogique.

Structure de l'application

L'application permet d'évaluer 3 stratégies de mémorisation : la stratégie de groupement catégoriel, la stratégie d'autorépétition et la stratégie d'attention sélective. Le menu principal de l'application est présenté en Figure 21, il permet d'accéder aux fonctionnalités des stratégies disponibles. Nous présenterons en détail les modules Autorépétition et Groupement Catégoriel, mais du fait que la stratégie mémoire sélective n'a pas été utilisée dans cette thèse nous ne présenterons pas en détail ce module.

Figure 21

Menu principal de l'application présentant 3 modules



La stratégie d'autorépétition

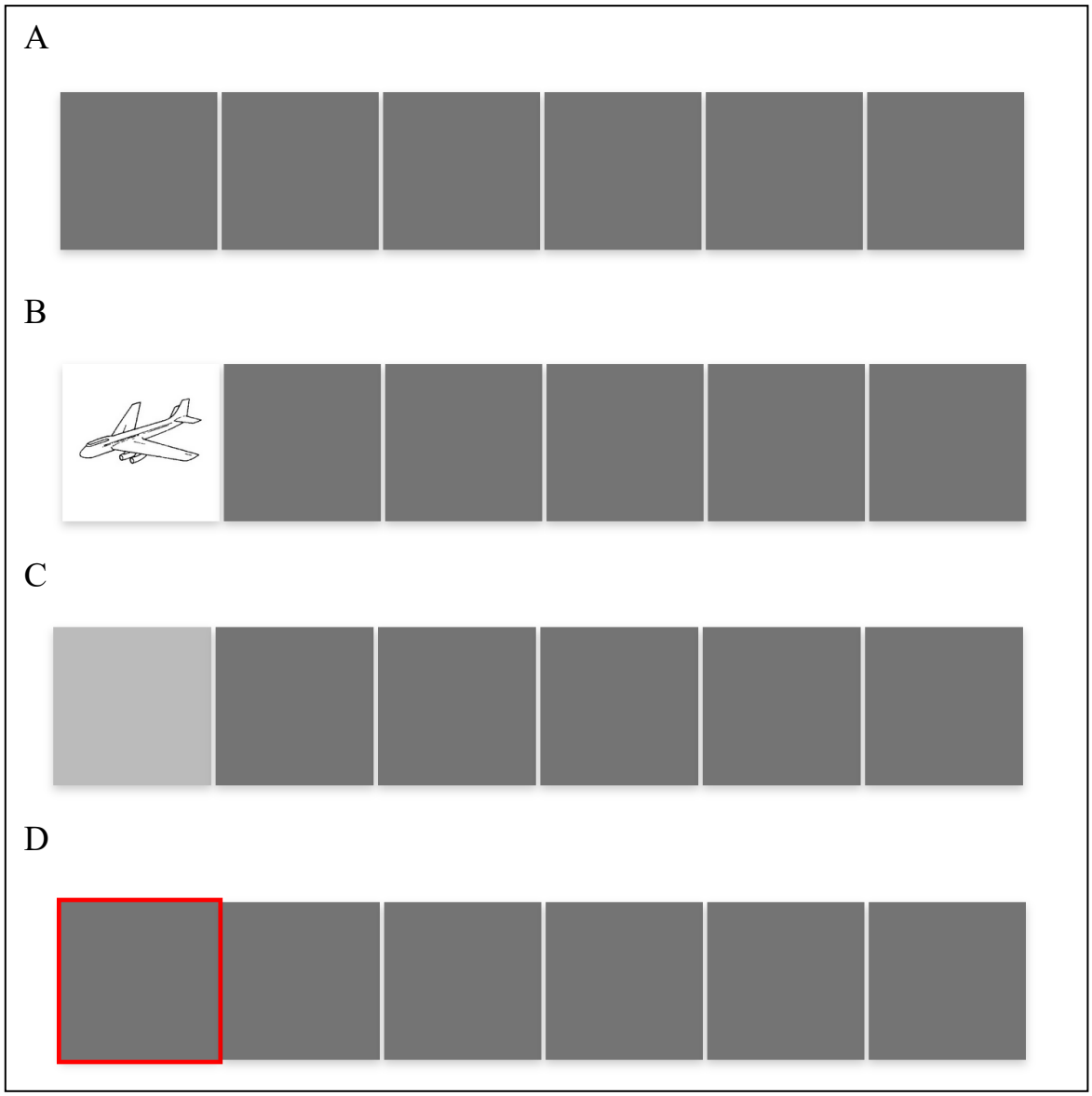
Le module Autorépétition permet d'afficher des images successivement afin de les présenter aux participants ou de mesurer leur utilisation de la stratégie d'autorépétition dans une tâche de rappel sériel. En entrant dans le module Autorépétition il est possible de choisir parmi 5 ensembles d'images : deux ensembles appelés Familiarisation et 3 ensembles correspondant à 3 listes. L'ensemble Familiarisation 1 permet de présenter seulement 2 images et l'ensemble Familiarisation 2 permet de présenter seulement 3 images. Ces deux ensembles

d’images ont été conçus pour réaliser des essais de familiarisation de la tâche de rappel sériel dans le but de familiariser les participants aux consignes présentées par l’expérimentateur.

En choisissant parmi les 3 ensembles d’items appelés Liste 1, Liste 2 et Liste 3, l’application présentera 3 ensembles de 6 images prédéfinis, mais les utilisateurs de l’application peuvent modifier les images de chaque liste une fois l’application installée. Peu importe le choix de l’un des ensembles d’images (Familiarisations ou Listes), l’ensemble des images sera toujours présenté à l’écran les unes à côté des autres en ligne face cachée (voir Figure 22A pour un exemple avec la présentation de 6 images).

Figure 22

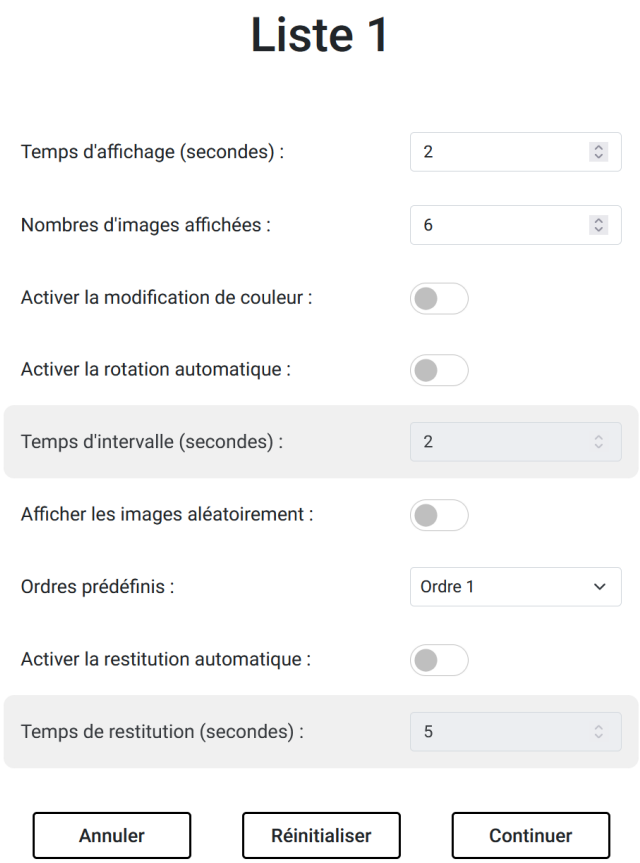
Présentation de 6 items dans le module Autorépétition



Note. A : Toutes les images sont présentées faces cachées. B : La première image est présentée face visible. C : L'activation de la couleur permet d'identifier l'image qui a déjà été montrée face visible. D : La fonctionnalité Restitution automatique permet de désigner l'image à rappeler une fois que toutes les images ont été présentées faces visibles.

Figure 23

Menu des fonctionnalités du module Autorépétition



Pour chaque liste d'images sélectionnées, l'utilisateur a la possibilité de modifier plusieurs fonctionnalités (voir Figure 23) :

1. Temps d'affichage (secondes) : permets de sélectionner le temps en secondes d'affichage des images. Pour un temps d'affichage de 2 secondes, la première image sera face visible pendant 2 secondes puis se retournera face cachée (voir Figure 22B).
2. Nombre d'images affichées : cette fonctionnalité permet de choisir le nombre d'images à afficher ; par défaut, le nombre maximum d'images à afficher est de 6, mais l'utilisateur peut augmenter le nombre d'images en passant par le code source de l'application.
3. Activation de la couleur : La face cachée de toutes les images correspond à un carré gris, cette fonctionnalité permet de modifier la couleur lorsqu'une image a déjà été montrée face visible, ainsi une fois retournée elle apparaîtra dans une couleur plus claire,

notifiant le participant que cette image a déjà été retournée et donc le nombre d'images restant à visualiser (voir Figure 22C).

4. Activer la rotation automatique : Si cette fonctionnalité n'est pas activée, alors lorsque les images sont présentées à l'écran, l'utilisateur pourra cliquer sur l'image qu'il souhaite retourner, et l'image restera face visible le temps désigné par la fonctionnalité Temps d'affichage, puis se retournera face cachée. L'utilisateur peut également cliquer sur une autre image pour retourner face cachée la précédente et retourner face visible la nouvelle image choisie. Si cette fonctionnalité est activée, alors les images se retourneront face visible automatiquement les unes après les autres de la gauche vers la droite, elles resteront face visible le temps définit par la fonctionnalité 1.
5. Temps d'intervalle (secondes) : Pour modifier cette fonctionnalité, la fonctionnalité précédente (Activer la rotation automatique) doit être activée, cette fonctionnalité permet de définir le temps en seconde s'écoulant entre le moment où une image est retournée face cachée et où l'image suivante se retourne face visible.
6. Afficher les images aléatoirement : Cette fonctionnalité permet d'afficher les images de la liste dans un ordre aléatoire.
7. Ordres prédéfinis : Cette fonctionnalité permet de choisir l'ordre dans lequel seront affichées les images. À ce jour, 6 ordres sont prédéfinis pour l'affichage de 6 images uniquement.
8. Activer la restitution automatique : Cette fonctionnalité permet d'ajouter un cadre rouge à chaque image successivement une fois que toutes les images ont été présentées faces visibles. Ce cadre permet, lors de la phase de rappel, de désigner l'emplacement de l'image à restituer par le participant (voir Figure 22D).
9. Temps de restitution (secondes) : Pour modifier cette fonctionnalité, la fonctionnalité précédente doit être activée. Cette fonctionnalité permet de définir le temps d'affichage du cadre rouge désignant l'emplacement de l'image à rappeler pendant la restitution.

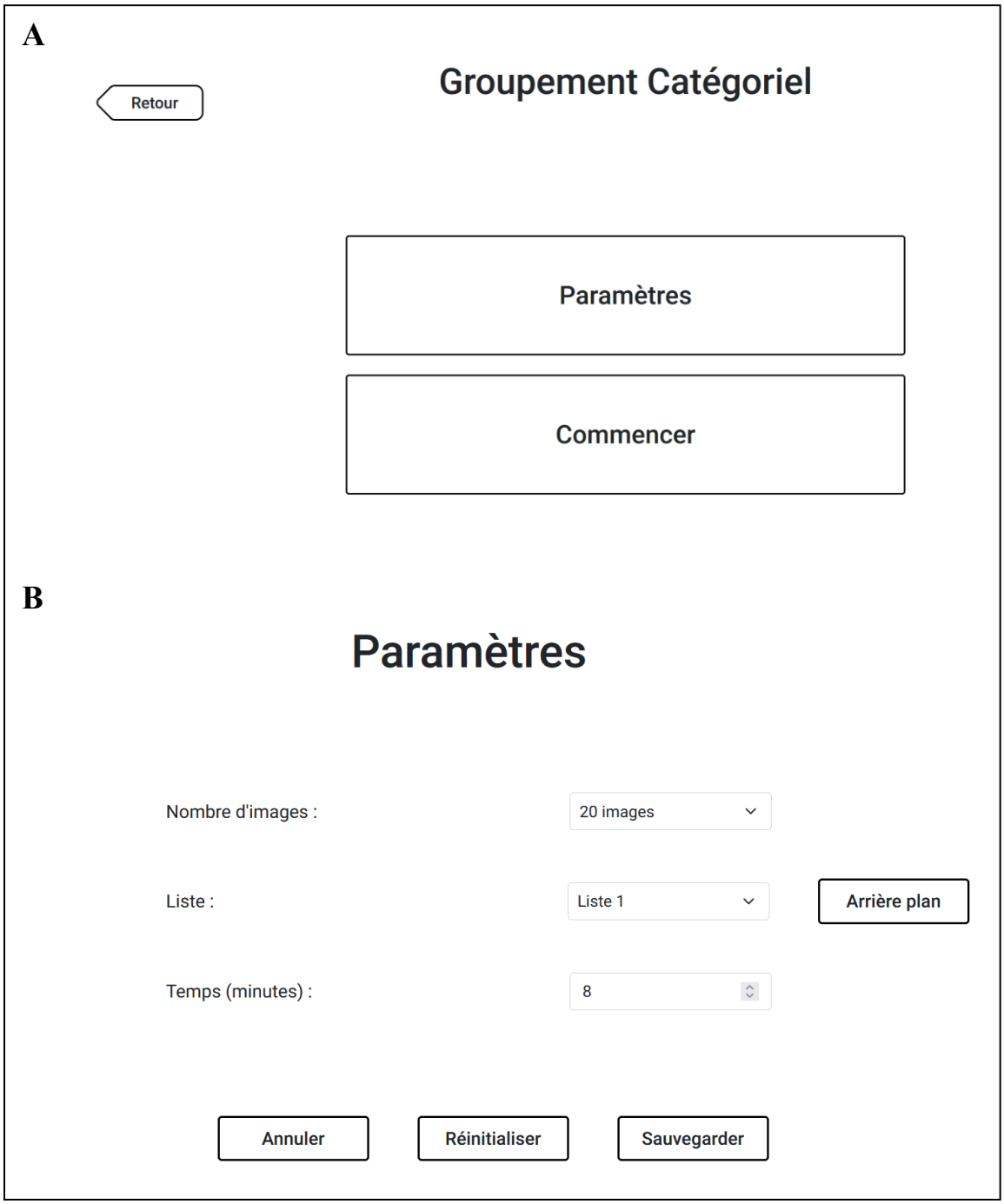
Une fois que l'utilisateur a défini les fonctionnalités, il peut soit réinitialiser ses choix, soit cliquer sur continuer pour faire apparaître les images sur l'écran. Pour sortir de l'écran d'affichage des images, l'utilisateur doit utiliser le bouton Echap de son clavier et cliquer sur Quittez, il peut également cliquer sur retour pour rester sur l'écran d'affichage des images.

La stratégie de groupement catégoriel

Le module Groupement Catégoriel permet d'afficher des ensembles d'images afin de mesurer leur utilisation de la stratégie de groupement catégoriel dans une tâche de rappel libre. En entrant dans le module Groupement Catégoriel (Figure 24A) il est possible de définir plusieurs fonctionnalités de la tâche en cliquant sur Paramètres et d'afficher les images en cliquant sur Commencer. Le bouton Retour permet de revenir au menu principal.

Figure 24

Menu principal du module Groupement Catégoriel et menu des paramètres



Notes. A : Menu principal du module Groupement Catégoriel. B : Menu des paramètres du module Groupement Catégoriel.

L'ensemble des paramètres de la tâche de Groupement Catégoriel sont présentés en Figure 24B :

1. Nombre d'images : Cette fonctionnalité permet à l'utilisateur de choisir le nombre d'images qui seront présentées. À ce jour, il est possible de choisir 5 possibilités (8, 12, 16, 20 ou 24 images), voir Figure 25 pour la présentation de 20 images.
2. Liste : Cette fonctionnalité permet à l'utilisateur de choisir la liste d'images qui sera présentée. À ce jour, 2 listes d'images de familiarisation (de chacune 8 images) et 3 listes de 20 images sont définies dans l'application. Il est possible de modifier et d'ajouter ou de retirer des images en passant par le code source de l'application.

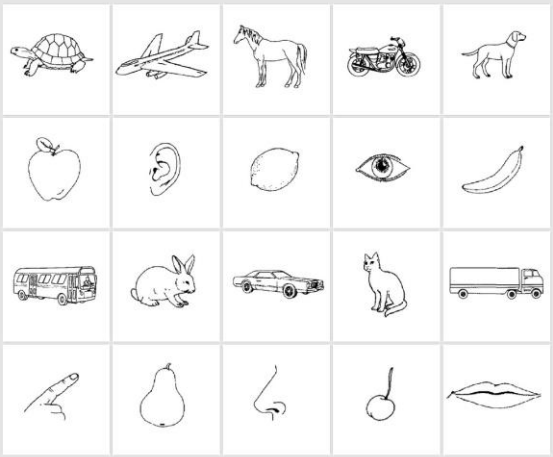
   Le bouton Arrière-plan, s'il est activé, permet d'afficher l'arrière-plan lors de la présentation des images. Cette fonctionnalité a été ajoutée dans le but de faire varier le contexte digital de présentation de la tâche. À ce jour, un seul arrière-plan est défini et correspond à des objets et un personnage, mais l'arrière-plan peut être modifié par l'utilisateur en passant par le code source de l'application.
3. Temps (minutes) : Cette fonctionnalité permet de définir le temps en minutes de présentation des images.

Une fois que l'utilisateur a défini les fonctionnalités, il peut soit réinitialiser ses choix, soit cliquer sur Sauvegarder. Cliquer sur sauvegarder permet un retour vers le menu du module Groupement Catégoriel, l'utilisateur peut alors cliquer sur Commencer pour débuter la tâche. L'utilisateur peut alors entrer le nom ou le code d'anonymat du participant, et choisir ou non de Commencer l'enregistrement. Cette fonctionnalité permet de commencer l'enregistrement vidéo de l'écran pendant la réalisation de la tâche par le participant. L'utilisateur peut alors cliquer sur Valider pour afficher les images et commencer la tâche.

Pour sortir de l'écran d'affichage des images, l'utilisateur doit utiliser le bouton Echap de son clavier et cliquer sur Quittez, il peut également cliquer sur retour pour rester sur l'écran d'affichage des images (voir Figure 25 pour la présentation de 20 images).

Figure 25

Présentation de 20 images du module Groupement Catégoriel



Pendant la présentation des images, il est possible de déplacer les images individuellement sur une grille dissimulée (voir Figure 26) pour laquelle chacune des cases est identifiée par un index. Les déplacements peuvent être réalisés à l'aide de la souris en utilisant le glisser-déposer (maintien de l'image jusqu'à l'emplacement voulu sur la grille) ou le cliquer-déposer (cliquer sur l'image et cliquer sur l'emplacement voulu sur la grille). Le déplacement peut également être fait sur un écran tactile de la même manière.

Figure 26

Grille des index du module Groupement Catégoriel

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11

Une fois que l'essai est terminé, le retour au menu peut être fait de façon automatique si le temps défini par la fonctionnalité Temps (minutes) est écoulé, ou l'utilisateur peut utiliser le bouton Echap du clavier de l'ordinateur avant que le temps ne soit écoulé. Le bouton retour permet de rester sur l'écran d'affichage des images, le bouton Quitter permet le retour au menu du module Groupement Catégoriel, et le bouton Sauvegarder et Quitter permet le retour au menu du module et de sauvegarder les données enregistrées de l'essai.

En cliquant sur le bouton Sauvegarder et Quitter le retour au menu s'accompagne du téléchargement de plusieurs fichiers de données :

1. Une capture d'écran de la dernière disposition des images (au format PNG).
2. Un fichier récapitulant tous les déplacements de la souris, et les clics sur l'écran avec le temps en secondes, les coordonnées x et y et la pression exercée lors d'un appui (au format XLS).
3. Un fichier récapitulatif des déplacements des images contenant chaque déplacement avec les index de l'emplacement de départ et d'arrivée, le temps mis pour effectuer le déplacement, ainsi que le temps entre deux déplacements (au format JSON).

4. Un enregistrement vidéo de l'ensemble des activités réalisées sur l'écran pendant la tâche.

Introduction Études 2 et 3 – Test de l'application pour l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel

Les stratégies sont des procédures ou un ensemble de procédures, contrôlées, orientées vers un but et cognitivement coûteuses. Les stratégies sont implémentées délibérément par les individus. En particulier, les stratégies de mémorisation sont des stratégies permettant d'améliorer les performances mnésiques dans une tâche donnée. Elles sont particulièrement importantes dans le développement de la mémorisation volontaire chez l'enfant (Bjorklund et al., 2009). Les stratégies de mémorisation sont nombreuses, mais nous nous intéresserons à deux stratégies en particulier que sont la stratégie de d'autorépétition et la stratégie de groupement catégoriel.

La stratégie d'autorépétition consiste en la répétition, à voix haute ou non, des éléments d'une liste d'items à mémoriser dans leur ordre d'apparition (Oberauer, 2019). Cette stratégie permet de maintenir les items à mémoriser en mémoire de travail dans une tâche de rappel sériel. L'âge d'apparition de la stratégie d'autorépétition ne fait pas encore consensus dans la littérature, il est traditionnellement admis que cette stratégie se développe entre 6 et 8 ans (Schneider et al., 2004), mais une récente étude montre une utilisation de cette stratégie et son bénéfice au rappel dès l'âge de 4 ans (Attout & Monier, 2023). Par ailleurs, la stratégie de groupement catégoriel est une stratégie qui consiste à organiser des informations en catégories afin de faciliter leur mémorisation. Cette stratégie repose sur deux processus essentiels de la cognition qui sont la capacité de catégorisation et la mémoire de travail (Schneider et al., 1986). Dans la littérature il est estimé que les enfants sont capables d'utiliser la stratégie de groupement catégoriel dès l'âge de 7 – 8 ans (Bjorklund et al., 1992).

Par ailleurs, le transfert des apprentissages est essentiel pour le développement, permettant aux enfants de réutiliser leurs connaissances dans de nouvelles tâches qu'ils pourraient rencontrer dans leur vie quotidienne et scolaire. En effet, les stratégies mnésiques sont particulièrement utilisées dans les activités académiques (Bjorklund et al., 2009 ; Schneider & Pressley, 1997). Ainsi, évaluer la capacité des enfants à apprendre et à transférer des stratégies mnésiques est particulièrement important. Plusieurs études ont porté sur le transfert de

différentes stratégies de mémorisation (Gruenenfelder & Borkowski, 1975 ; Schneider et al., 2004). Une étude récente montre qu'un entraînement à la stratégie d'autorépétition permet le transfert de cette stratégie vers une nouvelle tâche chez des enfants âgés de 6 à 9 ans (Chan et al. (2019). De la même manière, des études ont montré que le transfert proche de la stratégie de groupement catégoriel dans des tâches de rappel libre est possible chez des enfants âgés de 8 à 11 ans (Schleepen & Jonkman, 2014) et chez des enfants âgés de 5 à 7 ans (Clerc et al., 2021). En effet, dans ces deux études, seuls les items variaient entre la tâche principale et la tâche de transfert, ce qui correspond, selon le modèle de Klahr et Chen (2011), à un changement portant uniquement sur les éléments de surface de la tâche et donc à un transfert proche.

De façon intéressante, l'étude de Clerc et collaborateurs (2021) montre que les enfants peuvent effectivement transférer la stratégie, mais pas toujours son bénéfice au rappel. En effet, dans cette étude, les auteurs proposent le concept de t-UD pour décrire ce phénomène (la t-UD est présentée plus en détail dans le Chapitre 1). La t-UD correspond à un cas particulier de déficience d'utilisation (UD pour *Utilization Deficiency*), initialement proposée par Miller (Miller, 1990 ; Miller et Seier, 1994) : cela consiste en la production correcte, mais inefficace d'une stratégie cognitive dont l'utilisation reste très demandeuse en ressources cognitives, ne laissant que peu de ressources disponibles pour la mémorisation des items. Dans le cas du transfert, la t-UD correspond à une déficience d'utilisation due spécifiquement au passage de la tâche principale à la tâche de transfert. En effet, transférer ses apprentissages vers une nouvelle tâche nécessite d'adapter les connaissances apprises initialement aux nouvelles contraintes de la tâche de transfert (Nokes, 2009 ; Schwartz et al., 2012). Cette demande d'adaptation mènerait à une augmentation de la charge cognitive et donc, de la même manière qu'avec la déficience d'utilisation en dehors de tout transfert (Miller, 1990), ne laisserait que peu de ressources pour la mémorisation des items *per se* (Clerc et al., 2014). De plus, même si le transfert des apprentissages vers une nouvelle tâche très dissimilaire à la tâche principale (i.e. transfert lointain) est difficile chez les enfants (Sala & Gobet, 2016), la t-UD a été observée dans un paradigme de transfert proche pourtant réputé faciliter le transfert (Barnett & Ceci, 2002 ; Klahr & Chen, 2011).

Dans les deux études suivantes, nous investiguerons l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition (Étude 2) et de groupement catégoriel (Étude 3) dans un paradigme de transfert proche chez des enfants âgés de 7 à 10 ans. Les stratégies seront présentées aux enfants à l'aide d'un *prompt*, c'est-à-dire que les enfants ne seront pas entraînés aux stratégies,

mais le *prompt* de la stratégie permettra de montrer aux enfants comment effectuer la stratégie (Bjorklund et al., 1997). L'objectif principal de ces deux études sera d'investiguer l'apprentissage et le transfert des enfants à travers une large tranche d'âge, et de voir si le phénomène de t-UD apparaît également chez des enfants plus âgés que ceux présents dans l'étude de Clerc et collaborateurs (2021) lors du transfert de la stratégie d'autorépétition (Étude 2) et lors du transfert de la stratégie de groupement catégoriel (Étude 3).

Ainsi, après nous être assurés que la stratégie d'autorépétition (Étude 2) et de groupement catégoriel (Étude 3) en tâche principale est utilisée par les enfants et qu'elle est bénéfique au rappel, nous évaluerons leurs capacités à transférer la stratégie. Ainsi, nous faisons également l'hypothèse que l'analyse conjointe des scores de rappel et des scores stratégiques mettra en évidence une t-UD lors du passage entre la tâche principale et la tâche de transfert, c'est-à-dire, un maintien des performances stratégiques, mais une chute des performances de rappel, témoignant d'une charge cognitive importante lors de l'adaptation de la stratégie à une nouvelle tâche. De plus, nous faisons l'hypothèse d'un rebond des performances de rappel après le premier essai de tâche de transfert, témoignant d'une adaptation à cette nouvelle tâche. À notre connaissance cette hypothèse n'a pas été testée dans la littérature et nous permettra d'en apprendre plus sur l'évolution des performances de rappel après le transfert des stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel.

Par ailleurs, alors que l'utilisation des outils numériques a augmenté considérablement dans les pratiques pédagogiques, de nombreuses études se sont intéressées à l'efficacité de ces outils (Xie et al., 2018). Cependant, peu d'études ont comparé directement l'utilisation d'un outil numérique à celle d'outils traditionnels papier-crayon (i.e. tangibles) sur les performances des participants. Quelques travaux mettent en évidence un avantage des outils numériques, en particulier en ce qui concerne la motivation des apprenants et leur engagement dans la tâche, en rendant l'apprentissage plus attractif (Dennis, 2004 ; Faber et al., 2017 ; Kandukoori et al., 2024), tandis que d'autres études suggèrent plutôt un avantage des outils papier, pour la compréhension de texte notamment (Froud et al., 2024). Ainsi, dans les deux expériences suivantes nous chercherons à comparer les performances stratégiques et de rappel dans l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition (Étude 2) et de groupement catégoriel (Étude 3), en comparant l'utilisation de l'application numérique que nous avons développée et présentée plus haut à celle de matériel tangible traditionnellement utilisé dans ce type de recherche (Clerc & Miller, 2021 ; Schleepen & Jonkman, 2014).

Étude 2

Méthode Étude 2

Participants

Soixante-sept participants âgés de 7 à 10 ans ont été répartis aléatoirement entre la condition tangible (N = 33, $M_{âge}$ = 8.58 ans, $ET_{âge}$ = 1.09 ans, 20 filles) et la condition numérique (N = 43, $M_{âge}$ = 8.91 ans, $ET_{âge}$ = 1.06 ans, 28 filles). Les enfants ont été rencontrés dans plusieurs écoles de la région Grenobloise avec l'accord de l'académie de Grenoble, ainsi qu'au sein de la structure PupilLab de Grenoble, une plateforme de recherche dépendante du pôle pilote Pégase (Pôle pilote de formation des enseignants et de recherche pour l'éducation), visant à accueillir des enfants volontaires et leur famille pour participer aux recherches sur l'éducation. Un questionnaire réalisé auprès des familles des participants a permis de vérifier que les enfants ne présentaient pas de troubles du neurodéveloppement, d'affection neurologique ou motrice, présentaient une vue normale ou corrigée à la normale, et parlaient le français couramment. Les familles des participants ont reçu un formulaire de consentement et ont donné leur accord pour que leur enfant participe à cette étude. Cette étude a reçu un avis favorable du comité éthique de l'Université Grenoble Alpes (CERGA-Avis-2022-9).

Matériel

Conditions tangible et numérique. Dans la condition tangible, les items sont présentés sur des cartes plastifiées de 5x5 cm. Dans la condition numérique, les items sont présentés à travers l'application *StratégiesMnésiques* présentée sur un écran tactile ASUS© ZenScreen Touch MB16AMT de 15,6'', disposé à plat devant l'enfant. Les 6 items d'une même liste sont présentés en ligne, et apparaissent les uns après les autres (voir Figure 27, pour la présentation du premier item). Chaque item est présenté pendant 2 secondes, et l'intervalle entre l'apparition de deux items est de 2 secondes également.

Figure 27

Présentation du premier item pour un essai dans la condition numérique



Images. Les deux listes de 6 images ainsi que les normes associées sont disponibles en Annexe 2. Tous les noms des images sont bisyllabiques. Les images des deux listes ont été sélectionnées dans la base de données de Snodgrass & Vanderwart (1980), les normes pour l'accord du nom, l'accord de l'image, la familiarité conceptuelle, la complexité visuelle et la variabilité sont tirées des normes chez les participants français (Alario et Ferrand, 1999). L'âge d'acquisition des noms des images a été évalué par Chalard et collaborateurs (2003) chez des participants français. Le Manulex (Lété et al., 2004) a été utilisé pour estimer la fréquence des noms des images. Nous avons également porté une attention particulière à la construction des listes d'images afin d'éviter une similarité phonologique entre les noms des images. Les listes 1 et 2 ont été contrebalancées entre la tâche principale et la tâche de transfert. L'ordre d'apparition des items est contrebalancé entre les essais.

Procédure

Les différentes étapes de la procédure sont présentées en Figure 28. Tous les enfants ont été reçus individuellement et ont réalisé l'ensemble des étapes de la tâche en une seule séance d'environ 40 minutes. Pour chaque essai, l'enfant doit effectuer une tâche de rappel sériel. Une liste de 6 images lui est présentée soit sur l'écran soit sur des cartes selon la condition. Une phase d'encodage permet à l'enfant d'observer les images qui apparaissent les unes à la suite des autres pendant 2 secondes et avec un intervalle de 2 secondes entre chaque image. Lorsque toutes les images ont été dévoilées, l'enfant doit rappeler le plus d'images possible dans leur ordre d'apparition.

Dénomination. Une tâche de dénomination a permis de s'assurer que les enfants connaissaient toutes les images qui seraient présentées lors des différents essais. Si un enfant nommait une image différemment de ce qui était attendu, l'expérimentateur lui fournissait le

nom correct. À la fin de la tâche de dénomination, l'expérimentateur demandait à l'enfant de renommer toutes les images mal identifiées afin de vérifier le nom de l'item.

Familiarisation. À la suite de la tâche de dénomination, un essai de familiarisation était proposé pour présenter les consignes à l'enfant. Cet essai de familiarisation comprenait soit 2 (pour les enfants de 7 à 8 ans), soit 3 images (pour les enfants de 9 à 10 ans). Il était également demandé aux enfants de penser à voix haute pendant la phase d'encodage afin d'avoir accès aux comportements spontanés de répétitions lors de la mémorisation des items.

Tâche principale. Plusieurs essais sont présentés en tâche principale :

Pré-test. La tâche est présentée comme un jeu dans lequel l'enfant devra retenir le plus d'images possible et rappeler les images dans l'ordre de présentation. Lors de deux essais de pré-test, les images sont présentées à l'enfant une par une puis immédiatement retournées (encodage), puis sont laissées devant l'enfant face cachée et l'enfant doit alors rappeler le plus d'images possible dans le même ordre de présentation. Ces deux premiers essais de pré-test permettent d'évaluer l'utilisation spontanée de la stratégie d'autorépétition par les enfants, sans qu'aucun indice sur l'utilisation de cette stratégie ne lui soit donné.

Démonstration de la stratégie d'autorépétition. L'expérimentateur explique puis montre l'utilisation de la stratégie à l'enfant. On demande à l'enfant de répéter à voix haute et de façon cumulative les noms des images au fur et à mesure de leur apparition. Par exemple dans le cas de la liste 2, si la première image affichée est le vélo alors l'expérimentateur dit « vélo », lorsque la deuxième image s'affiche, l'expérimentateur répète « vélo, bouton », lorsque la troisième image s'affiche l'expérimentateur répète « vélo, bouton, chapeau » et ce jusqu'à ce que les 6 images aient été présentées.

Prompt. L'enfant est invité à utiliser la stratégie d'autorépétition seul lors de deux essais. Si l'enfant exécute mal la stratégie lors du premier essai de prompt, alors elle lui est rappelée avant de commencer le second essai. Si l'enfant utilise déjà la stratégie spontanément, l'examinateur présente la stratégie de la même manière puis l'enfant réalise les deux essais. La liste d'images présentée lors des deux essais de prompt est la même que celle présentée lors des deux essais de pré-test.

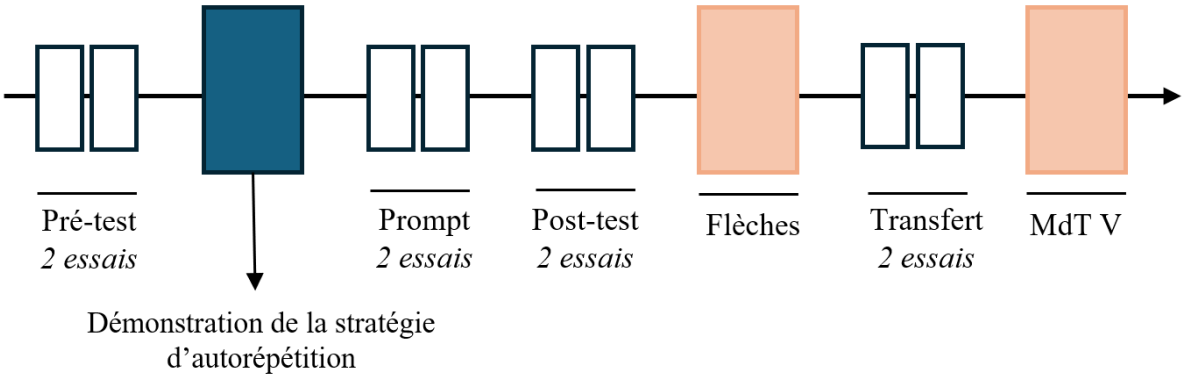
Post-test. Les items sont à nouveau présentés à l'enfant sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser. La liste d'images présentée lors des deux essais de post-test est la même que celle présentée lors des deux essais de pré-test et de prompt.

Tâche de transfert. Une nouvelle liste d'images est présentée à l'enfant lors de deux essais, sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser**.** Ce changement unique des caractéristiques de la tâche en tâche de transfert, permet de caractériser ce transfert comme proche sur le continuum transfert proche / transfert lointain (Klahr & Chen, 2011).

Tests neuropsychologiques. L'examinateur a ensuite administré le subtest *Flèches* de la batterie NEPSY-II (Korkman et al., 2007) dans le but d'évaluer la perception visuospatiale des participants entre la tâche principale et la tâche de transfert. Enfin, le subtest *Mise à jour en mémoire verbale* de la batterie F.E.E. (Roy et al., 2021) a été administré en fin de passation dans le but d'évaluer la mémoire de travail verbale et la mise à jour en mémoire de travail des participants. Ces tests ont été administrés, mais leurs résultats ne seront pas présentés dans ce travail de thèse.

Figure 28

Schéma de la procédure



Note. MdT V = Test de mémoire de travail verbale

Résultats de l'Étude 2

Les analyses porteront tout d'abord sur la différence entre les conditions tangible et numérique afin de répondre à l'objectif principal de cette étude. Puis les analyses porteront sur

l'évolution des performances stratégiques et de rappel en tâche principale, afin de s'assurer que les enfants maîtrisent la stratégie, puis les analyses porterons sur les performances stratégiques et de rappel à travers les deux essais en tâche de transfert. Les performances stratégiques et de rappel en fonction des conditions et de l'âge sont présentées en Figure 29 et en Figure 30. Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel JASP (Version 0.19.3 ; JASP Team, 2025).

Mesures

Score stratégique. Le score stratégique correspond au nombre de mots autorépétés. Ce score a été calculé en effectuant la somme de toutes les répétitions de l'enfant pendant la phase d'encodage.

Scores de rappel. Une mesure de la distance d'édition (Edit distance ; Gonthier, 2022) a été réalisée sur l'ensemble des scores de rappel. Cette mesure permet de comparer la séquence de rappel réalisée par le participant à la séquence cible. Par exemple, si la séquence cible est « ABCDEF » et que le participant a rappelé « ABCDFE », il est nécessaire d'effectuer un seul changement pour correspondre à la cible, c'est-à-dire inverser le F et le E. Si le participant a rappelé une séquence parfaite, alors aucun changement n'est nécessaire pour correspondre à la cible. Le score minimum est de 0 (toute la séquence doit être modifiée) et le score maximum est de 6 (aucun changement nécessaire pour correspondre à la cible).

L'étude de Gonthier (2022) montre que cette mesure du score de rappel sériel, est une mesure plus informative que la méthode des crédits partiels (partial-credit method ; Conway et al., 2005), utilisée classiquement dans la littérature, qui ne prend en compte que les items ayant été rappelés en bonne position et est donc fortement influencé par les omissions et les intrusions. Par exemple la séquence « XABCDEF » est une séquence très proche de la séquence cible « ABCDEF », mais recevrait un score de 0 avec la méthode des crédits partiels car aucun item n'est rappelé en bonne position (l'item A est rappelé en deuxième position, etc.). La séquence « ABCDFE » recevrait un score de 4 puisque les items E et F ne sont pas rappelés en bonne position.

Différences entre les conditions tangible et numérique

Dans le but de comparer les performances entre la condition tangible et la condition numérique deux ANOVA à mesure répétées ont été réalisées sur les scores de rappel et les scores d'autorépétition avec les essais comme variable intra-sujet (tous les essais), la condition comme

variable inter-sujet (Tangible vs. Numérique) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois).

Rappel. Les analyses montrent un effet principal de la condition significatif ($F(1, 73) = 5.08$, $p = .03$, $\eta^2p = .02$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(1, 73) = 11.82$, $p < .001$, $\eta^2p = .05$). Les analyses ne montrent pas d'effet principal de l'essai, indiquant des performances de rappel similaires entre les différents essais. Les analyses montrent une absence d'interaction significative entre l'essai et la condition, ainsi, qu'une absence d'interaction significative entre l'essai et l'âge.

Autorépétitions. Les analyses montrent un effet principal de l'essai significatif ($F(5, 365) = 3.90$, $p = .002$, $\eta^2p = .03$), mais une absence d'effet de l'âge et de la condition. Les analyses ont également révélé une absence d'interaction entre l'essai et la condition ainsi qu'entre l'âge et l'essai.

Analyses bayésiennes de l'effet des conditions

Les résultats des analyses fréquentistes montrent une absence d'interaction entre les essais et les conditions numérique et tangible, que ce soit pour le score de rappel ou pour le score stratégique (nombre de mots autorépétés). Des analyses supplémentaires bayésiennes ont été réalisées dans le but de confirmer ces absences d'effets. Les statistiques bayésiennes, contrairement aux analyses fréquentistes classiques, permettent de tester l'hypothèse nulle. Ainsi, deux ANOVA à mesures répétées bayésiennes sur les performances de rappel et d'autorépétition ont été réalisées.

Rappel. Les analyses indiquent que le modèle incluant uniquement le facteur essai est le plus pertinent. La comparaison entre le meilleur modèle et l'ajout du facteur condition n'a pas amélioré le modèle ($BF_{01} = 2.972\text{x}10^{6}$), tout comme l'ajout de l'interaction entre la condition et l'essai ($BF_{01} = 14.41$). Ces résultats suggèrent que seul le facteur essai influence les performances de rappel, tandis que le type de condition (numérique ou tangible) et son interaction avec le facteur essai n'apportent pas d'informations supplémentaires.

Autorépétitions. Les analyses indiquent que le modèle incluant uniquement le facteur essai est le plus pertinent. La comparaison entre le meilleur modèle et l'ajout du facteur condition n'a pas amélioré le modèle ($BF_{01} = 5.133\text{x}10^{116}$), tout comme l'ajout de l'interaction entre la condition et l'essai ($BF_{01} = 103.71$). Ces résultats suggèrent que seul le facteur essai

influence les performances stratégiques, tandis que le type de condition (numérique ou tangible) et son interaction avec le facteur essai n'apportent pas d'informations supplémentaires.

Figure 29

Représentation graphique des performances de rappel en fonction des conditions Tangible et Numérique, et de l'âge.

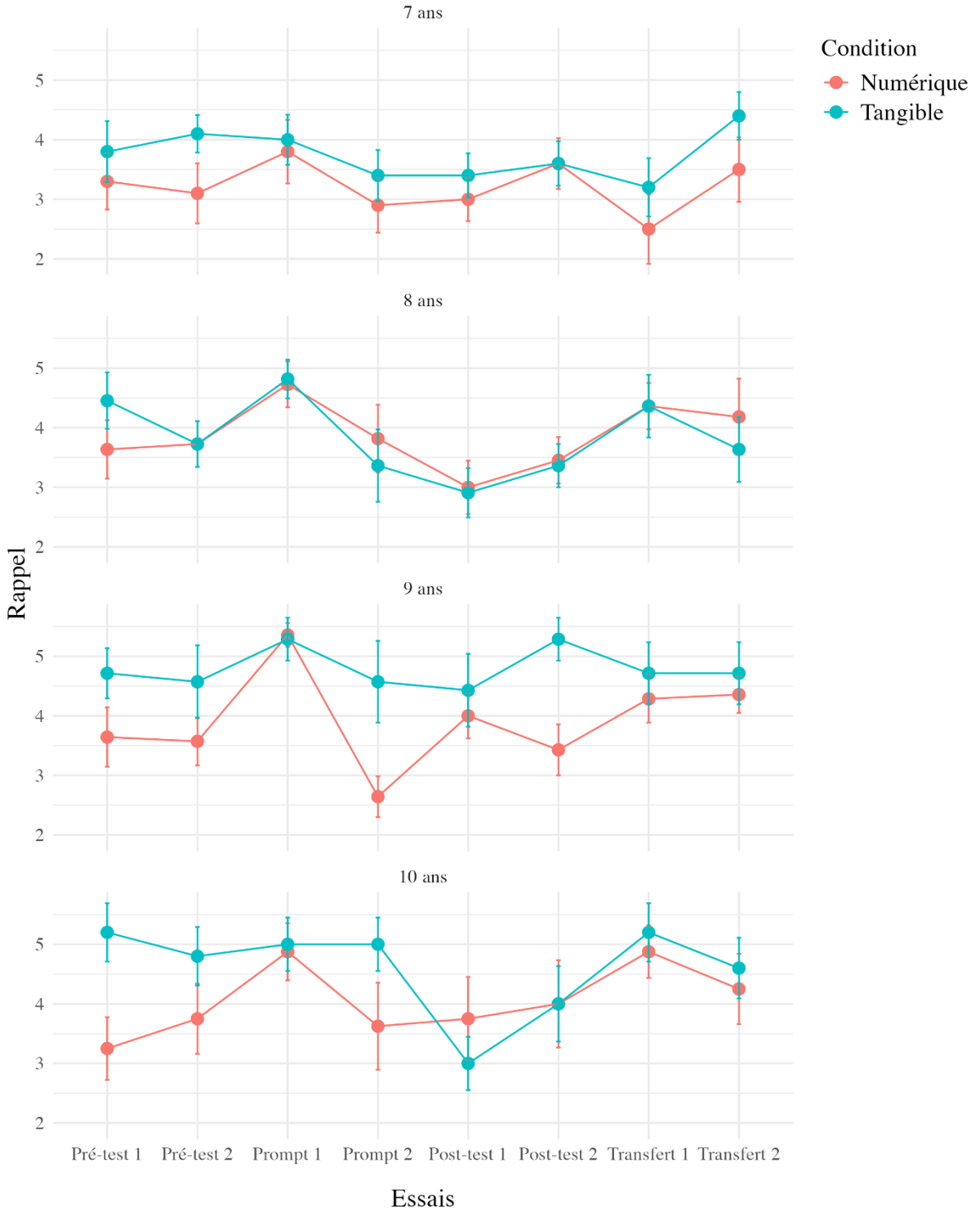
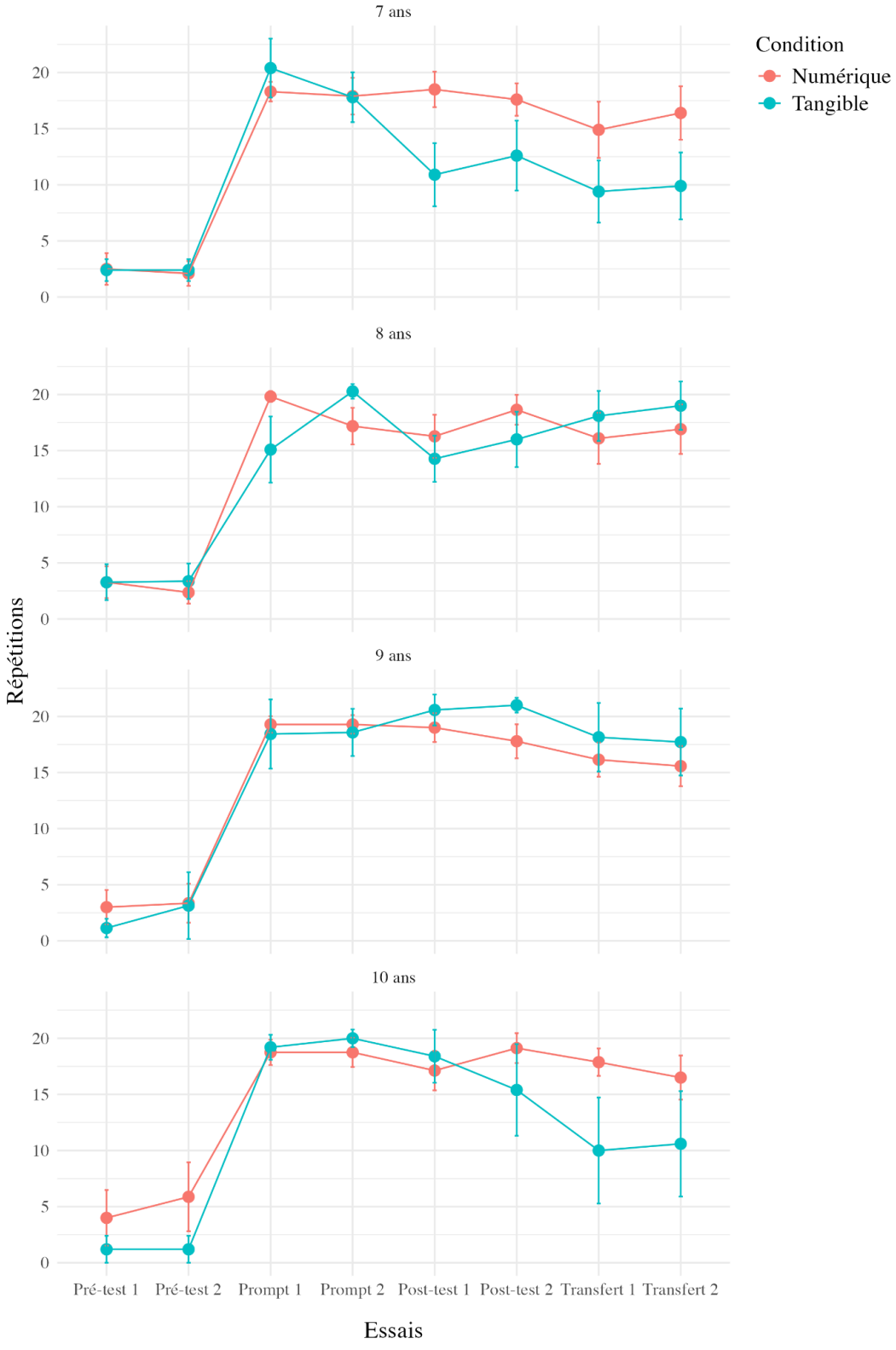


Figure 30

Représentation graphique des performances stratégiques en fonction des conditions Tangible et Numérique, et de l'âge.



Évaluation de l'apprentissage et du transfert de la stratégie d'autorépétition

Les analyses précédentes ont montré que les participants des conditions tangible et numérique ont des performances de rappel et des performances stratégiques similaires. Ainsi, les analyses suivantes porteront sur l'ensemble des participants, toutes conditions confondues. Nous chercherons à déterminer si le prompt de la stratégie a permis l'amélioration des performances de rappel et des performances stratégiques en tâche principale. Après s'être assuré que les performances de rappel et stratégiques se soient améliorées en tâche principale, nous chercherons à caractériser le passage de la tâche principale à la tâche de transfert.

Deux ANOVA mixtes à mesures répétées ont été réalisées sur les scores de rappel et d'autorépétitions avec les essais comme variable intra-sujet (tous les essais) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois). Les valeurs du p ont été ajustées avec une correction de Bonferroni pour les comparaisons multiples.

Rappel. L'analyse a montré un effet principal de l'âge ($F(1, 74) = 9.51$, $p = .003$, $\eta^2p = .02$), mais une absence d'effet de l'essai et d'interaction significative.

Autorépétitions. L'analyse a montré un effet principal de l'essai ($F(7, 518) = 2.73$, $p = .009$, $\eta^2p = .04$), mais une absence d'effet principal de l'âge et d'effet d'interaction significatif.

Apprentissage de la stratégie en tâche principale

La comparaison des essais de pré-test 2 et de post-test 2 permettra de vérifier si les performances de rappel et stratégiques se sont améliorées en tâche principale.

Rappel. Les scores de rappel n'ont pas significativement augmenté entre l'essai de pré-test 2 ($M = 3.81$, $ET = 1.41$) et l'essai de post-test 2 ($M = 3.73$, $ET = 1.45$).

Autorépétitions. Le nombre de mots autorépétés a significativement augmenté entre l'essai de pré-test 2 ($M = 3.03$, $ET = 5.36$) et l'essai de post-test 2 ($M = 17.22$, $ET = 6.53$, $t(74) = -15.40$, $p < .001$, $\eta^2 = .057$).

Les analyses comparant les essais de pré-test 2 et de post-test 2 montrent que les performances stratégiques se sont améliorées en tâche principale, mais n'ont pas mené à de meilleures performances de rappel, indiquant que l'utilisation de la stratégie d'autorépétition n'a pas été bénéfique au rappel des participants.

Adaptation de la stratégie de la tâche principale à la tâche de transfert

La comparaison de l'essai post-test 2 et de l'essai transfert 1 permettra de mettre en évidence l'adaptation, en tâche de transfert, de la stratégie apprise en tâche principale.

Rappel. Les scores de rappel se sont maintenus entre l'essai de post-test 2 (M = 3.74, ET = 1.45) et l'essai transfert 1 (M = 4.09, ET = 1.65).

Autorépétitions. Le nombre de mots autorépétés s'est maintenu entre les essais post-test 2 (M = 17.24, ET = 6.58) et transfert 1 (M = 15.33, ET = 7.68).

Les analyses comparant les essais post-test 2 et transfert 1 montrent que les performances de rappel et stratégiques se sont maintenues en tâche de transfert.

Rebond des performances au deuxième essai de tâche de transfert

La comparaison de l'essai transfert 1 et de l'essai transfert 2 permettra de mettre en évidence un rebond des performances lors du deuxième essais de tâche de transfert.

Rappel. Les scores de rappel n'ont pas significativement augmenté entre l'essai transfert 1 (M = 4.09, ET = 1.65) et l'essai transfert 2 (M = 4.16, ET = 1.68).

Autorépétitions. Le nombre de mots autorépétés s'est maintenu entre les essais transfert 1 (M = 15.33, ET = 7.68) et transfert 2 (M = 15.59, ET = 7.84).

Les analyses comparant les essais transfert 1 et transfert 2 ont montré que les performances stratégiques et de rappel se sont maintenues lors du deuxième essai de la tâche de transfert.

Discussion de l'Étude 2

L'objectif de cette étude était d'examiner conjointement les performances stratégiques et de rappel chez des enfants âgés de 7 à 10 ans, dans le cadre de l'utilisation de la stratégie d'autorépétition, à travers une tâche principale et une tâche de transfert proche. Un second objectif était de comparer ces performances lors de l'utilisation de l'application que nous avons développée et du matériel tangible.

Hypothèse 1 : Équivalence des performances entre l'utilisation du matériel numérique et du matériel tangible

La comparaison de la condition tangible et de la condition numérique a montré que les performances stratégiques et de rappel ne différaient pas lorsque les tâches étaient présentées à travers l'application ou avec du matériel tangible. Les procédures des deux modalités de présentation des tâches étaient les plus similaires possibles afin d'investiguer un effet du numérique sur les performances des participants. Dans ces conditions, l'absence de différences de performance entre les deux modalités montre que l'utilisation de l'outil numérique n'apporte ni une augmentation ni une dégradation des performances en comparaison à des outils traditionnels, lorsque la présentation des tâches à réaliser est strictement similaire entre les deux modalités. Ces résultats vont à l'encontre des conclusions tirées de la littérature montrant que les outils numériques améliorent les performances par le biais d'une augmentation de la motivation des apprenants et de leur engagement dans la tâche (Dennis, 2004 ; Faber et al., 2017 ; Kandukoori et al., 2024). Cependant, cette application a été développée spécifiquement à des fins de recherche expérimentale : dans le cas de la stratégie d'autorépétition en particulier, le module autorépétition de l'application ne prévoit pas d'interaction directe entre le participant et l'interface, seules les images lui sont présentées de façon dynamique. Or, des effets de l'utilisation des outils numériques sur la motivation des apprenants ont régulièrement porté sur des outils de gamification (Ansar et George, 2022), dans lesquels les tâches sont présentées de façon ludique et dans lesquels les apprenants interagissent avec les interfaces augmentant ainsi leur engagement dans l'apprentissage. L'absence de différence entre présentation tangible et présentation numérique pourrait donc s'expliquer par la nature très épurée et non interactive de l'application que nous avons développée. De plus, cette équivalence des deux modalités tangible et numérique a permis, et devrait permettre à l'avenir d'implémenter ce type de protocole expérimental sur tablette numérique. Ceci présente l'avantage d'optimiser la standardisation des conditions de passation, celles-ci étant alors moins soumises à des distorsions contextuelles (différences entre expérimentateurs par exemple). De plus, le numérique prenant une place croissante au quotidien ainsi que dans la recherche, pouvoir répliquer au format numérique des résultats initialement obtenus en version tangible est important si l'on veut tester la robustesse des effets étudiés.

Hypothèse 2 : Amélioration des scores stratégiques et de rappel en phase d'apprentissage et chute des performances de rappel et maintien des scores stratégiques en tâche de transfert

Les résultats ont montré que l'apprentissage de la stratégie en tâche principale a permis d'améliorer les performances stratégiques. En effet, le nombre de mots autorépétés a augmenté entre le premier essai et le dernier essai de la tâche principale. Cependant, l'augmentation du nombre de mots autorépétés n'a pas été bénéfique au rappel. Ce pattern de performance (amélioration des performances stratégiques, mais pas des performances de rappel) est typique d'une déficience d'utilisation (Miller & Seier, 1994). La déficience d'utilisation est caractérisée par une amélioration des performances stratégiques témoignant de l'utilisation de la stratégie par les participants, mais qui ne s'accompagne pas de son bénéfice au rappel (Clerc, 2013 ; Miller, 1990). Cependant, des recherches ont montré que l'apparition de la déficience d'utilisation ne semble pas systématique chez tous les enfants (Schlagmüller & Schneider, 2002 ; Schneider et al., 2004). Il semble que la mémoire de travail joue un rôle important dans l'apparition des déficiences d'utilisation (DeMarie et al., 2004), ainsi l'analyse des performances en mémoire de travail verbale des enfants permettra de mieux comprendre ce résultat.

Par ailleurs, nous avions fait l'hypothèse de la présence d'une t-UD lors du passage entre la tâche principale et la tâche de transfert. La t-UD est caractérisée par le maintien, en tâche de transfert, des performances stratégiques, mais par une chute des performances de rappel. Les résultats de cette étude montrent que les enfants ont effectivement réussi à utiliser à nouveau la stratégie lors de la tâche de transfert, mais que leurs performances de rappel se sont également maintenues. Le fait que les performances de rappel ne se soient pas améliorées en tâche principale et n'aient pas chuté lors de la tâche de transfert ne nous permet pas de conclure à une t-UD. En effet, la t-UD correspond à l'augmentation de la charge cognitive, due à l'adaptation de la stratégie en tâche de transfert. Elle est donc spécifique au transfert et suppose que la stratégie soit maîtrisée en tâche principale. De plus, le fait que les performances de rappel ne se soient pas améliorées lors du deuxième essai de la tâche de transfert ne nous permet pas non plus de conclure à une adaptation de la stratégie à la tâche de transfert.

Certaines limites méthodologiques pourraient aussi expliquer pourquoi l'utilisation de la stratégie n'a pas été bénéfique au rappel. Tout d'abord, le fait de demander aux enfants de réaliser la stratégie à voix haute a pu rendre son utilisation plus difficile. En effet, il était demandé aux enfants d'autorépéter les items à voix haute, de sorte à pouvoir mesurer un score

stratégique, correspondant ici au nombre de répétitions. Dans d'autres études, les participants sont filmés et les auteurs mesurent le nombre de mouvements des lèvres des participants (Eliott et al., 2021) ou, plus classiquement, les auteurs saturent la boucle phonologique, en demandant aux participants de prononcer des syllabes à voix haute, de sorte à altérer le rappel des items si la stratégie d'autorépétition est utilisée (Baddeley et al., 1984). Ces moyens détournés de mesurer l'utilisation de la stratégie auraient permis effectivement d'éviter une augmentation de la charge cognitive dans notre étude par rapport la prononciation des noms des items à voix haute qui était demandée aux participants. Ce sont néanmoins des mesures stratégiques peu informatives et peu précises lorsque l'on veut évaluer l'évolution de l'utilisation de la stratégie à travers plusieurs essais de différentes tâches car elles sont indirectes. Or, si l'on veut pouvoir étudier les patterns de relations stratégie-rappel dans le but de mettre en évidence des cas de déficience d'utilisation, il est indispensable d'utiliser des mesures stratégiques les plus précises possibles, et idéalement des mesures directes de la stratégie produite. Le fait de demander aux enfants d'autorépéter les items à voix haute est une mesure directe de la stratégie dans notre étude.

Par ailleurs, les capacités de mémoire de travail des enfants, visibles dans l'empan mnésique, n'ont pas été prises en compte dans le nombre d'images présenté. Tous les enfants ont dû en effet mémoriser une liste de 6 images à chaque essai. Les différences d'âge entre les participants et les différences inter-individuelles impactant l'empan mnésique n'ont pas été prises en compte dans le nombre d'images présenté. De ce fait, les enfants de notre échantillon ayant un empan mnésique inférieur à 6 auraient eu plus de difficulté à produire la stratégie d'autorépétition. Une mesure de l'empan mnésique avant la tâche principale aurait permis d'adapter le nombre d'images présenté aux enfants. De la même manière, l'intervalle entre deux images était fixé à 2 secondes, cet intervalle limité aurait pu impacter le rappel des enfants, ne leur permettant pas de réaliser le nombre de répétitions suffisantes avant l'affichage de l'image suivante. Ces deux limites pourront être assez aisément levées dans de futures recherches.

De plus, il est possible que la présentation des images à travers les essais de la tâche principale ait créé de l'interférence proactive (Lustig et al., 2001). L'interférence proactive est le fait que la mémorisation d'une information est amoindrie par la présentation antérieure d'une information de même type, voire très ressemblante. La ressemblance entre les deux informations est en grande partie responsable de l'interférence proactive, qui est par ailleurs visible chez l'enfant dès 3 ans (Hamilton et al., 2024) et propre à diminuer l'efficacité de la

mémoire de travail (Hamilton et al., 2022). Dans notre étude, la présentation répétée des mêmes items à rappeler a ainsi pu impacter négativement le rappel sériel. En effet, les images présentées en tâche principale étaient les mêmes à travers les essais, mais l'ordre de présentation des images variait. L'ordre de présentation des images de chaque essai a ainsi pu impacter le rappel de l'ordre dans les essais suivants.

Enfin, le maintien des performances stratégiques en tâche de transfert montre que les enfants continuent d'utiliser la stratégie lorsque de nouvelles images sont présentées en tâche de transfert, ceci indique que les enfants ont reconnu la tâche de transfert comme isomorphe à la tâche principale et ont continué à utiliser la stratégie. Cependant, l'utilisation de la stratégie en tâche principale et en tâche de transfert n'a pas mené à son bénéfice au rappel.

Étude 3

Méthode de l'Étude 3

Participants

Cent sept participants âgés de 7 à 10 ans ont participé et ont été inclus dans les analyses. Ils ont été répartis aléatoirement entre la condition tangible (N = 60, $M_{âge}$ = 8.90 ans, $ET_{âge}$ = 1.06 ans, 21 garçons) et la condition numérique (N = 47, $M_{âge}$ = 8.90 ans, $ET_{âge}$ = 1.01 ans, 22 garçons). Les enfants ont été rencontrés dans plusieurs écoles de la région Grenobloise avec l'accord de l'académie de Grenoble, ainsi qu'au sein de la structure PupilLab de Grenoble, une plateforme de recherche dépendante du pôle pilote Pégase (Pôle pilote de formation des enseignants et de recherche pour l'éducation), visant à accueillir des enfants volontaires et leur famille pour participer aux recherches sur l'éducation. Un questionnaire réalisé auprès des familles des participants a permis de vérifier que les enfants ne présentaient pas de troubles du neurodéveloppement, d'affection neurologique ou motrice, présentaient une vue normale ou corrigée à la normale, et parlaient le français couramment. Onze participants ont été exclus, pour l'une des raisons suivantes : le participant présentait un TND ou un autre trouble (N = 3), l'âge du participant ne correspondait pas à la tranche d'âge choisie (N = 3), le participant a refusé la participation à tous les essais de la tâche (N = 5). Les familles des participants ont reçu un formulaire de consentement et ont donné leur accord pour que leur enfant participe à cette

étude. Cette étude a reçu un avis favorable du comité éthique de l'Université Grenoble Alpes (CERGA-Avis-2022-9).

Matériel

Matériel tangible et numérique. Dans la condition tangible, les images sont présentées sur des cartes plastifiées de 5x5 cm. Dans la condition numérique, les images sont présentées à travers l'application *StratégiesMnésiques* présentée sur un écran tactile ASUS ZenScreen Touch MB16AMT de 15,6'', présenté à plat devant l'enfant. Les images apparaissent dans un rectangle de 5x4 items. Les positions des images sont différentes d'un essai à l'autre, mais une image n'est jamais adjacente à une autre image de la même catégorie.

Images. Les listes d'images ainsi que les normes associées sont disponibles en Annexe 3. Deux listes (Liste 1 et Liste 2) de 20 images composées de 4 catégories de 5 items chacune ont été créées. Les images des deux listes ont été sélectionnées dans la base de données de Snodgrass et Vanderwart (1980), les normes pour l'accord du nom, l'accord de l'image, la familiarité conceptuelle, la complexité visuelle et la variabilité sont tirées des normes chez les participants français (Alario & Ferrand, 1999). L'âge d'acquisition des noms des images a été évalué par Chalard et collaborateurs (2003) chez des participants français. Le Manulex (Lété et al., 2004) a été utilisé pour estimer la fréquence des noms des images. Les listes 1 et 2 ont été contrebalancées entre la tâche principale et la tâche de transfert.

Perception visuospatiale. La perception visuospatiale a été mesurée avec le test *Flèches* de la batterie NEPSY II (Korkman et al., 2007). Dans ce test, plusieurs planches sont présentées à l'enfant. Sur chaque planche sont dessinées plusieurs flèches pointant en direction d'une cible. Sur chaque planche l'enfant doit indiquer les deux flèches pointant directement vers le centre de la cible sans utiliser de guide tel que ses doigts ou des objets. Les notes standardisées à ce test seront utilisées pour évaluer la perception visuospatiale des enfants.

Mémoire de travail visuospatiale (F.E.E.). La mémoire de travail visuospatiale a été mesurée avec le Mise à jour visuospatiale de la batterie F.E.E. (Batterie d'évaluation des Fonctions Exécutives de l'Enfant ; Roy et al., 2021). Dans ce test, l'expérimentateur pointe une série de 6 cubes et l'enfant doit rappeler le maximum de localisation possible. La mémoire de travail est calculée en additionnant le nombre d'items rappelés en bonne position. Les scores bruts seront utilisés pour les analyses.

Procédure

Les différentes étapes de la procédure sont présentées en Figure 31. Tous les enfants ont été reçus individuellement et ont réalisé l'ensemble des étapes de la tâche en une seule séance d'environ 40 minutes. Pour chaque essai, l'enfant doit effectuer une tâche de rappel libre. Une liste de 20 images lui est présentée soit sur l'écran soit sur des cartes selon la condition. Une phase d'encodage permet à l'enfant d'observer les images pendant 1 minute minimum et jusqu'à 2 minutes. Pendant cette phase, il peut déplacer les images sur l'écran ou sur la table, puis les images sont retirées et l'enfant doit rappeler l'ensemble des images qu'il a mémorisé. Avant que les images ne soient retirées, dans la condition numérique, une capture d'écran de la dernière configuration des images est réalisée par l'application. Dans la condition tangible, l'expérimentateur prend une photo de la dernière disposition des images sur la table.

Dénomination. Une tâche de dénomination a permis de s'assurer que les enfants connaissaient toutes les images qui seraient présentées lors des différents essais. Si un enfant nommait une image différemment de ce qui était attendu, l'expérimentateur lui fournissait le nom correct. À la fin de la tâche de dénomination, l'expérimentateur demandait à l'enfant de renommer toutes les images mal identifiées afin de vérifier le nom de l'item.

Familiarisation. À la suite de la tâche de dénomination, un essai de familiarisation était proposé pour présenter les consignes à l'enfant et lui montrer qu'il avait la possibilité de déplacer les images s'il le souhaitait. Montrer aux enfants le déplacement des images permettait (1) d'indiquer le fonctionnement cliquer-déposer de l'application et (2) d'inciter le *sorting* s'ils utilisaient la stratégie de groupement catégoriel. Cet essai de familiarisation comprenait soit 8 images (pour les enfants de 7 à 8 ans), réparties en 2 catégories de 4 items, soit 12 images (pour les enfants de 9 à 10 ans), réparties en 3 catégories de 4 items.

Tâche principale. Plusieurs essais sont présentés en tâche principale :

Pré-test. La tâche est présentée comme un jeu dans lequel l'enfant doit retenir le plus d'images possible. Lors de deux essais de pré-test, les images sont présentées à l'enfant (encodage) puis lui sont retirées et l'enfant doit alors rappeler le plus d'images possible. Ces deux premiers essais de pré-test permettent d'évaluer l'utilisation spontanée de la stratégie de groupement catégoriel par les enfants, sans qu'aucun indice sur l'utilisation possible de cette stratégie ne lui soit donné. À la suite de ces deux essais de pré-test il est demandé à l'enfant de

décrire la stratégie utilisée pour mémoriser les images dans le but de connaître la stratégie utilisée spontanément avant la démonstration de la stratégie de groupement catégoriel.

Démonstration de la stratégie de groupement catégoriel. L'expérimentateur explique puis montre l'utilisation de la stratégie à l'enfant. On demande à l'enfant d'organiser les images sur l'écran en catégories, c'est-à-dire à rassembler dans chaque angle de l'écran, ou sur la table avec la même configuration, les différentes images faisant partie d'une même catégorie. Ainsi, l'expérimentateur déplace une image (par exemple, l'image « chat ») et pose la question suivante à l'enfant : « Est-ce que tu penses qu'il y a d'autres images qui vont avec le chat ? », ainsi l'enfant est invité à déplacer les images de sorte à rassembler les images de la catégorie « animaux ». Ensuite, l'ensemble des images de la catégorie animaux est désigné par l'expérimentateur comme un groupe, et il est demandé à l'enfant de labéliser la catégorie. L'expérimentateur demande à l'enfant s'il est possible de faire d'autres groupes avec les images restantes. L'expérimentateur accompagne l'enfant dans la réalisation de chaque catégorie, en lui demandant de labéliser les catégories et en respectant la configuration des groupes (i.e. déplacer physiquement les images pour les rassembler). Enfin, la stratégie est présentée, l'enfant est invité à mémoriser les catégories et chaque item des catégories pendant la phase d'encodage.

Prompt. Lors de deux essais, l'enfant est invité à utiliser la stratégie seul. Si l'enfant exécute mal la stratégie lors du premier essai, alors elle lui est rappelée avant de commencer le second essai. Si l'enfant utilise déjà la stratégie spontanément, l'examinateur présente la stratégie de la même manière puis l'enfant réalise les deux essais. La liste d'images présentée lors des deux essais de prompt est la même que celle présentée lors des deux essais de pré-test.

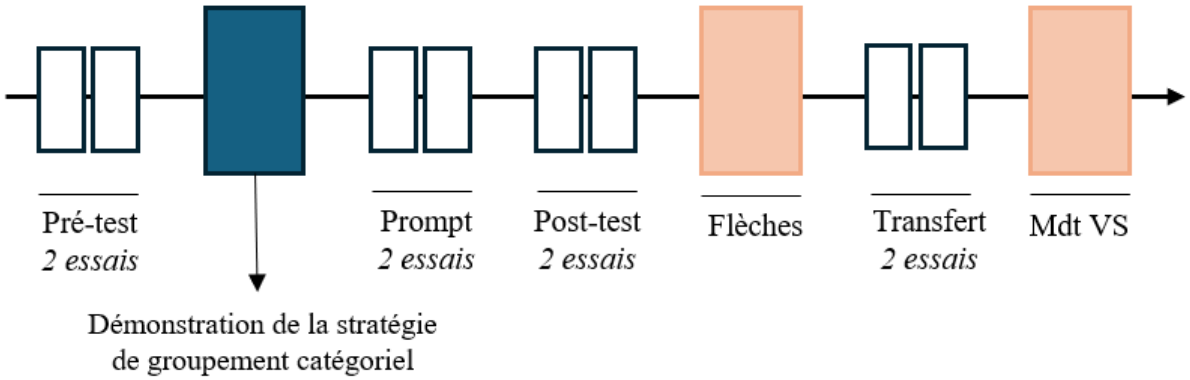
Post-test. Les items sont à nouveau présentés à l'enfant sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser. La liste d'images présentée lors des deux essais de post-test est la même que celle présentée lors des deux essais de pré-test et de prompt.

Tâche de transfert. Une nouvelle liste d'images est présentée à l'enfant lors de deux essais, sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser**.** Le changement des items demande à l'enfant d'adapter la stratégie en réalisant de nouvelles catégories. Ce changement unique des caractéristiques de la tâche en tâche de transfert, permet de caractériser ce transfert comme proche sur le continuum transfert proche / transfert lointain (Klahr & Chen, 2011).

Tests neuropsychologiques. L'examinateur administre ensuite le subtest Flèches de la batterie NEPSY II. Enfin, le subtest Mise à jour en mémoire visuospatiale de la batterie F.E.E est administré.

Figure 31

Schéma de la procédure



Note. Mdt VS = mémoire de travail visuospatiale (F.E.E.)

Résultats de l'Étude 3

Les analyses porteront tout d'abord sur la comparaison entre les conditions tangible et numérique afin de répondre à l'objectif de cette étude. Puis les analyses porteront sur l'évolution des performances stratégiques et de rappel en tâche principale, afin de s'assurer que les enfants maîtrisent la stratégie, puis les analyses porteront sur les performances stratégiques et de rappel à travers les deux essais en tâche de transfert. Enfin, une analyse exploratoire en cluster permettra de caractériser les différents patterns de performances dans l'échantillon.

Mesures

Rappel. Les scores de rappel correspondent au nombre d'items rappelés. Le score maximum est de 20.

Sorting. Le *sorting* correspond au score stratégique pendant l'encodage. Il renseigne sur la qualité des catégories réalisées par l'enfant en déplaçant les images pendant l'encodage. Le

score ARC (Adjusted Ratio of Clustering, Roenker et al., 1971) a été calculé sur la base de la dernière disposition des images pendant l'encodage. Le score ARC varie de -1 à 1, avec un score de 1 indiquant un *sorting* parfait (les images ont été déplacées en catégorie), un score ARC de 0 est considéré comme un *sorting* au niveau de la chance et un score inférieur à 0 comme un *sorting* en dessous du niveau de la chance. À l'inspection de la dernière disposition des images à l'encodage, une répétition a été comptée lorsque deux images de la même catégorie sont adjacentes.

Clustering. Le *clustering* correspond au score stratégique au rappel. Il peut être mesuré également avec le score ARC. De la même manière le score ARC au *clustering* varie de -1 à 1, avec un score de 1 indiquant un *clustering* parfait (tous les items d'une catégorie sont rappelés en premier, puis tous ceux de la seconde catégorie, etc.), un score ARC de 0 étant considéré comme traduisant un *clustering* au niveau de la chance et un score inférieur à 0 comme un *clustering* en dessous du niveau de la chance. Dans le cas du *clustering*, une répétition a été comptée lorsque deux noms d'images ont été rappelés successivement. Les intrusions (mots autres que la liste fournie à l'enfant) et persévérations (plusieurs rappels du même mot) ne sont pas prises en compte dans le calcul du score ARC.

Différences entre les conditions tangible et numérique

Trois ANOVA mixtes à mesures répétées ont été réalisées sur les scores de rappel, de *sorting* et de *clustering*, avec les essais comme variable intra-sujet, la condition comme variable inter-sujet (Tangible vs. Numérique) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois). Les scores de rappel en fonction des conditions et des différentes tranches d'âge sont représentés en Figure 32, les scores au *sorting* en Figure 33, et les scores de *clustering* en Figure 34.

Figure 32

Performances de rappel en fonction de la condition et de l'âge

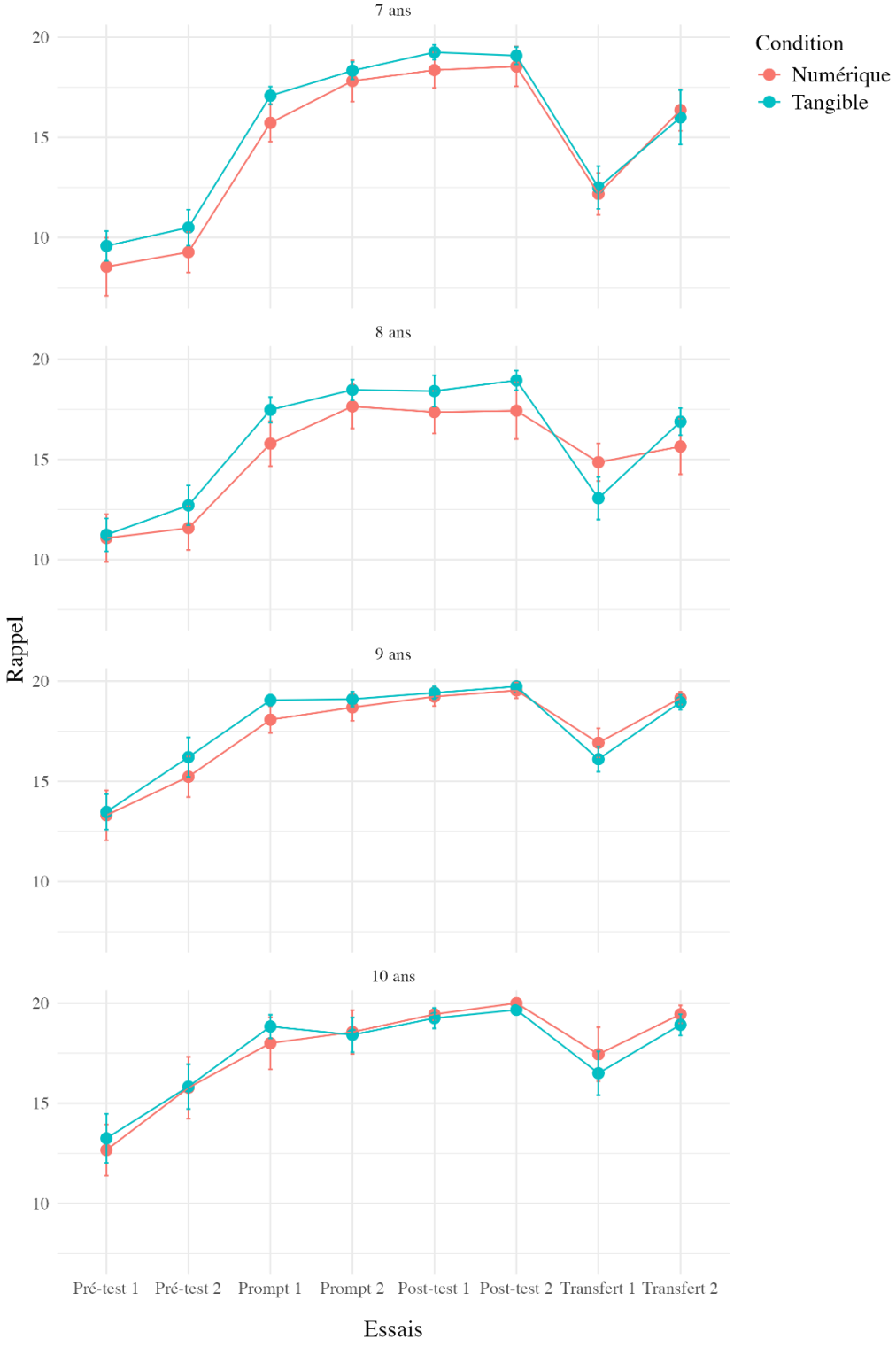


Figure 33

Performances au sorting en fonction de la condition et de l'âge

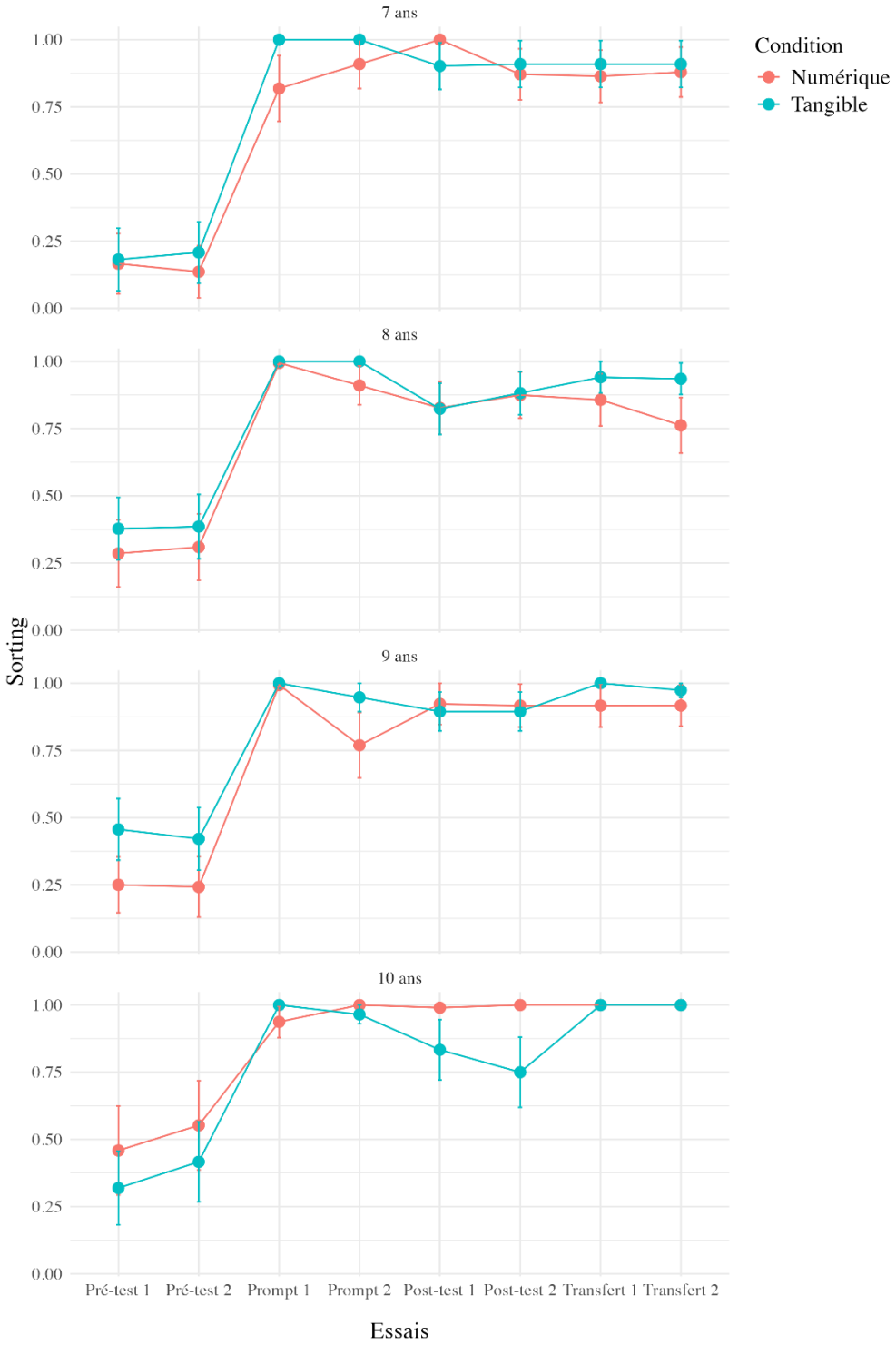
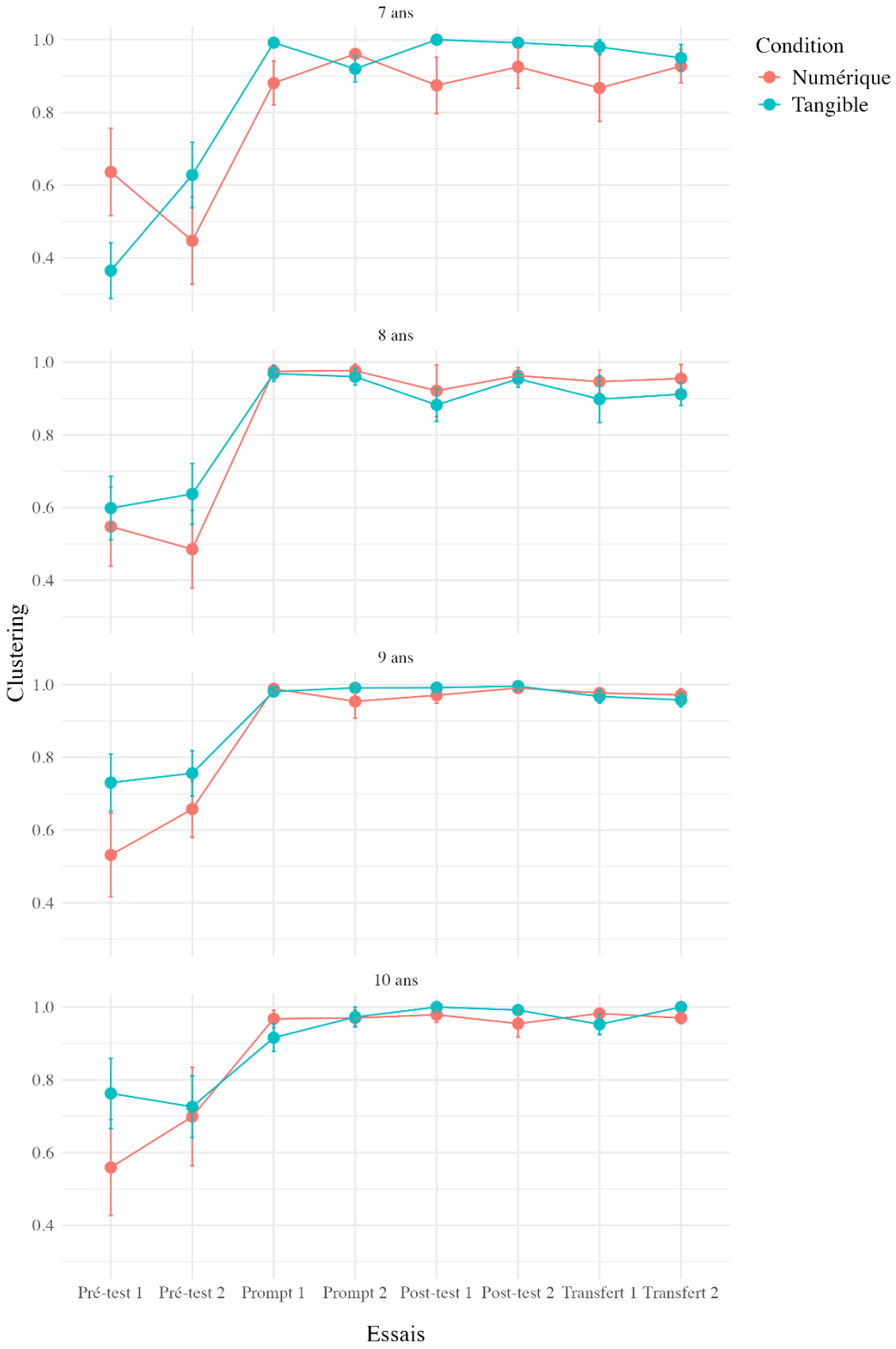


Figure 34

Performances de clustering en fonction de la condition et de l'âge



Rappel. Les analyses montrent un effet principal de l'essai significatif ($F(7, 728) = 17.79$, $p < .001$, $\eta^2p = .15$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(1, 104) = 30.04$, $p < .001$, $\eta^2p = .22$). Les analyses ne montrent pas d'effet principal de la condition, indiquant des performances de rappel similaires entre les différents essais des conditions numérique et tangible. Les analyses montrent également un effet d'interaction significatif entre l'essai et l'âge ($F(7, 728) = 9.33$, $p < .001$, $\eta^2p = .08$), ainsi, qu'une absence d'interaction significative entre l'essai et la condition.

Sorting. Les analyses montrent un effet principal de l'essai significatif ($F(7, 665) = 7.28$, $p < .001$, $\eta^2p = .07$), mais une absence d'effet significatif de l'âge et de la condition. Les analyses révèlent également une interaction significative entre l'essai et l'âge ($F(7, 665) = 2.46$, $p = .01$, $\eta^2p = .02$) et une absence d'interaction entre l'essai et la condition.

Clustering. Les analyses montrent un effet principal de l'essai significatif ($F(7, 721) = 5.92$, $p < .001$, $\eta^2p = .05$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(1, 103) = 8.47$, $p = .004$, $\eta^2p = .07$), mais une absence d'effet significatif de la condition. Les analyses ont également révélé une interaction significative entre l'âge et l'essai ($F(7, 721) = 2.23$, $p = .03$, $\eta^2p = .02$), mais une absence d'interaction entre l'essai et la condition.

Analyses bayésiennes de l'effet des conditions

Les résultats des analyses fréquentistes montrent une absence d'interaction entre le facteur essai et le facteur condition, ainsi qu'une absence d'effet principal de la condition que ce soit pour le rappel, le *sorting* ou le *clustering*. Des analyses supplémentaires bayésiennes ont donc été réalisées afin de confirmer ces absences d'effets. Les statistiques bayésiennes, contrairement aux analyses fréquentistes classiques, permettent de tester l'hypothèse nulle. Ainsi, trois ANOVA à mesures répétées bayésiennes sur les performances de rappel, de *sorting* et de *clustering* ont été réalisées avec le logiciel JAMOVI, et le module jsq – Bayesian Methods (The jamovi project, 2025).

Rappel. Les analyses indiquent que le modèle incluant uniquement le facteur essai est le plus pertinent. La comparaison entre le meilleur modèle et l'ajout du facteur condition n'a pas amélioré le modèle ($BF_{01} = 2.80$), tout comme l'ajout de l'interaction entre la condition et l'essai ($BF_{01} = 44.98$). Ces résultats suggèrent que seul le facteur essai influence les

performances de rappel, tandis que le type de condition (numérique ou tangible) et son interaction avec le facteur essai n'apportent pas d'informations supplémentaires.

Sorting. Les analyses indiquent que le modèle incluant uniquement le facteur essai est le plus pertinent. La comparaison entre le meilleur modèle et l'ajout du facteur condition n'a pas amélioré le modèle (BF_{01} = 4.53), tout comme l'ajout de l'interaction entre la condition et l'essai (BF_{01} = 287.88). Ces résultats suggèrent que seul le facteur essai influence les performances stratégiques à l'encodage (*sorting*), tandis que le type de condition (numérique ou tangible) et son interaction avec le facteur essai n'apportent pas d'informations supplémentaires.

Clustering. Les analyses indiquent que le modèle incluant uniquement le facteur essai est le plus pertinent. La comparaison entre le meilleur modèle et l'ajout du facteur condition n'a pas amélioré le modèle (BF_{01} = 2.69), tout comme l'ajout de l'interaction entre la condition et l'essai (BF_{01} = 68.40). Ces résultats suggèrent que seul le facteur essai influence les performances stratégiques au rappel (*clustering*), tandis que le type de condition (numérique ou tangible) et son interaction avec le facteur essai n'apportent pas d'informations supplémentaires.

Évaluation de l'apprentissage et du transfert de la stratégie de groupement catégoriel

Les analyses précédentes ont montré que les participants des conditions tangible et numérique ont des performances similaires au rappel, au *sorting* et au *clustering*. Ainsi, les analyses suivantes porteront sur l'ensemble des participants, toutes conditions confondues. Nous chercherons à déterminer si le prompt de la stratégie a permis l'amélioration des performances de rappel et des performances stratégiques en tâche principale. Nous examinerons également si le prompt de la stratégie a favorisé un transfert proche et chercherons à caractériser le passage de la tâche principale à la tâche de transfert en fonction de l'âge des participants. Enfin, des analyses exploratoires en clusters nous permettront d'identifier différents patterns de performances chez les participants.

Apprentissage de la stratégie en tâche principale

La comparaison entre les essais de pré-test 2 et de post-test 2 permettra de s'assurer que les performances de rappel et les performances stratégiques se sont améliorées en tâche principale.

Trois ANOVA mixtes à mesures répétées ont été réalisées sur les scores de rappel, de *sorting* et de *clustering*, avec les essais comme variable intra-sujet (Pré-test 2 vs. Post-test 2) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois).

Rappel. Les analyses montrent un effet principal de l'essai, indiquant que les performances de rappel à l'essai de pré-test 2 (M = 13.49, ET = 4.55) sont significativement inférieures aux performances de rappel à l'essai post-test 2 (M = 19.10, ET = 2.50, $F(1, 105) = 38.54$, $p < .001$, $\eta^2p = .10$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(1, 105) = 33.19$, $p < .001$). Les analyses montrent également un effet d'interaction significatif entre l'essai et l'âge ($F(1, 105) = 20.99$, $p < .001$, $\eta^2p = .05$), indiquant que l'amélioration des performances de rappel entre les essais pré-test 1 et post-test 2 diminue avec l'âge.

Sorting. Les analyses montrent un effet principal de l'essai, indiquant que les performances (score ARC) à l'essai de pré-test 2 (M = 0.34, ET = 0.46) sont significativement inférieures aux performances à l'essai post-test 2 (M = 0.88, ET = 0.32, $F(1, 98) = 10.59$, $p = .002$, $\eta^2p = .04$). Cependant les analyses ne mettent pas en évidence d'effet principal de l'âge ni d'effet d'interaction significatif.

Clustering. Les analyses montrent un effet principal de l'essai, indiquant que les performances (scores ARC) à l'essai de pré-test 2 (M = 0.64, ET = 0.34) sont significativement inférieures aux performances de rappel à l'essai post-test 2 (M = 0.97, ET = 0.09, $F(1, 104) = 9.54$, $p = .003$, $\eta^2p = .04$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(1, 104) = 6.02$, $p = .01$). Cependant les analyses ne mettent pas en évidence d'effet d'interaction significatif.

Adaptation de la stratégie de la tâche principale à la tâche de transfert

La comparaison du second essai de post-test et du premier essai de transfert permettra de mettre en évidence l'adaptation, en tâche de transfert, de la stratégie apprise en tâche principale.

Trois ANOVA mixtes à mesures répétées ont été réalisées sur les scores de rappel, de *sorting* et de *clustering*, avec les essais comme variable intra-sujet (post-test2 vs. Transfert 1) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois).

Rappel. Les analyses montrent un effet principal de l'essai, indiquant que les performances de rappel à l'essai de post-test 2 (M = 19.1, ET = 2.50) sont significativement supérieures aux performances de rappel à l'essai transfert 1 (M = 14.9, ET = 3.91, $F(105) = 19.76$, $p < .001$, $\eta^2p = .16$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(105) = 25.69$, $p < .001$). Les analyses montrent également un effet d'interaction significatif entre l'essai et l'âge ($F(105) = 10.12$, $p = .002$, $\eta^2p = .09$), indiquant que la chute des performances de rappel entre les essais post-test 2 et transfert 1 diminue avec l'âge.

***Sorting* et *clustering*.** Les analyses montrent que les performances de *sorting* et de *clustering* sont similaires entre les essais de post-test 2 et transfert 1, et une absence d'interaction entre les performances de *sorting* et de *clustering* aux deux essais et l'âge.

Rebond de performance de rappel au deuxième essai de tâche de transfert

La comparaison du premier essai de la tâche de transfert avec le second essai de la tâche de transfert permettra de tester l'hypothèse du rebond de performance.

Trois ANOVA mixtes à mesures répétées ont été réalisées sur les scores de rappel, de *sorting* et de *clustering*, avec les essais comme variable intra-sujet (Transfert 1 vs. Transfert 2) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois).

Rappel. Les analyses montrent un effet principal de l'essai, indiquant que les performances de rappel à l'essai de transfert 1 (M = 14.91, ET = 3.91) sont significativement inférieures aux performances de rappel à l'essai transfert 2 (M = 17.65, ET = 3.33, $F(105) = 5.83$, $p = .02$, $\eta^2p = .05$), ainsi qu'un effet principal de l'âge significatif ($F(105) = 29.55$, $p < .001$). Cependant les analyses ne mettent pas en évidence d'effet d'interaction significatif.

***Sorting* et *clustering*.** Les analyses montrent que les performances de *sorting* et de *clustering* sont similaires entre les essais transfert 1 et transfert 2, et une absence d'interaction entre les performances de *sorting* et de *clustering* au deux essais et l'âge.

Analyses exploratoires

Une analyse en cluster hiérarchique a été réalisée dans le but d'identifier des patterns de performances de rappel à travers les 8 essais. L'analyse en clusters a été réalisée en utilisant la méthode de liaison moyenne (*average linkage*) et la distance euclidienne sur l'ensemble des participants (N = 107), la sélection du nombre de clusters a été basée sur l'analyse de l'indice BIC. L'ensemble des analyses suivantes a été réalisé avec le logiciel JASP (Version 0.19.3, JASP Team, 2025).

L'analyse a identifié 6 clusters. L'analyse indique que 52.2 % de la variance totale est expliquée par ce regroupement, indiquant qu'une partie de la variance reste non expliquée. Le coefficient de silhouette global (.30) indique un partitionnement des données moyennement défini. Les informations des 6 clusters sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3

Informations concernant les 6 clusters

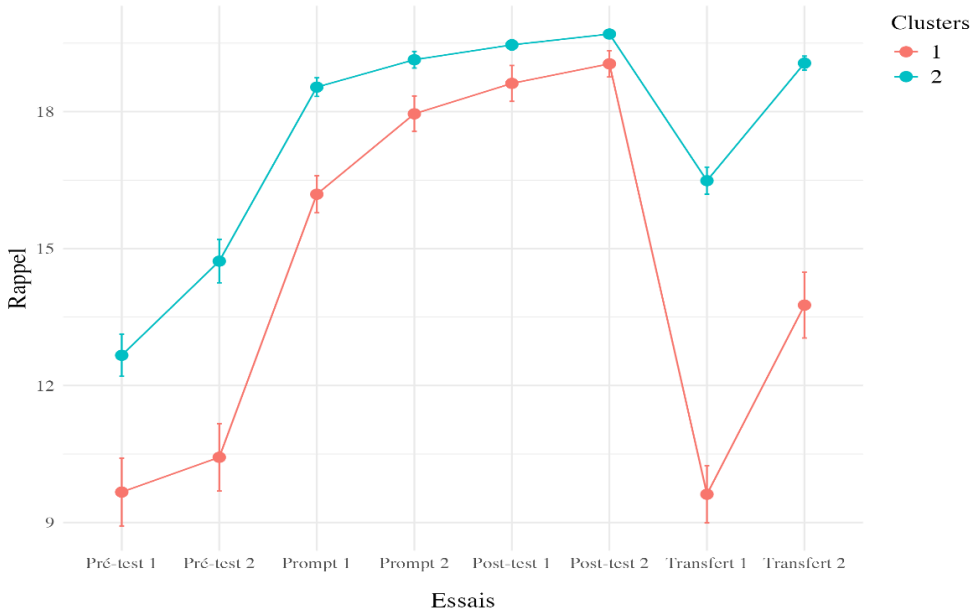
Clusters	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
N	21	80	2	1	1	2
Variance intra-cluster	0.24	0.74	0.005	0.00	0.00	0.01

Les clusters 3 à 6 sont composés de peu de participants. Ainsi, les patterns de performances pour ces clusters sont difficilement interprétables. Le graphique des patterns de performances de rappel pour tous les clusters est présenté en Annexe 4. Ainsi, nous nous sommes intéressés principalement aux clusters 1 et 2 (N = 21 et N = 80 respectivement), le graphique des patterns de performances de rappel des clusters 1 et 2 est présenté en Figure 35.

Dans le but de caractériser les différences de patterns de performances entre le cluster 1 et 2, nous avons réalisé une série d'analyses sur les performances de rappel, les performances stratégiques et les performances aux tests neuropsychologiques.

Figure 35

Patterns des performances de rappel pour les clusters 1 et 2 à travers les essais de la tâche principale et de la tâche de transfert



Performances de rappel. Les analyses ont révélé que les participants du cluster 1 présentent des performances de rappel aux essais de pré-test inférieures (M = 10.05, ET = 2.85) aux participants du cluster 2 (M = 13.69, ET = 3.91, $F(1, 99) = 15.96$, $p < .001$, $\eta^2p = .12$). De plus, les participants du cluster 1 présentent des performances de rappel aux essais de post-test inférieures (M = 18.93, ET = 1.34) aux participants du cluster 2 (M = 19.58, ET = .74, $F(1, 99) = 11.60$, $p < .001$, $\eta^2p = .10$).

La chute de performances entre les essais de post-test 2 et transfert 1 (coût de l'adaptation) est significativement plus importante pour le cluster 1 (M = -9.43, ET = 3.40) que pour le cluster 2 (M = 3.21, ET = 2.60, $F(1,99) = 83.23$, $p < .001$, $\eta^2p = .46$). De la même manière, l'augmentation des performances entre les essais de transfert 1 et transfert 2 (rebond des performances après adaptation) est significativement plus importante pour le cluster 1 (M = 4.13, ET = 4.64) que pour le cluster 2 (M = 2.58, ET = 2.52, $F(1, 99) = 4.34$, $p = .04$, η^2p = 0.04).

Description des clusters. Les participants du cluster 2 sont significativement plus âgés ($M_{âge}$ = 9.12, $ET_{âge}$ = 1.00) que les participants du cluster 1 ($M_{âge}$ = 8.25, $ET_{âge}$ = .93, $t(99) = -3.61$, $p < .001$, $d = -.89$).

Cependant, les scores de MdT visuospatiale ($t(96) = -.22$, $p = 0.83$, $d = .05$) et de perception visuospatiale ($t(98) = 1.85$, $p = 0.06$, $d = .45$) ne diffèrent pas significativement entre les clusters 1 et 2. Les moyennes pour l'âge, la MdT visuospatiale et la perception visuospatiale sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4

Âge, empan VS et perception VS moyen, et proportion de l'utilisation autorapportée de la stratégie pour les clusters 1 et 2

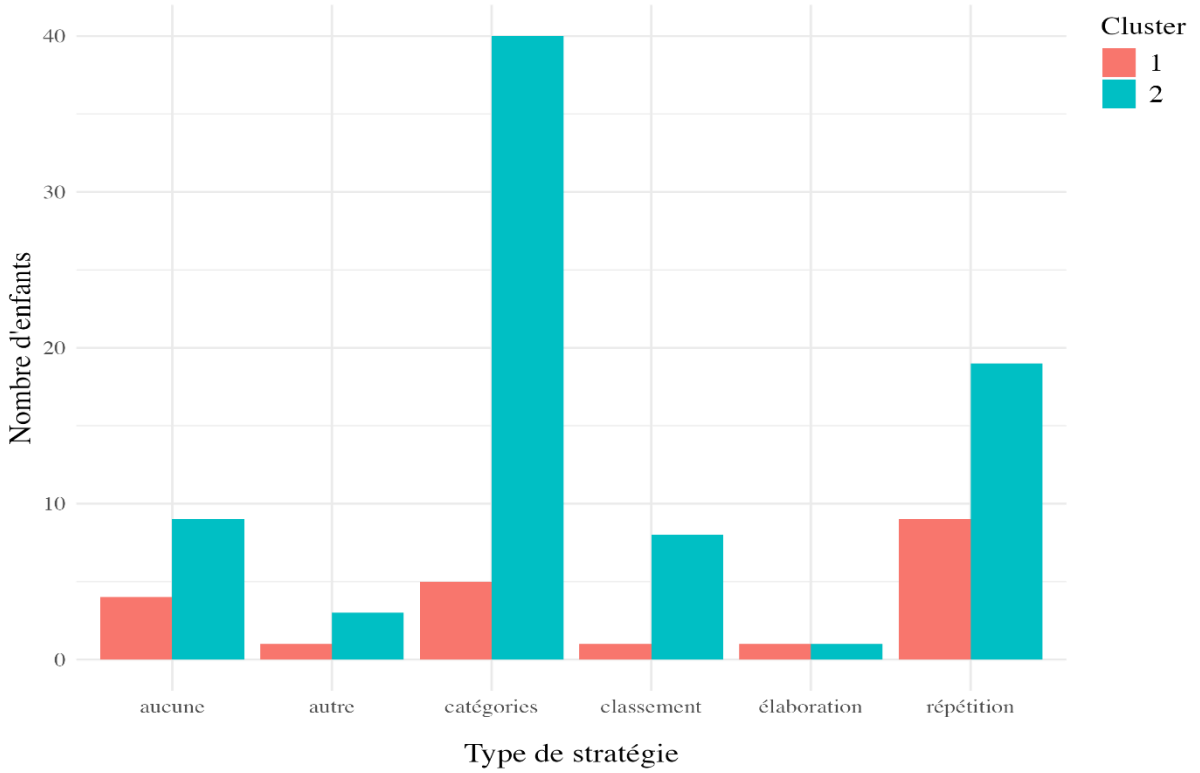
	Âge en an M(ET)	**MdT VS M(ET)**	**Perception VS M(ET)**
Cluster 1	8.25 (.93)	39.79 (9.70)	12.48 (2.11)
Cluster 2	9.12 (1.00)	40.33 (9.76)	11.32 (2.65)

Note. Empan VS = empan visuospatial (Batterie F.E.E.) ; Perception VS = perception visuospatiale (Batterie NEPSY II).

De plus, les participants du cluster 1 rapportent utiliser plus souvent la stratégie de répétition (23.81 %) que d'autres types de stratégies avant que le prompt de la stratégie de groupement catégoriel ne leur soit fourni, alors que les participants du cluster 2 rapportent plus souvent utiliser la stratégie de groupement catégoriel (50 %) que d'autres types de stratégies. La distribution des stratégies utilisées de façon auto-rapportée pour les clusters 1 et 2 est présentée en figure 36.

Figure 36

Représentation de la distribution des stratégies auto-rapportées par les enfants selon les clusters 1 et 2



Note. 1 = distribution des stratégies utilisées par les participants du cluster 1. 2 = distribution des stratégies utilisées par les participants du cluster 2.

Discussion de l'Étude 3

Cette étude visait à examiner conjointement les profils de performance stratégique et de rappel chez des enfants âgés de 7 à 10 ans, dans le cadre de l'utilisation de la stratégie de groupement catégoriel, à travers une tâche principale et une tâche de transfert proche. Un second objectif était de comparer ces performances lors de l'utilisation de l'application que nous avons développée et du matériel tangible.

Hypothèse 1 : Équivalence des performances entre l'utilisation du matériel numérique et du matériel tangible

Les résultats indiquent que les performances des enfants sont similaires dans les deux conditions. Comme dans l'étude 2, l'utilisation du support numérique n'a pas entraîné un avantage améliorant les performances aux différents essais, confirmant donc que cette étude montre que lorsque les procédures et les tâches à effectuer sont très similaires entre les modalités numérique et tangible, l'un ou l'autre des supports ne mène pas à des différences de performances chez les participants lors de l'apprentissage et le transfert d'une stratégie de mémorisation. En effet, ces résultats confirment et élargissent les apports de l'Étude 2 à la stratégie de groupement catégoriel. Ceci est d'autant plus intéressant que les stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel émergent à des temporalités différentes dans le développement, et qu'elles ne font pas appel aux mêmes processus (Schneider et al., 2003). Par ailleurs, l'utilisation du module Groupement catégoriel dans l'application permet aux enfants de déplacer les items. Ainsi, dans cette tâche, et contrairement au module Autorépétition, les enfants pouvaient interagir avec l'application pendant l'apprentissage et le transfert de la stratégie. Des recherches montrent que c'est justement sa nature interactive qui rend le support numérique efficace dans les apprentissages (Dubé & McEwen, 2015 ; Xie et al., 2018). On aurait pu s'attendre à une performance supérieure dans la condition numérique, dans la mesure où le module Groupement catégoriel, par le déplacement des items sur l'écran tactile, semble plus interactif que dans l'étude 2. Or, dans le cas présent, même avec un niveau d'interactivité accru, la performance observée dans la condition numérique s'avère équivalente à celle de la condition tangible. Cela suggère que l'avantage du numérique pourrait ne se manifester que lorsque l'interactivité atteint un certain seuil.

Hypothèse 2 : Transfert proche de la stratégie de groupement catégoriel et présence d'une t-UD chez les enfants âgés de 7 à 10 ans

De précédentes études sur le transfert de stratégie de mémorisation ont montré que les enfants âgés de 4 à 7 ans sont capables de transférer une stratégie de mémorisation dans une tâche de transfert proche, mais pas son bénéfice au rappel (Clerc et al., 2021 ; Clerc et al., 2017 ; Clerc & Miller, 2013). Ce phénomène appelé t-UD a été identifié récemment et met en évidence le fait que le transfert, même proche, induit une charge cognitive importante, impactant ainsi les performances de rappel. Cette charge cognitive serait causée par les efforts d'adaptation de

la stratégie à la nouvelle tâche, adaptation reconnue comme nécessaire lors du transfert (Schwartz et al., 2012).

Nos résultats vont également dans ce sens : après avoir réussi à percevoir les bénéfices de l'utilisation de la stratégie en tâche principale, les performances stratégiques des enfants se maintiennent en tâche de transfert, mais les performances de rappel chutent. Ce résultat est important car le transfert proche est régulièrement considéré comme facile pour les enfants (Chang et al., 2019 ; Schleepen & Jonkman, 2014). Nous montrons ici que le transfert proche n'est, au contraire, pas toujours efficace et peut mener à des chutes de performances au rappel.

La présence d'une t-UD dans cette étude et dans des études précédentes nous permet de mieux comprendre les mécanismes du transfert. En effet, plusieurs étapes sont nécessaires à un transfert réussi. Dans le cas de notre étude, les enfants ont été capables de reconnaître l'isomorphisme entre la tâche principale et la tâche de transfert (Hattie & Donoghue, 2016), comme en témoigne le maintien des performances stratégiques en tâche de transfert, mais l'adaptation de la stratégie à la tâche de transfert semble avoir été difficile. Le mécanisme d'adaptation de la représentation de la tâche repose sur le fait que la représentation soit suffisamment abstraite et flexible, de sorte que la stratégie puisse être appliquée efficacement à la tâche de transfert. Dans le cas de la t-UD, le coût associé à l'adaptation de la stratégie à une nouvelle tâche crée une charge cognitive importante ne laissant que peu de ressources pour la mémorisation des items, et il a été montré que les capacités individuelles de flexibilité cognitive jouent un rôle dans cette adaptation. Les enfants les moins cognitivement flexibles sont en effet les plus enclins à manifester une t-UD dans des tâches de rappel avec la stratégie d'autorépétition ou de groupement catégoriel (Clerc et al., 2021).

Pour la première fois, nous montrons également que la t-UD est présente également chez des enfants âgés de 7 à 10 ans, là où des études précédentes avaient mis ce phénomène en évidence chez des enfants d'un âge compris entre 4 et 7 ans. Bien que la t-UD soit moins marquée pour les enfants les plus âgés, cela suggère que la t-UD pourrait être observable, quel que soit l'âge des participants, dès lors que la tâche de rappel est réalisée via la production d'une stratégie mnésique typique de l'âge considéré. De futures études pourraient tester cette hypothèse avec des participants âgés de 10 à 12 ans dans une tâche de rappel utilisant des stratégies mnésiques d'élaboration (se poser des questions complexes sur un texte à rappeler par exemple) typiques d'enfants de cet âge et plus âgés (Bjorklund et al., 2009 ; Roebers, 2014). Il serait aussi intéressant de tester la nature transitoire de la t-UD à travers le développement.

En effet, le modèle proposé par Miller (1990) pour rendre compte des déficiences d'utilisation considère celles-ci comme une étape dans l'acquisition d'une stratégie mnésique. La t-UD étant un cas particulier de déficience d'utilisation, nous pouvons faire l'hypothèse qu'elle se manifeste systématiquement dans le transfert stratégique lorsque l'individu maîtrise déjà la stratégie en tâche principale, mais rencontre des difficultés à l'adapter à la tâche de transfert du fait du coût de l'adaptation à celle-ci, comme le montrent les résultats de l'étude 3.

Nos résultats montrent par ailleurs que l'ampleur de la chute des performances de rappel entre la tâche principale et la tâche de transfert est moins importante avec l'âge, alors que les performances stratégiques ne sont pas significativement différentes selon l'âge (pas d'effet de l'âge). En effet, les analyses en cluster montrent que les enfants les plus âgés (cluster 2) utilisent davantage la stratégie de groupement catégoriel avant le *prompt* contrairement aux enfants les plus jeunes (cluster 1), et que l'utilisation de cette stratégie leur permet un meilleur rappel que les enfants du cluster 1 dans les premiers essais de la tâche principale. Le fait que ces enfants soient spontanément stratégiques, c'est-à-dire utilisent la stratégie sans que l'on ait besoin de la leur présenter ou de les y inciter (Miller, 1990), a peut-être permis une chute moins importante de leurs performances de rappel lors du passage à la tâche de transfert. En effet, la stratégie de groupement catégoriel se développe autour de 8-9 ans (Bjorklund et al., 2009 ; Roebers, 2014). Ainsi, l'utilisation préalable de la stratégie à de nombreuses reprises avant notre étude, par exposition répétée à des situations semblables, visible dans leur spontanéité stratégique, leur aurait permis de s'adapter plus facilement aux nouvelles caractéristiques de la tâche de transfert. Le coût de l'adaptation de la stratégie en tâche de transfert serait moins important pour ces enfants, qui par ailleurs sont aussi les plus âgés de l'échantillon, résultant en une t-UD présente, mais moins marquée (c'est-à-dire une chute de rappel en tâche de transfert moins importante). Au contraire, les enfants les plus jeunes ont majoritairement utilisé la stratégie d'autorépétition avant le *prompt*. Or, la stratégie d'autorépétition est une des stratégies de mémorisation volontaire qui se développe le plus tôt dans le développement (Attout & Monier, 2023). L'utilisation privilégiée de cette stratégie peu coûteuse, chez les jeunes enfants dès le début de l'étude, suivie de l'utilisation de la stratégie de groupement catégoriel après le *prompt*, a mené à de moins bonnes performances de rappel en tâche principale et une chute de ces performances en tâche de transfert.

Ces résultats indiquent que pour les enfants les plus jeunes, l'utilisation de la stratégie de groupement catégoriel reste coûteuse ainsi que son adaptation en tâche de transfert,

entraînant une t-UD plus marquée (c'est-à-dire une chute de rappel importante en tâche de transfert) que chez les enfants plus âgés. Ce résultat va dans le sens de plusieurs études indiquant qu'un entraînement à l'utilisation d'une stratégie mnésique élimine rarement les différences d'âge (Carr & Schneider, 1991 ; Cox & Waters, 1986) : par conséquent, il reste difficile pour les enfants les plus jeunes d'utiliser la stratégie de groupement catégoriel, qui reste très coûteuse même lorsqu'elle est entraînée ou simplement, comme ici, démontrée à l'aide d'un *prompt*. De plus et de façon intéressante, la littérature sur le développement de l'utilisation des stratégies de mémorisation a montré qu'à mesure que l'enfant grandit il est capable d'utiliser plusieurs stratégies lors de la même tâche (Bjorklund, 2009 ; Roebers, 2014 ; Schneider & Ornstein, 2018). Cependant dans la présente étude nous montrons que les enfants les plus âgés n'utilisent pas davantage de stratégies, mais sont capables de sélectionner et d'utiliser majoritairement la stratégie la plus efficace dans cette tâche, à savoir la stratégie de groupement catégoriel, plutôt que la stratégie d'autorépétition moins coûteuse à utiliser, mais associée à une performance de rappel moins élevée.

Enfin, les performances de rappel de tous les enfants s'améliorent entre le premier et le second essai de la tâche de transfert. Ce rebond de performance lors de la seconde exposition d'une même tâche traduit une adaptation moins coûteuse de la stratégie aux nouvelles caractéristiques de la tâche de transfert. En effet, la t-UD induit une chute des performances de rappel due à une charge cognitive importante lors de l'adaptation de la stratégie. Cependant, ce coût cognitif important dû à l'adaptation de la stratégie semble être transitoire puisque les performances de rappel s'améliorent à mesure que les enfants sont exposés à cette même tâche. Ainsi, lorsque les enfants sont exposés de multiple fois à la même tâche de transfert, la charge cognitive associée à l'adaptation de la stratégie semble diminuer. Ainsi, bien que le transfert proche soit plus facile à réaliser que le transfert lointain (Sala & Gobet, 2017), la présence d'une t-UD transitoire met en évidence le fait que le transfert d'une stratégie de mémorisation vers une tâche de transfert proche reste coûteux pour les enfants au moins jusqu'à l'âge de 10 ans. Pour la première fois, ces résultats montrent que la t-UD est transitoire, puisque les performances de rappel s'améliorent après le premier essai de tâche de transfert. L'analyse des performances essai par essai nous permet ici d'en apprendre davantage sur la dynamique de l'adaptation à travers plusieurs expositions à la tâche de transfert. Ces résultats prolongent d'autres recherches ayant montré un pattern similaire de performances (c'est-à-dire un rebond après une chute initiale en tâche de transfert), dans le cas de la résolution de problèmes (Mombo

& Clerc, 2022 ; Mombo et al., 2024), mais pour la première fois dans le contexte du transfert de stratégie de mémorisation. Cela pourrait laisser supposer que le coût de l'adaptation en tâche de transfert pourrait apparaître de manière générale lors du transfert de stratégies cognitives, qu'elles soient mnésiques ou liées à la résolution de problèmes. De futures recherches permettraient d'étendre ces résultats à d'autres types de stratégies cognitives.

Conclusion et contribution à la thèse

L'objectif de ce chapitre était de présenter le développement et les fonctionnalités de l'application Stratégies Mnésiques et de tester son utilisation dans deux paradigmes évaluant l'apprentissage et le transfert des stratégies d'autorépétition et de groupement catégoriel chez les enfants de 7 à 10 ans.

L'étude 2, contrairement à l'étude 3, a montré que le prompt de la stratégie d'autorépétition reste difficile à réaliser chez les enfants et n'a pas mené à une amélioration de leurs performances de rappel. La façon dont les enfants devaient utiliser la stratégie ne leur a pas permis d'améliorer leurs performances de rappel, cela étant peut-être dû à des problématiques méthodologiques qui ont rendu l'utilisation de la stratégie difficile pour les enfants. De plus, la mesure de l'utilisation de la stratégie autrement qu'à l'aide des performances de rappel, c'est-à-dire la création d'un score stratégique spécifique pour mesurer directement la qualité de l'utilisation de la stratégie d'autorépétition, reste difficile à réaliser. De ce fait, de futures recherches permettraient de faire varier la présentation de la stratégie afin de savoir quelle est la configuration optimale permettant aux enfants de l'utiliser efficacement, et d'autres modalités d'enregistrement des comportements stratégiques des participants permettraient de créer un score stratégique plus fidèle aux comportements de l'enfant, comme l'enregistrement des verbalisations et des mouvements des lèvres par exemple.

Enfin, l'étude 3 a permis de répliquer les résultats présents dans la littérature et de fournir de nouvelles informations quant à l'apprentissage et au transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez les enfants âgés de 7 à 10 ans. En particulier, il semble que la t-UD continue d'apparaître chez les enfants plus âgés lors du transfert de cette stratégie, mais qu'elle semble transitoire puisque les performances de rappel s'améliorent après plusieurs expositions à la tâche de transfert.

Ainsi, les études 2 et 3 ont toutes deux montré que les performances de rappel et les performances stratégiques des participants âgés de 7 à 10 ans sont similaires lors de l'utilisation de l'application et du matériel tangible. Ainsi, il sera possible d'utiliser l'application dans de futures études dont les résultats pourront être comparables aux études portant sur du matériel tangible.

Chapitre 5 : Métacognition et transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez des enfants au développement typique et des enfants porteurs d'un TDC âgés de 7 à 10 ans.

Résumé :

Dans ce chapitre, nous avons cherché à évaluer les patterns de relations entre les performances stratégiques et de rappel lors de l'apprentissage et du transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez des enfants au développement typique et chez quatre enfants porteurs d'un TDC, à la lumière de leurs compétences métacognitives. Dans une étude dont la procédure est similaire à l'étude 3, les enfants devaient apprendre à utiliser la stratégie de groupement catégoriel en tâche principale et transférer la stratégie vers deux tâches de transfert. La première tâche de transfert était dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche uniquement (i.e. changement des items et des catégories). La seconde tâche de transfert était dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche et du contexte numérique (i.e. changement des items, des catégories et du contexte numérique). Les résultats ont montré que les enfants porteurs d'un TDC réussissaient, de la même manière que les enfants au développement typique, à apprendre et à transférer la stratégie de groupement catégoriel dans les deux tâches de transfert. Ces enfants ont également montré une précision métacognitive similaire à celle des enfants au développement typique. Ces résultats indiquent que l'apprentissage et le transfert d'une stratégie de mémorisation, ainsi que les compétences métacognitives qui leur sont associées sont préservés chez les enfants porteurs d'un TDC.

Communications affichées associées :

Josseron, L., Jolly, C., Clerc, J. (2022). *Un apport théorique sur le transfert des apprentissages moteurs et cognitifs chez les enfants porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination (TDC)* [Poster session]. 14e Colloque international RIPSYDEVE, Montpellier, France.

Josseron, L., Jolly, C., Clerc, J. (2024). *Metacognition and transfer of strategy learning in children with developmental coordination disorder (DCD)* [Poster session]. EARLI SIG 16 - Metacognition and Self-Regulated Learning, Heidelberg, Germany.

Communication orale associée :

Josseron, L., Jolly, C., Clerc, J. (2024). *Métacognition et transfert de stratégie chez des enfants porteurs d'un Trouble Développemental de la Coordination* [Conference session]. 16e Colloque international RIPSYDEVE, Reims, France.

Introduction

Le trouble développemental de la coordination (TDC) est un trouble du neurodéveloppement qui se manifeste principalement par des difficultés motrices importantes (APA, 2013). La difficulté de ces enfants à transférer des apprentissages, notamment dans le domaine moteur, a été soulignée par Blank et collaborateurs (2012). En effet, notre revue de portée (Chapitre 2) montre que les enfants porteurs d'un TDC rencontrent davantage de difficultés à transférer des compétences motrices que les enfants au développement typique, en particulier lorsque les tâches de transfert sont éloignées sur le continuum allant du transfert proche au transfert lointain.

Un autre résultat important de cette revue est que les enfants porteurs d'un TDC semblent avoir moins de difficulté lorsqu'il s'agit de transférer non pas des compétences motrices, mais des stratégies cognitives globales appliquées à des activités motrices. Ce constat est étayé par l'efficacité supérieure des interventions centrées sur la tâche – qui favorisent l'apprentissage de stratégies globales de résolution de problèmes – par rapport aux interventions focalisées uniquement sur l'entraînement de processus moteurs (Polatajko et al., 2005). Ces approches centrées sur la tâche sont d'ailleurs recommandées dans les lignes directrices nationales (INSERM, 2019 ; Vaivre-Douret et al., 2021) et internationales (Blank et al., 2012). En effet, si ces enfants rencontrent des difficultés à transférer des apprentissages moteurs dans de nouvelles situations, alors enseigner des stratégies cognitives, pour lesquelles ils n'auraient pas de difficultés, pourrait constituer une voie privilégiée pour aider les enfants TDC à accomplir les tâches de la vie quotidienne et scolaire. L'apprentissage de ces stratégies permettrait alors un transfert plus lointain, c'est-à-dire le transfert vers un ensemble de tâches plus variées présentes dans la vie quotidienne et scolaire des enfants.

Dans cette perspective, plusieurs auteurs, notamment Sangster Joki´c et Whitebread (2011), encouragent les recherches sur les capacités des enfants avec un TDC à apprendre des stratégies cognitives, en insistant sur l'importance d'étudier les compétences métacognitives associées. L'existence d'un déficit métacognitif chez ces enfants a déjà été évoquée (Blank et al., 2012). Deux études (Martini et al., 2004 ; Sangster et al., 2005) ont mis en évidence chez ces enfants des difficultés métacognitives, notamment de *monitoring*, ainsi que des difficultés dans leur capacité à sélectionner des stratégies adéquates dans des tâches motrices.

Des difficultés métacognitives dans des tâches mnésiques ont été observées chez des enfants porteurs d'autres troubles du neurodéveloppement. On peut citer notamment Furlano et collaborateurs (2015), qui ont montré que les enfants porteurs d'un trouble du spectre autistique présentaient un déficit du *monitoring* dans une tâche académique. Chez les enfants porteurs d'un TDC, les recherches sur la métacognition se sont principalement centrées sur des tâches motrices (Martini et al., 2004 ; Sangster et al., 2005), à raison car les difficultés motrices sont au cœur des difficultés vécues par ces enfants. Cependant, aucune n'a porté sur des tâches cognitives non motrices.

Or, la métacognition joue un rôle clé dans l'utilisation et le transfert de stratégies : le contrôle métacognitif permet de réguler l'emploi des stratégies dans une tâche donnée, tandis que le *monitoring* permet de reconnaître les situations dans lesquels une stratégie apprise peut être réutilisée et il permet également d'ajuster l'utilisation des stratégies en fonction des feedbacks de la tâche (Wojcik et al., 2022). Cela justifie l'intérêt d'évaluer les capacités métacognitives des enfants porteurs d'un TDC dans un contexte non moteur.

Étudier les capacités à apprendre une stratégie de mémorisation et son transfert à la lumière des compétences métacognitives dans cette population présente plusieurs intérêts. D'une part, les stratégies mnésiques sont des comportements volontaires, dont l'utilisation reflète à la fois des compétences de mémorisation volontaire et des habiletés métacognitives (Efklides & Schwartz, 2024). D'autre part, l'évaluation de ces stratégies permet une double évaluation : un score stratégique, mesurant le degré d'utilisation et la qualité de la stratégie, et un score de rappel, reflétant son efficacité. La combinaison de ces deux mesures permet d'évaluer les patterns de relation stratégie-rappel, et ainsi de mieux comprendre les mécanismes cognitifs engagés dans la production volontaire d'une stratégie. Enfin, les connaissances actuelles sur les mécanismes cognitifs qui sous-tendent les difficultés scolaires, ainsi que les compétences mnésiques, des enfants porteurs d'un TDC, restent limitées (INSERM, 2019 ; Harrowell et al., 2018).

Chez les enfants au développement typique, le transfert lointain de stratégies est généralement difficile à observer contrairement au transfert proche réputé plus facile (Sala & Gobet, 2017). Toutefois, des travaux antérieurs (Clerc et al. 2021), confirmés par les résultats de l'étude 3 (Chapitre 3), ont montré que même dans le cadre d'un transfert proche, des difficultés d'adaptation stratégique en tâche de transfert, résultant en l'apparition d'une t-UD

(transfer-Utilization Deficiency ou déficience d'utilisation due au transfert), peuvent apparaître chez les enfants.

Dans la présente étude, nous reprenons la méthodologie de l'étude 3 avec l'utilisation d'une tâche de rappel verbal d'items visuels et de la stratégie de groupement catégoriel, en introduisant plusieurs variations des tâches de transfert basées sur le modèle conceptuel de Klahr et Chen (2011). Après le prompt de la stratégie de groupement catégoriel, deux tâches de transfert seront présentées. Une première tâche de transfert dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche elle-même (nouveaux items et nouvelles catégories), et une seconde tâche de transfert dissimilaire à la tâche principale à la fois sur les caractéristiques de tâche (nouveaux items et nouvelles catégories) et de contexte numérique (en intégrant des éléments distracteurs visuellement attractifs – appelés détails attrayants (*seductives details* ; Wang & Adesope, 2014) - sur l'interface numérique), permettront d'évaluer les capacités des enfants à transférer la stratégie dans plusieurs tâches de transfert sur le continuum transfert proche / transfert lointain.

En effet, la dissimilarité à la fois des caractéristiques de la tâche et du contexte numérique conduit à l'obtention d'une situation de transfert plus distante que lorsque seules varient les caractéristiques des deux tâches (Klahr & Chen, 2011). Récemment, l'étude de Mombo et collaborateurs (2024) portant sur le transfert de résolution de problème, a montré que la dissimilarité conjointe de la tâche et du contexte numérique en tâche de transfert a un impact sur les performances des enfants. Par ailleurs, il semble que la dissimilarité du contexte seul entre la tâche principale et la tâche de transfert à également un impact sur les performances des enfants.

Nous formulons donc l'hypothèse que les enfants au développement typique présenteront une t-UD, c'est-à-dire un maintien des performances stratégiques, mais une chute des performances de rappel pour chacune des tâches de transfert, mais avec une t-UD plus marquée dans la tâche combinant dissimilarité de tâche et de contexte. En effet, la t-UD est caractérisée par une charge cognitive importante en tâche de transfert, qui serait liée à l'adaptation de la stratégie aux nouvelles caractéristiques de la tâche. Ainsi, la situation de transfert comprenant à la fois de nouvelles caractéristiques de la tâche et l'ajout de détails attrayants sur l'interface numérique devrait créer une charge cognitive plus importante que le changement des caractéristiques de la tâche seule. Les détails attrayants dans le contexte numérique n'étant pas pertinents pour l'exécution de la tâche à proprement parler (i.e. utiliser

la stratégie de groupement catégoriel pour mémoriser les items), la charge cognitive des enfants sera d'autant plus élevée.

Par ailleurs, nous nous attendons également à un rebond des performances au second essai de chaque tâche de transfert, qui témoignera de l'adaptation aux nouvelles caractéristiques de la tâche. Il est également possible d'émettre l'hypothèse que le rebond de performances sera moins important au deuxième essai de la tâche de transfert dissimilaire à la fois sur la tâche et le contexte. La dissimilarité cumulée de la tâche et du contexte numérique dans cette tâche de transfert impliquerait une adaptation plus lente que lorsque seules les caractéristiques de la tâche changent.

En parallèle, les enfants devront produire des jugements globaux d'apprentissage (JOLs) avant et après la phase d'encodage. Ces jugements permettront : (1) d'évaluer la précision de leurs prédictions de performance au rappel ; (2) d'examiner l'évolution de cette précision au cours des différents essais en tâche principale et en tâche de transfert et (3) de comparer les jugements pré- et post-apprentissage. Nous faisons tout d'abord l'hypothèse que les jugements pré- et post- apprentissage seront de plus en plus précis à travers les essais de la tâche principale, des études montrant que les participants sont de plus en plus précis au fur et à mesure des essais d'une tâche de rappel (Silva et al., 2017 ; Wojcik et al., 2022). Puis, de bonnes capacités de *monitoring* se traduiront par des jugements post-apprentissages plus précis que les jugements pré-apprentissages, car le fait d'avoir accès aux informations venant de la tâche permettrait de mettre à jour la prédiction de performance après la phase d'encodage, la rendant plus précise. En effet, les prédictions pré-apprentissages sont basées sur les connaissances préalables des participants concernant le fonctionnement de leur mémoire, alors que les prédictions post-apprentissage sont basées sur l'expérience acquise lors de l'apprentissage du matériel (Koriat & Levy-Sadot, 1999). Cette précision post-apprentissage sera supérieure aux prédictions pré-apprentissages, en particulier lors du premier essai de chaque tâche de transfert, alors que l'enfant découvre que la stratégie déjà apprise peut à nouveau être utilisée.

Si les enfants porteurs d'un TDC rencontrent des difficultés d'apprentissage de la stratégie, alors cela se traduira par de moins bonnes performances que les enfants au développement typique en tâche principale. En cas de difficulté spécifique au transfert, on s'attend à une absence de transfert (chute des performances stratégiques et de rappel) ou à une t-UD (maintien des performances stratégiques, mais chute des performances de rappel) plus accentuée (i.e. la chute des performances de rappel sera plus importante malgré le maintien des

performances stratégiques). Enfin, un déficit du *monitoring* métacognitif pourrait se manifester par des jugements de performance moins précis, avec la présence d'une sur- ou sous-estimation de leurs performances mnésiques.

Méthode

Participants

Cinquante-six participants âgés de 7 à 10 ans (N = 56, $M_{âge}$ = 8.85 ans, $ET_{âge}$ = 1.03 ans, 33 garçons) au développement typique et 4 enfants porteurs d'un TDC âgés de 7 à 10 ans ont participé à cette étude. Les familles des participants ont reçu un formulaire de consentement et ont donné leur accord pour que leur enfant participe à cette étude. L'accord oral des enfants était demandé avant le début des passations. Les enfants au développement typique ont été rencontrés au sein de leur école, avec l'accord de l'académie de Grenoble, et les enfants porteurs d'un TDC ont été rencontrés à domicile. Cette étude a reçu un avis favorable du comité éthique de l'Université Grenoble Alpes (CERGA-Avis-2022-9). Deux participants au développement typique ont été exclus, car ils n'ont pas terminé l'ensemble de l'étude, et un enfant a été exclu car il ne connaissait pas certaines images présentées pendant la tâche de rappel.

Inclusion des participants au développement typique. Un questionnaire réalisé auprès des familles des participants a permis de vérifier que les enfants au développement typique ne présentaient pas de troubles du neurodéveloppement, d'affection neurologique ou motrice, présentaient une vue normale ou corrigée à la normale, et parlaient le français couramment. L'absence de difficulté motrice chez ces enfants a été évaluée à travers 3 sous-tests du MABC-2. Trois participants ont été exclus pour l'une des raisons suivantes : Ne connaissait pas le nom de plusieurs images présentées (N = 1), n'ont pas réalisé toutes les phases de l'étude (N = 2).

Inclusion des participants porteurs d'un TDC. Les quatre enfants porteurs d'un TDC inclus dans cette étude répondaient aux quatre critères diagnostiques du DSM-5 pour le TDC. Tous présentaient un score égal ou inférieur au 16e percentile au test complet ou à l'un des sous-scores du MABC-2 (Critère A). Le questionnaire du MABC-2 (MABC-2 Checklist), réalisé auprès des familles des enfants porteurs d'un TDC a montré que les difficultés motrices des enfants interféraient avec les activités de la vie quotidienne et scolaire (Critères B et C). De

plus, les familles des enfants porteurs d'un TDC ont confirmé l'absence de trouble intellectuel ou d'atteinte neurologique chez leur enfant (Critère D). Les familles ont également confirmé l'absence de comorbidités avec d'autre trouble du neurodéveloppement. Les enfants porteurs d'un TDC ont été rencontrés par l'intermédiaire de professionnels ergothérapeutes et psychomotriciens, en région Auvergne-Rhône-Alpes et en région Île-de-France.

Procédure

Les différentes étapes de la procédure sont présentées en Figure 39. La procédure de cette étude est similaire à celle de l'étude 3, une nouvelle tâche de transfert faisant varier à la fois la tâche et le contexte numérique ayant néanmoins été ajoutée. La tâche principale et les tâches de transfert sont présentées en Figure 38. Le nombre d'items a été diminué par le retrait d'un item par catégorie, les essais de cette étude comportent donc 16 items au lieu de 20 dans l'étude 2b. Les enfants portaient également un oculomètre portatif pendant la réalisation des différents essais afin d'observer les mouvements oculaires lors de l'exposition aux différentes tâches comprenant ou non des détails attrayants. Cependant, les analyses liées à cette mesure ne seront pas présentées dans le cadre de ce travail de thèse.

Tous les enfants ont été reçus individuellement et ont réalisé l'ensemble des essais en une seule séance d'environ 50 minutes. Pour chaque essai, l'enfant doit effectuer une tâche de rappel libre. Une liste de 16 images lui est présentée sur l'écran positionné face à lui. Une phase d'encodage permet à l'enfant d'observer les images pendant 1 minute minimum et jusqu'à 2 minutes. Pendant cette phase, il peut déplacer les images sur l'écran, puis les images disparaissent de l'écran et l'enfant doit rappeler l'ensemble des images qu'il a mémorisées. Une capture d'écran de la dernière configuration des images est réalisée par l'application avant que les images ne soient retirées, ce qui permet de garder une trace des déplacements réalisés par l'enfant et de calculer le score stratégique au *sorting*. L'enfant doit réaliser 6 essais en tâche principale, 2 essais en tâche de transfert 1, et 2 essais en tâche de transfert 2. Il est demandé à l'enfant d'émettre un jugement pré-apprentissage et post-apprentissage avant et après chaque phase d'encodage.

Matériel

MABC-2. La batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant – 2de édition (MABC-2 ; Henderson et al., 2007) a été utilisée pour évaluer les performances motrices des enfants. Ce test comprend 8 sous-tests répartis dans trois composantes de la motricité : Dextérité manuelle, Viser/Attraper et Equilibre. Les scores aux sous-tests sont standardisés ainsi que le score total. L'absence de difficultés motrices a été évaluée chez les enfants au développement typique à travers 3 sous tests pour la tranche d'âge 7-10 ans : Placer les chevilles main préférée (dimension Dextérité Manuelle), Lancer le sac lesté sur le tapis (dimension Viser/Attraper), et Marcher talon-pointe (dimension Équilibre). Ces trois items ont été sélectionnés pour leurs propriétés psychométriques (Psotta & Abdollahipour, 2017), cette procédure a déjà été utilisée pour évaluer la prévalence du TDC chez l'enfant (Lingam et al., 2009). Les enfants au développement typique étaient exclus si les trois notes standardisées étaient inférieures au 15e percentile. Les enfants porteurs d'un TDC ont réalisé le test complet, le critère d'inclusion était un score total ou l'un des sous-scores au MABC-2 inférieur au 16e percentile (Critère A).

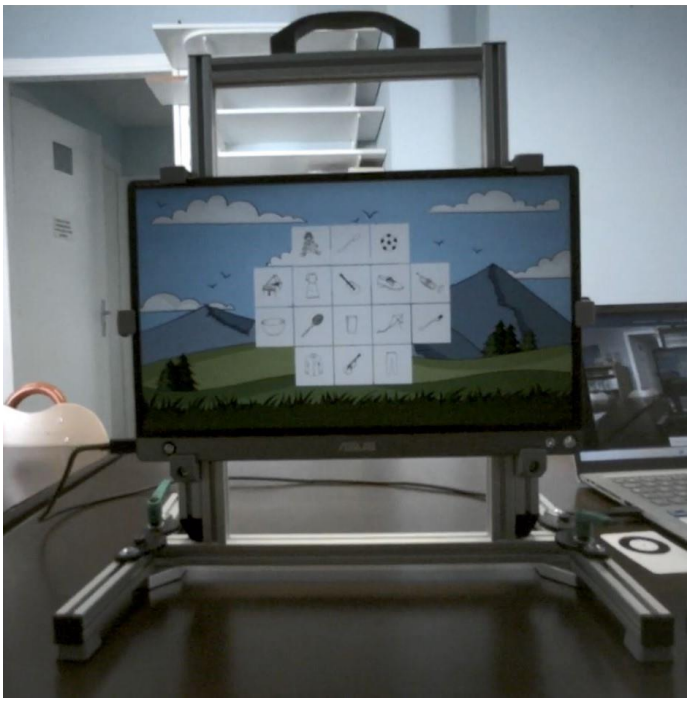
Images. Les listes d'images ainsi que les normes associées sont disponibles en Annexe 5. Trois listes de 16 images composées de 4 catégories de 4 items chacune ont été créées. Les images des deux listes ont été sélectionnées dans la base de données de Snodgrass et Vanderwart (1980), et dans la base de données BD2I (Cannard et al., 2016). Les normes pour l'accord du nom, l'accord de l'image, la familiarité conceptuelle, la complexité visuelle et la variabilité sont tirées des normes chez les participants français (Alario & Ferrand, 1999). L'âge d'acquisition des noms des images a été évalué par Chalard et collaborateurs (2003) chez des participants français. Le Manulex (Lété et al., 2004) a été utilisé pour estimer la fréquence des noms des images. Les trois listes ont été contrebalancées entre la tâche principale et les deux tâches de transfert.

Présentation des images. Les images sont présentées à travers l'application *StratégiesMnésiques* présentée sur un écran tactile ASUS© ZenScreen Touch MB16AMT de 15,6'', présenté face à l'enfant sur un support métallique. Le matériel expérimental est présenté en figure 37. Les images apparaissent dans un rectangle de 4x4 items. Les positions des images sont différentes d'un essai à l'autre, mais une image n'est jamais adjacente à une autre image de la même catégorie.

Oculomètre. Les enfants ont porté un système d'oculométrie TOBII© PRO GLASSES V3 portatif pendant chaque phase d'encodage.

Figure 37

Matériel expérimental



Notes. L'écran tactile est disposé sur un support métallique face à l'enfant.

Dénomination et familiarisation

Dénomination. Une tâche de dénomination a permis de s'assurer que les enfants connaissaient toutes les images qui seraient présentées lors des différents essais. Si un enfant nommait une image différemment de ce qui était attendu, l'expérimentateur lui fournissait le nom correct. À la fin de la tâche de dénomination, l'expérimentateur demandait à l'enfant de renommer toutes les images mal identifiées afin de vérifier le nom de l'item.

Familiarisation. À la suite de la tâche de dénomination, un essai de familiarisation était proposé pour présenter les consignes à l'enfant et lui montrer qu'il avait la possibilité de déplacer les images s'il le souhaitait. Montrer aux enfants le déplacement des images permettait

(1) d'indiquer le fonctionnement cliquer-déposer de l'application et (2) d'inciter le *sorting* s'ils utilisaient la stratégie de groupement catégoriel. Cet essai de familiarisation comprenait soit 8 images (pour les enfants de 7 à 8 ans), soit 12 images (pour les enfants de 9 à 10 ans), et les images de la phase de familiarisation ne pouvaient pas être regroupées en catégorie.

Tâche principale

Lors de la phase principale, les enfants ont réalisé deux essais de pré-test, suite auxquels l'expérimentateur fournissait la stratégie de groupement catégoriel, puis les enfants réalisaient deux essais de prompt puis deux essais de post-test. Enfin les enfants réalisaient deux essais pour chacune des tâches de transfert.

Pré-test. La tâche est présentée comme un jeu dans lequel l'enfant doit retenir le plus d'images possible. Lors de deux essais de pré-test, les images sont présentées à l'enfant (encodage), puis elles disparaissent de l'écran et l'enfant doit alors rappeler le plus d'images possible. Ces deux premiers essais de pré-test permettent d'évaluer l'utilisation spontanée de la stratégie de groupement catégoriel par les enfants, sans qu'aucun indice sur l'utilisation possible de cette stratégie ne lui soit donné.

Démonstration de la stratégie de groupement catégoriel. L'expérimentateur explique puis montre l'utilisation de la stratégie à l'enfant. On demande à l'enfant d'organiser les images sur l'écran en catégories, c'est-à-dire de rassembler dans chaque angle de l'écran, les différentes images faisant partie d'une même catégorie. Ainsi, l'expérimentateur déplace une image (par exemple, l'image « chat ») et pose la question suivante à l'enfant : « Est-ce que tu penses qu'il y a d'autres images qui vont avec le chat ? », ainsi l'enfant est invité à déplacer les images de sorte à rassembler les images de la catégorie « animaux ». L'ensemble des images de la catégorie animaux est alors désigné par l'expérimentateur comme un groupe, et il est demandé à l'enfant de labéliser la catégorie. L'expérimentateur demande à l'enfant s'il est possible de faire d'autres groupes avec les images restantes. L'expérimentateur accompagne l'enfant dans la réalisation de chaque catégorie, en lui demandant de labéliser les catégories, et en lui demandant de disposer les groupes d'images dans chaque angle de l'écran. Enfin, la stratégie est présentée, l'enfant est invité à mémoriser les catégories et chaque item des catégories pendant la phase d'encodage.

Prompt. Lors de deux essais, l'enfant est invité à utiliser la stratégie seul. Si l'enfant exécute mal la stratégie lors du premier essai, elle lui est rappelée avant de commencer le second

essai. Si l'enfant utilise déjà la stratégie spontanément, l'examinateur présente la stratégie de la même manière puis l'enfant réalise les deux essais. La liste d'images présentée lors des deux essais de prompt est la même que celle présentée lors des deux essais de pré-test.

Post-test. Les items sont à nouveau présentés à l'enfant sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser. La liste d'images présentée lors des deux essais de post-test est la même que celle présentée lors des deux essais de pré-test et de prompt.

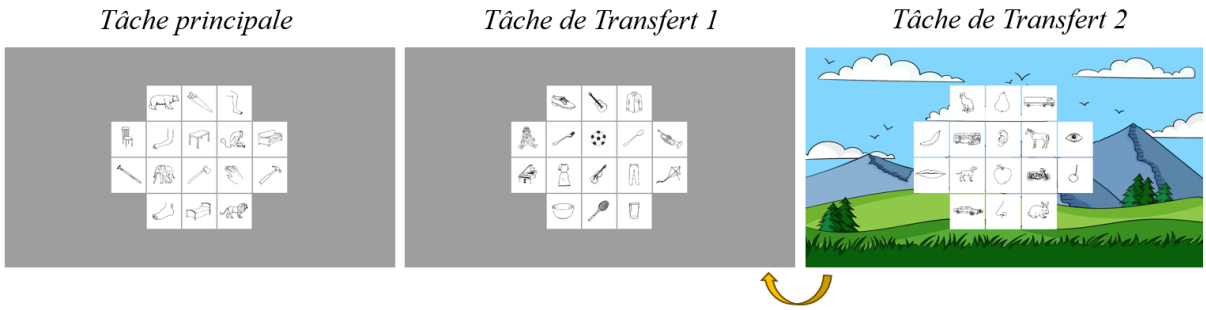
Tâches de transfert

Tâche de transfert 1. Une nouvelle liste d'images est présentée à l'enfant lors de deux essais, sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser**.** Le changement des items demande à l'enfant d'adapter la stratégie en réalisant de nouvelles catégories. Ce changement unique des caractéristiques de la tâche en tâche de transfert peut être caractérisé comme proche sur le continuum transfert proche / transfert lointain (Klahr & Chen, 2011). Lors de cette tâche, les enfants savent que les images vont être modifiées, mais ne savent pas s'ils vont pouvoir utiliser à nouveau la stratégie.

Tâche de transfert 2. Une nouvelle liste d'images est présentée à l'enfant lors de deux essais, sans que l'expérimentateur ne le guide sur la stratégie à utiliser**.** De plus, le contexte numérique change avec l'ajout de détails attrayants (Wang et al., 2016). Le changement des items et du contexte demande à l'enfant d'adapter la stratégie en réalisant de nouvelles catégories et en s'adaptant à un nouvel environnement numérique. Ces changements des caractéristiques de la tâche et du contexte en tâche de transfert 2 peuvent être caractérisés comme correspondant à du transfert proche, mais la tâche s'éloigne sur le continuum transfert proche / transfert lointain par rapport à la tâche de transfert 1 pour laquelle seules les caractéristiques de la tâche (les items) changent. Lors de cette tâche, les enfants savent que les images vont être modifiées, mais ne savent pas s'ils vont pouvoir utiliser à nouveau la stratégie. L'ordre des tâches de transfert 1 (dissimilarité de la tâche) et de transfert 2 (dissimilarité de la tâche et du contexte) a été contrebalancé.

Figure 38

Tâches principale et de transfert



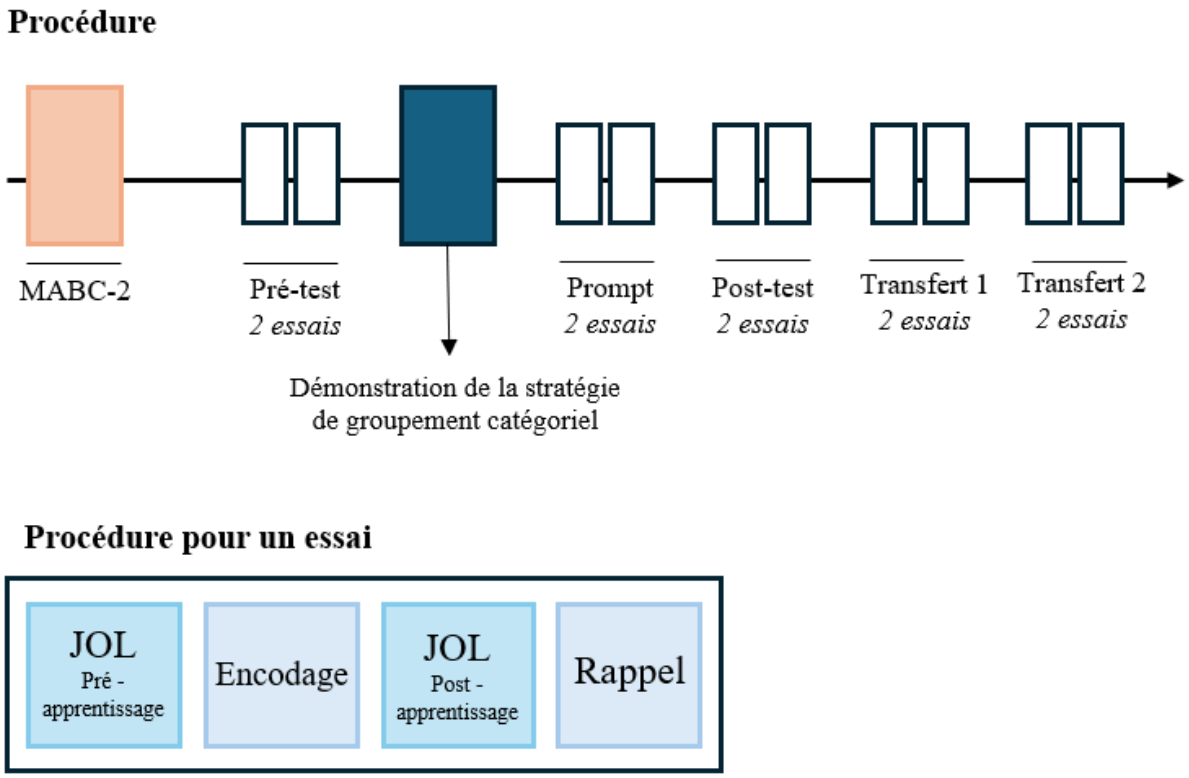
Notes. L'ordre de présentation des listes a été contrebalancé entre les 3 tâches. L'ordre de présentation des tâches de transfert 1 et 2 a été contrebalancé. La tâche principale est présentée lors des essais de pré-test, de *prompt* et de post-test.

Métacognition

Deux types de jugement globaux d'apprentissage (Jugement of Learning ; JOL) ont été demandés aux enfants à chaque essai. Le jugement pré-apprentissage (pré-JOL) a été demandé avant la phase d'encodage : « Tu vas regarder 16 images, combien d'images penses-tu pouvoir mémoriser ? ». Le jugement post-apprentissage (post-JOL) a été demandé après la phase d'encodage et avant le rappel : « Maintenant que tu as vu les images, combien d'images penses-tu pouvoir me rappeler ? ».

Figure 39

Représentation schématique de la procédure globale et de la procédure pour un essai



Note. JOL = Jugement of learning

Résultats

Mesures

Rappel. Les scores de rappel correspondent au nombre d'items rappelés. Le score maximum est de 16.

Sorting. Le *sorting* correspond au score stratégique pendant l'encodage. Il renseigne sur la qualité des catégories réalisées par l'enfant en déplaçant les images pendant l'encodage. Le score ARC (Adjusted Ratio of Clustering, Roenker et al., 1971) a été calculé sur la base de la dernière disposition des images pendant l'encodage. Le score ARC, est indépendant du score de rappel et varie de -1 à 1, avec un score de 1 indiquant un *sorting* parfait (les images ont été déplacées en catégorie), un score ARC de 0 ou inférieur est considéré comme un *sorting* au

niveau de la chance. À l'inspection de la dernière disposition des images à l'encodage, une répétition a été comptée lorsque deux images de la même catégorie étaient adjacentes.

Clustering. Le *clustering* correspond au score stratégique au rappel. Il peut être mesuré également avec le score ARC. De la même manière le score ARC au clustering varie de -1 à 1, avec un score de 1 indiquant un *clustering* parfait (tous les items d'une catégorie sont rappelés en premier, puis tous ceux de la seconde catégorie, etc.), un score ARC de 0 ou inférieur est considéré comme un *clustering* au niveau de la chance. Dans le cas du *clustering*, une répétition a été comptée lorsque deux noms d'images d'une même catégorie ont été rappelés successivement. Les intrusions (mots rappelés autres que ceux de la liste fournie à l'enfant) et persévérations (plusieurs rappels du même mot) ne sont pas prises en compte dans le calcul du score ARC.

Précision métacognitive. La précision a été calculée en utilisant la méthode d'écart non directionnel (non-directional discrepancy ; Hertzog et al., 1994). La précision est estimée comme une différence non signée entre le score de rappel et le jugement métacognitif. Ainsi, plus le score est faible, plus la précision est élevée. La précision métacognitive a été calculée pour les jugements pré-apprentissages et pour les jugements post-apprentissages.

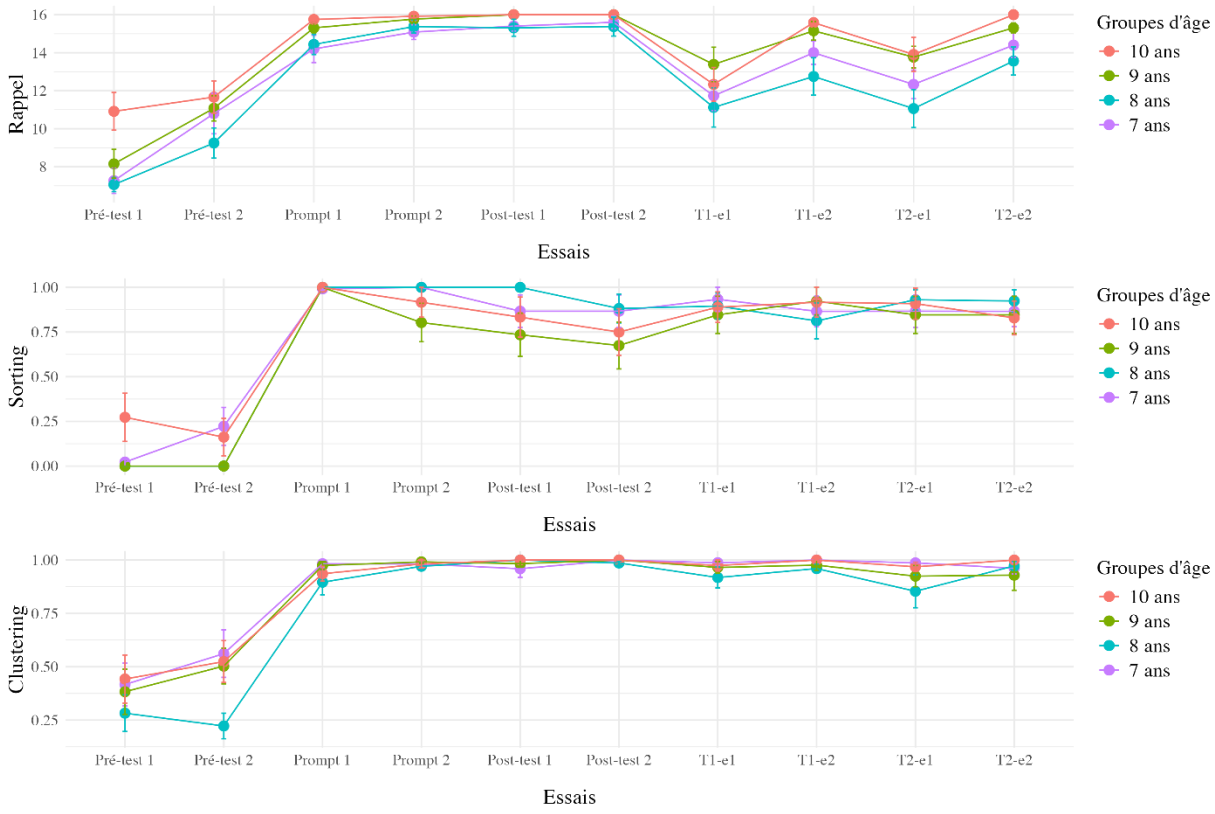
Analyses chez les enfants au développement typique

Évaluation de l'apprentissage et du transfert de la stratégie de groupement catégoriel. Après nous être assuré que les enfants maîtrisent la stratégie en tâche principale, nous évaluerons son transfert vers les deux tâches de transfert.

Pour cela, des analyses en modèles mixtes seront utilisées afin de prendre en compte les effets aléatoires liés aux participants ainsi qu'aux différentes classes dans lesquelles les participants ont été recrutés. Nous avons utilisé R (R Core Team, 2012) et lme4 (Bates et al., 2015). Les valeurs p ont été obtenues par l'approximation de Satterthwaite avec le package lmerTest (Kuznetsova et al., 2015). Une correction de Bonferroni sera appliquée pour les tests multiples ($ps < .008$). Les représentations graphiques des performances de rappel et des performances stratégiques au *sorting* et au *clustering* en fonction de la tranche d'âge sont présentées en Figure 40.

Figure 40

Représentations graphiques des performances de rappel et des performances stratégiques en fonction l'âge



Notes. T1-e1 = Transfert 1 essai 1 ; T1-e2 = Transfert 1 essai 2 ; T2-e1 = Transfert 2 essai 1 ; T2-e2 = Transfert 2 essai 2

Apprentissage de la stratégie en tâche principale

La comparaison entre les essais de pré-test 1 et de post-test 2 permettra d'évaluer l'efficacité du prompt de la stratégie par l'évolution des performances de rappel et stratégiques en tâche principale.

Trois ANOVA à mesures répétées en modèles mixtes ont été réalisées sur les scores de rappel, de *sorting* et de *clustering*, avec les essais comme variable intra-sujet (Pré-test 1 vs. Post-test 2) et l'âge comme variable inter-sujet continue (âge en mois).

Rappel. L'analyse en modèle mixte, incluant les intercepts aléatoires pour les participants et les classes, montre un effet principal de l'essai, indiquant que les performances de rappel à l'essai de pré-test 1 (M = 8.20, ET = 2.91) sont significativement inférieures aux

performances de rappel à l'essai post-test 2 (M = 15.71, ET = 1.26, t(54) = 5.57, p < .001). On observe également un effet principal de l'âge (t(18.96) = 3.05, p = .006), et un effet d'interaction significatif entre l'âge et l'essai (t(54) = -3.19, p = .002).

Sorting. L'analyse en modèle mixte incluant l'intercept aléatoire pour les participants montre un effet principal de l'essai, indiquant que les performances de *sorting* augmentent entre l'essai pré-test 1 (M = 0.00, ET = 0.00) et l'essai post-test 2 (M = 0.77, ET = 0.44, t(52.79) = 4.31, p < .001). L'analyse montre également un effet d'interaction significative entre le facteur essai et l'âge (t(52.99) = -2.79, p = .007).

Clustering. Les analyses concernant les performances de *clustering* entre les essais de pré-test 1 et de post-test 2 montrent une absence d'effet principal de l'essai et de l'âge et une absence d'effet d'interaction significatif.

Ces résultats montrent que les performances de rappel associées aux performances stratégiques au *sorting* ont augmenté entre le premier et le dernier essai de la tâche principale, indiquant que le prompt de la stratégie a permis l'amélioration des performances des enfants à la tâche, et que cette amélioration des performances dépend de l'âge.

De la tâche principale à la première tâche de transfert

Rappel. L'analyse, incluant les intercepts aléatoires pour les participants et les classes, indique que les performances de rappel au premier essai de la première tâche de transfert (M = 13.15, ET = 3.02) sont significativement inférieures à celles du dernier essai de tâche principale (M = 16.00, ET = 0.00, t(108) = -3.17, p = .001). Cependant, l'analyse a également montré que les performances de rappel entre le premier (M = 13.15, ET = 3.02) et le second essai de la première tâche de transfert (M = 15.00, ET = 1.78) ne sont pas significativement différentes.

Sorting. L'analyse, incluant l'intercept aléatoire pour les participants, indique que les performances de *sorting* se maintiennent entre le dernier essai de la tâche principale et le premier essai de la première tâche de transfert, ainsi qu'entre le premier essai et le second essai de la première tâche de transfert. L'analyse montre également une absence d'effet principal de l'âge et une absence d'effet d'interaction significatif.

Clustering. De la même manière l'analyse, incluant l'intercept aléatoire pour les participants et les classes, indique que les performances de *clustering* se maintiennent entre le dernier essai de la tâche principale et le premier essai de la première tâche de transfert, ainsi

qu'entre le premier essai et le second essai de la première tâche de transfert. L'analyse montre également une absence d'effet principal de l'âge et une absence d'effet d'interaction significatif.

Ainsi, les performances de rappel chutent entre la tâche principale et le premier essai de la première tâche de transfert malgré un maintien des performances stratégiques. De plus, les performances de rappel ne semblent pas s'améliorer significativement entre le premier et le second essai de la première tâche de transfert, également malgré un maintien des performances stratégiques.

De la tâche principale à la seconde tâche de transfert

Rappel. L'analyse en modèle mixte, incluant les intercepts aléatoires des participants et des classes, montre que les performances de rappel ne sont pas significativement différentes entre la tâche principale et le premier essai de la seconde tâche de transfert, et se maintiennent au deuxième essai de la seconde tâche de transfert.

Sorting. L'analyse, incluant l'intercept aléatoire pour les participants, indique que les performances de *sorting* se maintiennent entre le dernier essai de la tâche principale et le premier essai de la seconde tâche de transfert, ainsi qu'entre le premier essai et le second essai de la seconde tâche de transfert. L'analyse montre également une absence d'effet principal de l'âge et une absence d'effet d'interaction significatif.

Clustering. De la même manière l'analyse, incluant l'intercept aléatoire pour les participants et les classes, indique que les performances de *clustering* se maintiennent entre le dernier essai de la tâche principale et le premier essai de la seconde tâche de transfert, ainsi qu'entre le premier essai et le second essai de la seconde tâche de transfert. L'analyse montre également une absence d'effet principal de l'âge et une absence d'effet d'interaction significatif.

Ainsi, les analyses montrent que les performances de rappel et les performances stratégiques se maintiennent entre le dernier essai de la tâche principale et les deux essais de la seconde tâche de transfert. De plus les performances de rappel ne semblent pas s'améliorer significativement entre le premier et le second essai de la seconde tâche de transfert.

Précision métacognitive

La magnitude moyenne et la précision moyenne en fonction du type de prédiction (pré- et post-apprentissage) et de l'essai des tâches de transfert 1 et de transfert 2, ainsi que les scores de rappel moyen sont présentés dans le Tableau 5.

Tâche principale. Une ANOVA mixte à trois facteurs testant les interactions entre les essais (Pré-test 1 vs. Post-test 2, les types de prédictions (pré-JOLs vs. post-JOLs) et l'âge en continu a été réalisée sur les scores de précision.

L'analyse ne montre pas d'effet principal de la prédiction, indiquant que les précisions pré- et post-apprentissages ne diffèrent pas. L'effet principal de l'essai est significatif ($F(1, 52) = 6.73$, $p = .01$, $\eta^2p = .11$), indiquant que les jugements pré- et post- apprentissages plus précis lors de l'essai post-test 2 ($M = .91$; $ET = .31$) que lors de l'essai pré-test 1 ($M = 3.04$; $ET = .32$). Aucun autre effet significatif n'a été révélé par l'analyse.

Ces résultats indiquent que les enfants font des prédictions de leurs performances pré- et post apprentissages plus précis au sixième essai de la tâche principale qu'au premier essai, et confirment notre hypothèse : les enfants sont de plus en plus précis au cours des essais de la tâche principale. Cependant, les jugements post-apprentissages ne sont pas plus précis que les jugements pré-apprentissages.

Première tâche de transfert. Une ANOVA mixte à trois facteurs testant les interactions entre les 3 essais (Post-test 2 ; T1-e1 ; T1-e2), les types de prédictions (pré-JOLs vs. post-JOLs) et l'âge en continu a été réalisée sur les scores de précision.

L'analyse ne montre pas d'effet principal de la prédiction, indiquant que les précisions pré- et post apprentissages ne diffèrent pas. L'effet principal significatif ($F(1, 104) = 6.53$, $p = .002$, $\eta^2p = .11$) indique que la précision des jugements pré- et post- apprentissage chutent entre le dernier essai de la tâche principale ($M = .91$; $ET = .31$) et le premier essai de la tâche de transfert ($M = 3.95$; $ET = .40$, $t(52) = -6.37$, $p < .001$, $d = -.88$). De plus, la précision s'améliore entre le premier essai de tâche de transfert et le second essai de tâche de transfert ($M = 2.30$; $ET = .43$, $t(52) = 3.22$, $p = .007$, $d = .48$). Aucun autre effet significatif n'a été révélé par l'analyse.

Seconde tâche de transfert. Une ANOVA mixte à trois facteurs testant les effets principaux et interactions entre les 3 essais (Post-test 2 ; T2-e1 ; T2-e2), les types de prédictions (pré-JOLs vs. post-JOLs) et l'âge en continu a été réalisée sur les scores de précision. L'analyse n'a révélé ni effets principaux ni effets d'interaction significatifs.

Ces résultats indiquent que les précisions pré- et post-apprentissages ne diffèrent pas significativement entre les essais contrairement à nos hypothèses. En revanche, et comme

attendu, en tâche principale, la précision des deux types de jugement augmente entre le premier et le dernier essai. De plus, lors du passage à la première tâche de transfert la précision pré- et post-apprentissage des participants chute significativement, indiquant qu'ils prédisent moins bien leurs performances lors du premier essai de ces deux tâches. Mais leurs prédictions s'améliorent au deuxième essai de tâche de transfert. Cependant, ceci n'était pas le cas pour la seconde tâche de transfert pour laquelle la précision pré- et post-apprentissage s'est maintenue.

Tableau 5

Magnitude et précision moyennes en fonction du type de prédiction (pré- et post-apprentissage) et de l'essai pour la tâche de transfert 1 et la tâche de transfert 2

	Tâche de transfert 1 M(ET)					
	Essai 1			Essai 2		
	JOL -pré	JOL-post	Rappel	JOL-pré	JOL-post	Rappel
Magnitude	11.39 (4.40)	12.28 (3.97)	12.07 (3.45)	13.96 (3.19)	14.19 (3.34)	14.25 (2.77)
Précision	4.16 (3.60)	4.07 (3.86)		2.82 (4.21)	2.43 (3.91)	

	Tâche de transfert 2 M(ET)					
	Essai 1			Essai 2		
	JOL-pré	JOL-post	Rappel	JOL-pré	JOL-post	Rappel
Magnitude	11.86 (3.86)	11.96 (3.46)	12.62 (3.28)	14.29 (2.88)	14.02 (3.35)	14.69 (2.26)
Précision	3.64 (3.97)	3.64 (3.97)		1.83 (2.85)	2.13 (3.52)	

Note. M = Moyenne ; ET = Ecart type ; JOL-pré = *jugement of learning* pré-apprentissage ; JOL-post = *jugement of learning* post-apprentissage.

Quatre études de cas chez les enfants porteurs d'un TDC

Quatre enfants porteurs d'un TDC âgés de 7 à 10 ans ont participé à cette étude. Afin d'évaluer leurs capacités à apprendre la stratégie de groupement catégoriel et à la transférer, nous avons effectué des comparaisons entre chaque enfant et le groupe d'enfants au développement typique apparié en âge. L'ordre des tâches de transfert ayant été contrebalancé, les enfants porteurs d'un TDC seront comparés à des groupes contrôles d'enfants au développement typique ayant été exposés au même ordre d'apparition des tâches de transfert. Les informations descriptives des 4 enfants porteurs d'un TDC sont présentées dans le Tableau 6. Dans le but de comparer les enfants porteurs d'un TDC aux enfants au développement

typique, nous avons comparé la différence entre les essais d'intérêt pour chaque enfant porteur d'un TDC avec les différences entre les essais d'intérêt des enfants au développement typique du même âge. Les comparaisons ont été réalisées avec le logiciel *DiffBayes* (Crawford et al., 2010), disponible sur ce lien :

https://homepages.abdn.ac.uk/j.crawford/pages/dept/Single_Case_Effect_Sizes.htm).

Pour chaque enfant porteur d'un TDC nous comparerons l'apprentissage de la stratégie en tâche principale par rapport au groupe d'enfants au développement typique apparié en âge. De la même manière, et pour les deux tâches de transfert, nous analyserons l'évolution des performances entre la tâche principale et le premier essai de la tâche de transfert (adaptation) et l'évolution des performances entre le premier et le second essai de la tâche de transfert (rebond). Enfin nous comparerons les capacités de *monitoring* en tâche de transfert avec celles des enfants au développement typique en comparant la précision pré- et post-apprentissage des premiers essais de tâche de transfert.

Tableau 6

Informations descriptives des enfants porteurs d'un TDC

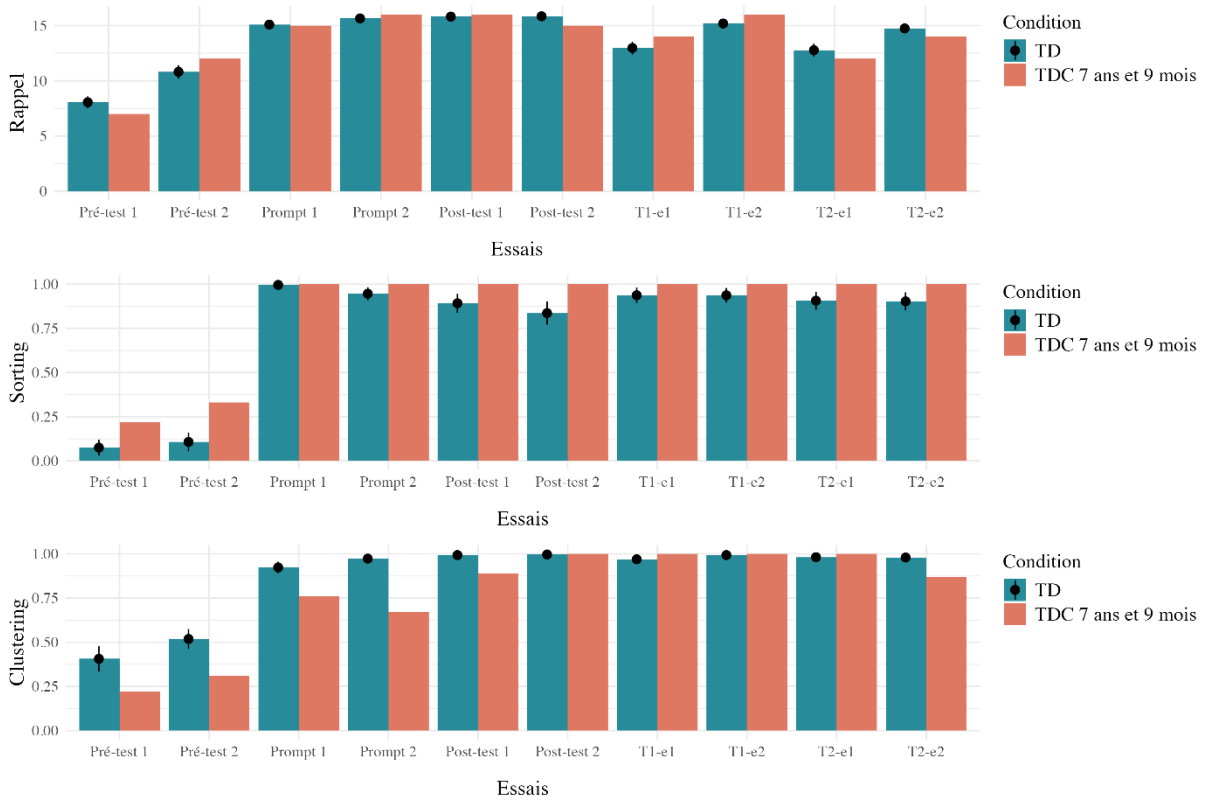
	Âge	Genre	DM	V / A	Équilibre	MABC-2 Score total (percentile)	MABC-2 checklist
Étude de cas n°1	7 ans 9 mois	Garçon	14	4	5	7 (16)	7
Étude de cas n°2	9 ans 4 mois	Garçon	3	2	5	2 (0.5)	23
Étude de cas n°3	10 ans 8 mois	Garçon	3	6	9	4 (2)	12
Étude de cas n°4	10 ans 10 mois	Fille	8	6	6	6 (9)	7

Note. DM = Dextérité Manuelle (dimension du test MABC-2) ; V / A = Viser & Attraper (dimension du test MABC-2) : Equilibre est une dimension du test MABC-2. Les notes sont les notes standardisées.

Étude de cas n°1 : enfant porteur d'un TDC âgé de 7 ans et 9 mois. Les performances de rappel, de *sorting*, de *clustering* et la précision métacognitive chez cet enfant porteur d'un TDC ont été comparées aux performances d'un groupe apparié en âge (N = 8, $M_{âge}$ = 7.61, $ET_{âge}$ = 0.16, 5 garçons). Les performances de rappel, de *sorting* et de *clustering* de cet enfant et du groupe contrôle sont présentées en Figure 41.

Figure 41

Performances de rappel, de sorting et de clustering chez un enfant porteur d'un TDC âgé de 7 ans et 9 mois et chez un groupe contrôle apparié en âge



Notes. T1-e1 = Transfert 1 essai 1 ; T1-e2 = Transfert 1 essai 2 ; T2-e1 = Transfert 2 essai 1 ; T2-e2 = Transfert 2 essai 2 ; TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Apprentissage de la stratégie. La différence entre les essais pré-test 1 et post-test 2 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez cet enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que l'enfant porteur d'un TDC a des performances similaires aux enfants au développement typique au rappel (46.34 %, IC 95 % [21.27 % ; 72.60

%], *p* = .93), au *sorting* (21.44 %, IC 95 % [2.96 % ; 51.74 %], *p* = .43), et au *clustering* (31.55 %, IC 95 % [9.92 % ; 59.62 %], p = .63).

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 1-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais transfert 1-e1 et transfert 1-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 2-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez cet enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais transfert 2-e1 et transfert 2-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

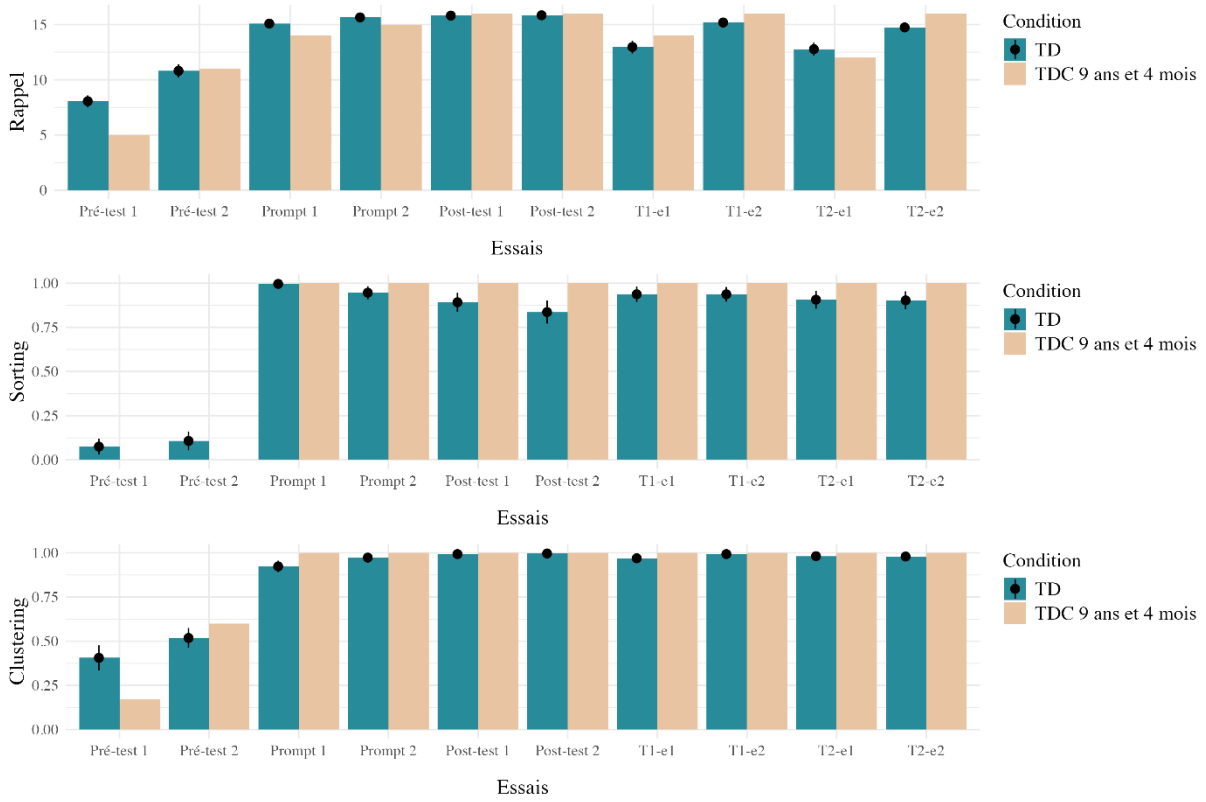
Monitoring au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les précisions pré- et post- apprentissage au premier essai de la tâche de transfert 1 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que la différence de précision entre ces deux jugements est similaire entre cet enfant porteur d'un TDC et son groupe contrôle.

Monitoring au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les précisions pré- et post- apprentissage au premier essai de la tâche de transfert 2 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que la différence de précision entre ces deux jugements est similaire entre cet enfant porteur d'un TDC et son groupe contrôle.

Étude de cas n°2 : enfant porteur d'un TDC âgé de 9 ans et 4 mois. Les performances de rappel, de *sorting*, de *clustering* et la précision métacognitive chez cet enfant porteur d'un TDC ont été comparées aux performances d'un groupe apparié en âge (N = 9, $M_{âge}$ = 9.42, $ET_{âge}$ = 0.33, 6 garçons). Les performances de rappel, de *sorting* et de *clustering* de cet enfant et du groupe contrôle sont présentées en Figure 42.

Figure 42

Performances de rappel, de sorting et de clustering chez un enfant porteur d'un TDC âgé de 9 ans et 4 mois et chez un groupe contrôle apparié en âge



Notes. T1-e1 = Transfert 1 essai 1 ; T1-e2 = Transfert 1 essai 2 ; T2-e1 = Transfert 2 essai 1 ; T2-e2 = Transfert 2 essai 2 ; TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Apprentissage de la stratégie. La différence entre les essais pré-test 1 et post-test 2 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant

porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel (20.98 %, IC 95 % [4.46 % ; 47.09 %], p = .42), au *sorting* (7.43 %, IC 95 % [0.38 % ; 26.25 %], p = .015), et au *clustering* (34.58 %, IC 95 % [13.22 % ; 60.71 %], p = .69).

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 1-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais transfert 1-e1 et transfert 1-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 2-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse montre que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais transfert 2-e1 et transfert 2-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse montre que cet enfant porteur d'un TDC a une amélioration des performances de rappel plus importante entre le premier essai et le second essai de la seconde tâche de transfert en comparaison au groupe d'enfants au développement typique (3.92 %, IC [0.04 % ; 18.48 %], p = 0.03). Cependant, il n'y a pas différence sur les scores stratégiques.

Monitoring au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les précisions pré- et post- apprentissage au premier essai de la tâche de transfert 1 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que la différence de précision entre ces deux jugements est similaire entre cet enfant porteur d'un TDC et son groupe contrôle.

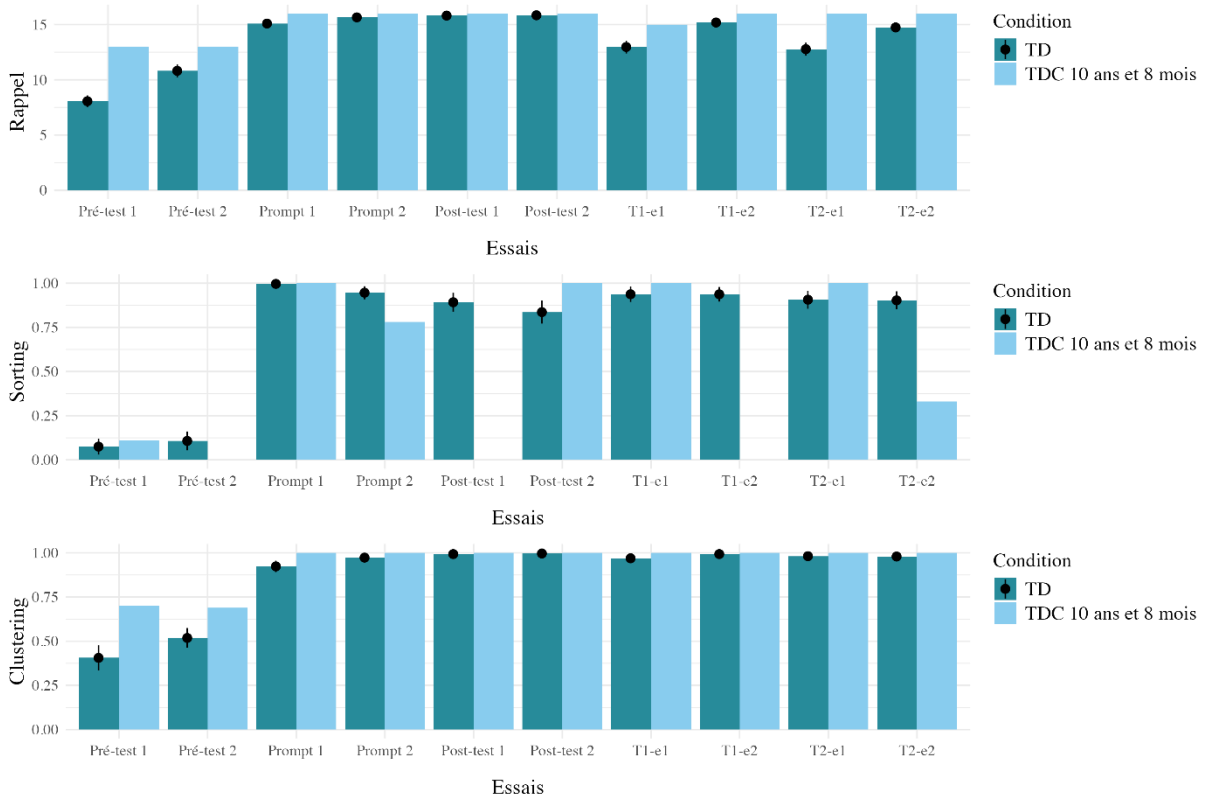
Monitoring au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les précisions pré- et post- apprentissage au premier essai de la tâche de transfert 2 chez les enfants

au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que la différence de précision entre ces deux jugements est similaire entre cet enfant porteur d'un TDC et son groupe contrôle.

Étude de cas n° 3 : enfant porteur d'un TDC âgé de 10 ans et 8 mois. Les performances de rappel, de *sorting*, de *clustering* et la précision métacognitive chez cet enfant porteur d'un TDC âgé de 10 ans et 8 mois ont été comparées aux performances d'un groupe apparié en âge (N = 8, $M_{âge}$ = 10.39, $ET_{âge}$ = 0.30, 6 garçons). Les performances de rappel, de *sorting* et de *clustering* de cet enfant et du groupe contrôle sont présentées en Figure 43.

Figure 43

Performances de rappel, de sorting et de clustering chez un enfant porteur d'un TDC âgé de 10 ans et 8 mois et chez un groupe contrôle apparié en âge



Notes. T1-e1 = Transfert 1 essai 1 ; T1-e2 = Transfert 1 essai 2 ; T2-e1 = Transfert 2 essai 1 ; T2-e2 = Transfert 2 essai 2 ; TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Apprentissage de la stratégie. La différence entre les essais pré-test 1 et post-test 2 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel (24.85 %, IC 95 % [5.91 % ; 52.84 %], p = .24), au *sorting* (19.40 %, IC 95 % [3.66 % ; 45.73 %], p = .19), et au *clustering* (28.02 %, IC 95 % [7.80 % ; 55.99 %], p = .28).

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 1-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais transfert 1-e1 et transfert 1-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel et au *clustering*, mais une chute de performance au *sorting* (0.00%, CI 95 % [0.00 % ; 0.00 %], p < .001).

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 2-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais transfert 2-e1 et transfert 2-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant porteur d'un TDC a des performances similaires au rappel et au *clustering* entre ces deux essais, mais une chute de performance au *sorting* (0.00%, CI 95 % [0.00 % ; 0.00 %], p < .001).

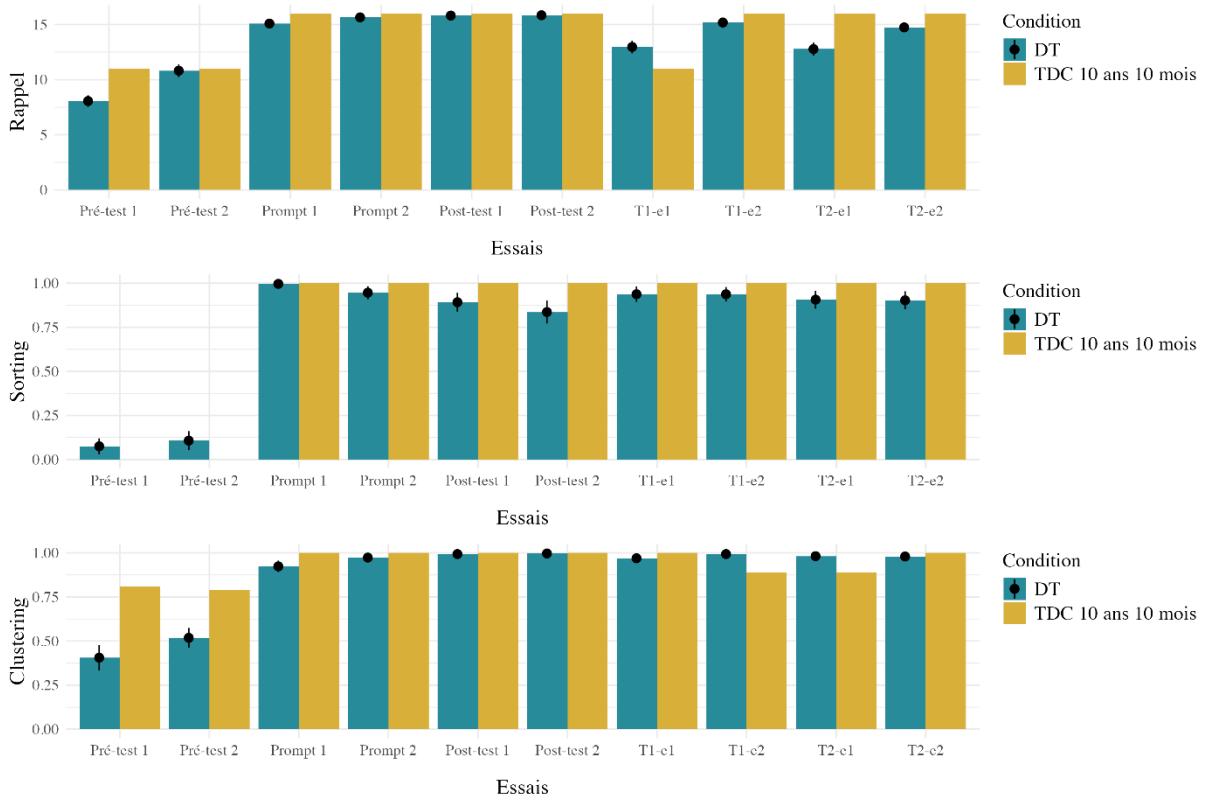
Monitoring au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les précisions pré- et post- apprentissage au premier essai de la tâche de transfert 1 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que la différence de précision entre ces deux jugements est similaire entre cet enfant porteur d'un TDC et son groupe contrôle.

Monitoring au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les précisions pré- et post- apprentissage au premier essai de la tâche de transfert 2 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteur d'un TDC. L'analyse a montré que la différence de précision entre ces deux jugements est similaire entre cet enfant porteur d'un TDC et son groupe contrôle.

Étude de cas n° 4 : enfant porteuse d'un TDC âgé de 10 ans et 10 mois. Les performances de rappel, de *sorting*, de *clustering* et la précision métacognitive chez cette enfant porteuse d'un TDC ont été comparées aux performances d'un groupe apparié en âge (N = 8, $M_{âge}$ = 10.39, $ET_{âge}$ = 0.30, 2 filles). Les performances de rappel, de *sorting* et de *clustering* de cet enfant et du groupe contrôle sont présentées en Figure 44.

Figure 44

Performances de rappel, de sorting et de clustering chez une enfant porteuse d'un TDC âgé de 10 ans et 10 mois et chez un groupe contrôle apparié en âge



Notes. T1-e1 = Transfert 1 essai 1 ; T1-e2 = Transfert 1 essai 2 ; T2-e1 = Transfert 2 essai 1 ; T2-e2 = Transfert 2 essai 2 ; TD = Participants au développement typique du groupe contrôle.

Apprentissage de la stratégie. La différence entre les essais pré-test 1 et post-test 2 chez les enfants au développement typique a été comparé à cette même différence chez l'enfant porteuse d'un TDC. L'analyse a montré que cette enfant porteuse d'un TDC a des performances similaires au rappel (41.49 %, IC 95 % [17.50 % ; 58.31 %], p = .41), au *sorting* (14.41 %, IC 95 % [1.80 % ; 39.16 %], p = .14), et au *clustering* (21.20 %, IC 95 % [4.00 % ; 48.96 %], p = .21).

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 1-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteuse d'un TDC. L'analyse a montré que cet enfant a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 1. La différence entre les essais transfert 1-e1 et transfert 1-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteuse d'un TDC. L'analyse a montré que cette enfant a des performances similaires au rappel, au *sorting*. Cependant, ses performances au *clustering* chutent entre ces deux essais par rapport aux enfants au développement typique (0.00%, CI 95 % [0.00 % ; 0.00 %], p < .001).

Adaptation de la stratégie au premier essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais post-test 2 et transfert 2-e1 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteuse d'un TDC. L'analyse a montré que cette enfant a des performances similaires au rappel, au *sorting*, et au *clustering*.

Rebond des performances au deuxième essai de la tâche de transfert 2. La différence entre les essais transfert 2-e1 et transfert 2-e2 chez les enfants au développement typique a été comparée à cette même différence chez l'enfant porteuse d'un TDC. L'analyse a montré que cette enfant a des performances similaires au rappel, au *sorting*. Cependant, ses performances au *clustering* chutent entre ces deux essais par rapport aux enfants au développement typique (0.00%, CI 95 % [0.00 % ; 0.00 %], p < .001).

Monitoring. Les comparaisons entre les jugements pré- et post- apprentissage sur les premiers essais de tâche de transfert n'ont pas été effectués, car l'enfant porteuse d'un TDC n'a pas réalisé ces jugements.

Discussion

Transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez les enfants au développement typique et les enfants porteurs d'un TDC

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les capacités des enfants porteurs d'un TDC à apprendre la stratégie de groupement catégoriel et à transférer cette stratégie vers deux nouvelles tâches de transfert, soit dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche seulement, soit dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche et du contexte numérique. Nos résultats indiquent que les performances stratégiques et de rappel des enfants porteurs d'un TDC à travers les différents essais de tâche principale et de tâche de transfert sont similaires à celles des enfants au développement typique. Ces résultats indiquent que les 4 enfants porteurs d'un TDC, inclus dans notre étude, sont capables d'apprendre une stratégie de mémorisation et de la transférer vers deux tâches de transfert plus ou moins distantes de la tâche présentée lors de l'apprentissage initial. Peu d'études ont porté sur l'apprentissage et le transfert de stratégie cognitive chez les enfants porteurs d'un TDC. Étudier le transfert de stratégie de mémorisation chez ces enfants est pertinent, car ces enfants présentent des difficultés scolaires qui pourraient ne pas être seulement dues à leurs difficultés motrices (Harrowell et al., 2018) et les stratégies de mémorisation volontaire sont particulièrement importantes dans les apprentissages scolaires (Bjorklund et al., 2009). De plus, l'expertise collective INSERM sur le TDC (2019) recommande d'investiguer plus en détail les compétences mnésiques de ces enfants, qui restent encore méconnues dans la littérature. Le fait que les enfants porteurs d'un TDC réussissent à transférer la stratégie et ne présentent pas de t-UD plus marquée que leurs pairs suggèrent que l'adaptation d'une stratégie de mémorisation à une nouvelle tâche n'est pas plus coûteuse pour eux qu'elle ne l'est chez les enfants au développement typique.

De plus, étudier l'apprentissage et le transfert de la stratégie de groupement catégoriel nous en apprend plus sur la capacité des enfants porteurs d'un TDC à apprendre et à transférer des stratégies cognitives non motrices. Comme nous l'avons vu dans le Chapitre 2, l'apprentissage de stratégie, plutôt que de compétences motrices *per se*, permet aux enfants porteurs d'un TDC un transfert plus lointain. En effet, parmi les interventions proposées aux enfants avec un TDC, les interventions centrées sur la tâche sont les plus efficaces (Lucas et al., 2016 ; Smits-Engelsman et al., 2018 ; Wilson et al., 2013). Dans ce type d'intervention, les enfants apprennent à utiliser des stratégies cognitives globales pour réaliser une tâche motrice

et sont encouragés à utiliser cette même stratégie lors de l'apprentissage d'autres types de tâches dans leur vie quotidienne et scolaire (Schoemaker et al., 2003). De ce fait, l'utilisation de ces stratégies cognitives dans d'autres types de tâches implique que les enfants soient capables de transférer cette même stratégie, mais dans des tâches variées. Ainsi, on s'attend à ce que les enfants transfèrent non pas des compétences motrices, puisque le transfert de compétences motrices semble déficitaire (Josseron et al., 2025 ; Chapitre 2), mais des stratégies cognitives qu'ils devront adapter à différents types de tâche motrice. Plusieurs auteurs (Sangster et al., 2005 ; Sangster Jokić & Whitebread, 2011) ont par ailleurs suggéré l'investigation des capacités des enfants porteurs d'un TDC à réguler leurs apprentissages et à faire preuve de métacognition lors de l'utilisation de stratégies cognitives.

Présence d'une t-UD plus marquée lorsque la tâche de transfert est dissimilaire sur les caractéristiques de la tâche et du contexte numérique que lorsqu'elle est dissimilaire sur les caractéristiques de la tâche uniquement

L'ensemble des résultats concernant la première tâche de transfert, dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche uniquement, ont montré la présence d'une t-UD chez les enfants de 7 à 10 ans, mais moins marquée chez les enfants les plus âgés. La présence de la t-UD malgré un nombre restreint d'items montre que même dans des conditions plus favorables que celles présentées dans l'étude 3, le transfert proche de la stratégie de groupement catégoriel reste difficile pour les enfants.

Par ailleurs, nous avions fait l'hypothèse que le passage entre la tâche principale et la seconde tâche de transfert (changement des caractéristiques de la tâche et du contexte numérique) induirait une t-UD plus importante entre le passage de la tâche principale et cette tâche de transfert qu'entre le passage entre la tâche principale et la première tâche de transfert (changement des caractéristiques de la tâche uniquement). En effet, selon le modèle conceptuel de Klahr et Chen (2011), plus la tâche de transfert est dissimilaire à la tâche principale sur la tâche et sur le contexte, plus le transfert est lointain et plus il devrait être difficile. Cependant, les résultats n'ont pas montré de chute de performances stratégiques, indiquant que les enfants ont réussi à transférer la stratégie, mais surtout les performances de rappel n'ont pas chuté, ce qui suggère que l'adaptation de la stratégie à cette tâche de transfert n'a pas mené à l'augmentation de la charge cognitive et n'a pas impacté le rappel. Ceci va à l'encontre des prédictions du modèle de Klahr et Chen (2011) et à l'encontre de résultats précédents indiquant que la dissimilarité conjointe de la tâche et du contexte numérique impacte les performances en

tâche de transfert (Mombo et al., 2024). En effet l'ajout de détails attrayants (Wang et Adesope, 2014, Wang et al., 2016) sur l'interface numérique en tâche de transfert aurait pu induire des traitements non pertinents à l'exécution de la tâche pendant l'encodage (Hirsh-Pasek et al., 2015) : cependant les résultats montrent que ces détails attrayants n'ont pas impacté les performances de rappel des enfants dans cette étude. Ainsi, il est possible que le changement de contexte numérique ne soit pas toujours un facteur important dans les performances en tâche de transfert. En effet, il est possible que la nature du contexte numérique puisse avoir des effets différents sur le transfert, le contexte numérique que nous avons choisi pourrait ne pas contenir suffisamment d'informations à traiter pour que les enfants effectuent des traitements supplémentaires au point d'impacter leurs performances de rappel. Ainsi, faire varier les changements de contextes numériques dans de futures recherches pourrait permettre de savoir dans quelle mesure différents contextes impacteraient le transfert, et permettrait de montrer que tous les changements de contexte ne sont pas délétères pour le transfert des apprentissages lorsque les tâches sont présentées au format numérique. De plus, il est possible que le *prompt* et le fait que la tâche de transfert soit très proche sur l'intervalle temporel (Klahr et Chen, 2011) aient permis aux enfants de rapidement considérer les détails attrayants du contexte numérique comme non pertinents pour la tâche. En effet, une méta-analyse (Sundararajan et Adesope, 2020) a montré que la présence de détails attrayants à un effet important sur l'apprentissage lorsque les apprenants n'ont aucune expérience préalable du domaine d'apprentissage, mais a un effet faible lorsque les participants ont déjà une expérience du domaine d'apprentissage. De futures recherches pourraient approfondir ces résultats en faisant varier les modalités d'entraînement ainsi que l'intervalle temporel entre les tâches, afin d'examiner leurs effets sur le transfert vers différents types de contexte.

Finalement, une limite de cette étude est que l'ordre des tâches de transfert a été contrebalancé dans le but d'éviter que des performances faibles lors des derniers essais soient associées à une fatigabilité des participants en fin de passation. Cela signifie qu'après la tâche principale, la moitié des participants étaient d'abord exposés à la première tâche de transfert puis à la seconde et inversement pour l'autre moitié des participants. Ainsi, le fait d'avoir réalisé ou non deux essais d'une tâche différente avant la réalisation d'une nouvelle tâche de transfert a pu servir d'entraînement supplémentaire et favoriser le transfert, celui-ci étant sensible à l'entraînement (Green et al., 2014). De ce fait, lorsque les participants étaient exposés à la dernière tâche de transfert, ils avaient alors déjà fait l'expérience d'une tâche dissimilaire à la

tâche principale, soit dissimilaire sur la tâche uniquement, soit dissimilaire sur la tâche et le contexte. Ceci a pu créer une condition d'entraînement variable et donc faciliter le transfert sur la tâche de transfert suivante (Brown, 1986). Des recherches supplémentaires permettraient d'approfondir l'effet de l'ordre d'apparition de plusieurs tâches de transfert en fonction de leurs dissimilarités avec la tâche principale. De plus, dans le but de résoudre ce problème méthodologique, de futures recherches permettraient d'évaluer le transfert vers des tâches dissimilaires sur la tâche et sur la tâche et le contexte indépendamment, par exemple en ne présentant qu'une seule des deux tâches à un groupe de participants.

Compétences métacognitives lors du transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez les enfants porteurs d'un TDC en comparaison aux enfants au développement typique

Nos résultats indiquent que 3 enfants porteurs d'un TDC inclus dans cette étude (Études de cas n° 1, 2 et 3) présentent une précision métacognitive pré- et post- apprentissage lors des deux essais de transfert similaire aux enfants au développement typique. Ces résultats suggèrent que les enfants porteurs d'un TDC sont capables de réaliser des jugements métacognitifs aussi précis que les enfants du même âge. À notre connaissance aucune étude n'a investigué la précision métacognitive des enfants porteurs d'un TDC lors du transfert d'une stratégie de mémorisation, cependant d'autres études montrent une précision métacognitive dans une tâche de mémorisation moins importante chez des enfants porteurs d'autres troubles du neurodéveloppement (Wojcik et al., 2022).

Nous avions également fait l'hypothèse que les participants montreraient une amélioration de leur précision entre la précision pré- et post- apprentissage en raison de l'exposition aux nouvelles caractéristiques des tâches de transfert, mais nos résultats indiquent que cela n'a pas été le cas. En effet, nous avions prédit que l'exposition à la tâche permettrait aux enfants de mettre à jour leurs représentations métacognitives grâce au *monitoring*, ce qui les aiderait à formuler de meilleures prédictions post-apprentissage que de prédictions pré-apprentissages. Ce résultat ne montre pas obligatoirement un déficit du *monitoring* chez les enfants au développement typique et les enfants porteurs d'un TDC inclus dans notre étude, mais peut être dû à la procédure utilisée. En effet, l'intervalle entre la tâche principale et les tâches de transfert étant très proche, les enfants ont pu s'attendre à devoir utiliser la stratégie à nouveau bien qu'ils n'aient pas pu voir les items avant la phase d'encodage, résultant en une précision similaire entre les jugements pré- et post-apprentissages.

Par ailleurs, une autre fonction importante de la métacognition impliquée dans l'utilisation et le transfert de stratégie est le contrôle métacognitif qui guide les comportements stratégiques (Efklides, 2008 ; Nelson & Narens, 1990 ; Roebers et al., 2014). Il permet, dans le cas de cette étude, de reconnaître qu'il est possible d'utiliser la stratégie de groupement catégoriel en tâche de transfert. Le contrôle métacognitif n'a pas été évalué directement, mais le fait que les enfants au développement typique et porteurs d'un TDC utilisent la stratégie en tâche de transfert peut témoigner d'un bon fonctionnement du contrôle métacognitif chez ces enfants.

Les résultats de cette étude montrent que les enfants porteurs d'un TDC ne présentent pas de difficultés métacognitives. Cependant d'autres études ont montré que les enfants porteurs d'un TDC présentent des difficultés à choisir des stratégies efficaces et à les appliquer à des tâches motrices (Martini et al., 2004 ; Sangster et al., 2005 ; Wilson et al., 2013). Le fait que nous ne retrouvons pas les mêmes difficultés métacognitives chez ces enfants lors du transfert d'une stratégie de mémorisation suggère que la métacognition est « *domain specific* » plutôt que « *domain general* ». Des recherches futures permettront d'investiguer les différentes facettes de la métacognition en tâches de transfert motrices et cognitives non motrices.

Enfin, chez l'enfant âgée de 10 ans et 10 mois (Étude de cas n°4), les performances stratégiques et de rappel sont similaires à celles des enfants au développement typique. Cependant, lors de la passation, cette enfant a été dans l'incapacité de formuler des prédictions quant à ses performances de rappel futures. Ceci peut s'expliquer non pas par des difficultés métacognitives, mais potentiellement par un sentiment d'auto-efficacité faible. En effet, les enfants porteurs d'un TDC peuvent présenter de grandes difficultés dans plusieurs sphères de leur vie quotidienne et scolaire, ces difficultés pouvant mener au développement de troubles psychiques associés tels que la dépression et les troubles anxieux (Draghi et al., 2020 ; Pratt et Hill, 2011). Les individus présentant un sentiment d'auto-efficacité faible sont plus enclins à présenter une anxiété de performances et donc à procéder à de l'évitement expérientiel (Bandura et Adams, 1977 ; Bandura, 2015). Ce résultat, et donc l'hypothèse qui en découle, est particulièrement important, car si les autres enfants porteurs d'un TDC inclus dans cette étude n'ont pas présenté de déficit métacognitif en comparaison à leurs pairs, il semble que les enfants porteurs d'un TDC ne présentent pas de déficit métacognitif dans ce type de tâche. Il est donc possible que l'anxiété créée par les difficultés motrices, les plus envahissantes dans le TDC, ait induit une diminution du sentiment d'auto-efficacité chez cette enfant, et une augmentation de

l'anxiété qui s'est généralisée à d'autres types de tâche que les enfants porteurs d'un TDC n'auraient habituellement pas de difficultés à exécuter. Ceci à de forte implication pour l'accompagnement des enfants porteurs d'un TDC dans leurs activités scolaires avec ou sans composante motrice, mais également pour leur accompagnement psychologique. De futures recherches seraient nécessaires, avec de plus grands échantillons d'enfants porteurs d'un TDC, afin de connaître l'ampleur de la généralisation d'un faible sentiment d'auto-efficacité vers différentes dimensions de la vie des enfants porteurs d'un TDC.

Conclusion et contribution à la thèse

L'objectif de cette étude était d'évaluer le transfert de l'apprentissage d'une stratégie non motrice chez les enfants au développement typique et chez des enfants porteurs d'un TDC, vers deux tâches de transfert dissimilaires soit sur les caractéristiques de la tâche seule, soit sur les caractéristiques de la tâche et du contexte numérique. Les résultats ont mis en évidence la présence d'une t-UD lors de la tâche de transfert dissimilaire sur la tâche uniquement. Cependant, les résultats ne mettent pas en évidence de t-UD plus importante chez les enfants au développement typique lors du passage à la tâche de transfert dissimilaire sur les caractéristiques de la tâche et du contexte numérique contrairement à notre hypothèse. Ces résultats peuvent s'expliquer par des limites théoriques et méthodologiques.

Par ailleurs, il semble que les enfants porteurs d'un TDC inclus dans cette étude ne présentent pas de difficultés à apprendre et à transférer une stratégie cognitive non motrice. Ceci a des implications importantes à la fois pour le développement d'intervention et pour leurs apprentissages académiques. Ces enfants réussissent à apprendre une stratégie de mémorisation et à la réutiliser de façon flexible lors de tâches de transfert plus ou moins éloignées de la tâche principale sur le continuum transfert proche / transfert lointain. De plus, trois enfants sur quatre ont réalisé des jugements métacognitifs similaires aux enfants au développement typique, indiquant que les enfants porteurs d'un TDC ne semblent pas présenter de déficit métacognitif, en particulier du *monitoring*, dans la réalisation d'une tâche mnésique. Seule une enfant n'a pas réalisé ces jugements, ce qui permet de suspecter un faible sentiment d'auto-efficacité dans la réalisation de cette tâche malgré des performances de rappel similaires aux enfants au développement typique du même âge, indiquant des performances mnésiques conservées.

Chapitre 6 – Discussion générale

Ce travail de thèse a porté sur les aspects développementaux de l'apprentissage et du transfert de stratégies de mémorisation et des compétences graphomotrices, chez des enfants et des adultes au développement typique, et chez des enfants et un adulte porteurs d'un TDC. Le transfert d'apprentissage est une thématique ancienne (Thorndike, 1903), mais toujours d'actualité. Le transfert des apprentissages est aujourd'hui questionné à travers plusieurs thématiques. Dans les pratiques éducatives, il renvoie aux pratiques d'enseignement qui permettraient aux apprenants de réutiliser leurs apprentissages dans différentes situations scolaires, mais aussi dans leur vie quotidienne et professionnelle (Butler et al., 2013 ; Luis-Ruiz et al., 2020). Dans la conception des interventions, il renvoie aux stratégies les plus efficaces permettant aux patients de profiter des interventions dans de multiples aspects de leurs vies quotidiennes (Youssef-Shalala et al., 2014 ; Blank et al., 2012). En psychologie du développement, il questionne les dynamiques d'apprentissage des enfants et l'évolution de leurs compétences cognitives (Chang et al., 2019 ; Moser et al., 2019). Enfin, en psychologie cognitive l'étude du transfert permet de questionner le produit des apprentissages et sa nature flexible (Barnett & Ceci, 2002 ; Clerc & Josseron, 2022). Étudier le transfert des apprentissages, dans une perspective développementale, chez des individus au développement typique et chez des individus porteurs d'un TDC, a permis d'améliorer nos connaissances sur le transfert des apprentissages chez l'enfant, et de répondre à une problématique sociétale en investiguant plus en détail les difficultés vécues par les individus porteurs d'un TDC.

L'une des contributions majeures de ce travail de thèse a été d'évaluer le transfert des apprentissages à la fois moteurs, à travers le transfert graphomoteur, et cognitif, et en particulier le transfert de stratégie de mémorisation. L'évaluation de ces deux aspects chez les individus porteurs d'un TDC a permis de différencier les difficultés d'apprentissage et de transfert moteur, d'évaluer leur capacité à apprendre et à transférer une stratégie non motrice, et d'évaluer dans quelle mesure ils sont capables de transférer sur le continuum du transfert proche et lointain en comparaison à des enfants au développement typique. Nous avons également examiné leurs capacités métacognitives, notamment lors du transfert de la stratégie de mémorisation.

Dans cette discussion générale, nous synthétiserons d'abord les principaux résultats et les différents apports de ce travail de thèse et nous montrerons la façon dont ces résultats répondent à la problématique de cette thèse, puis nous discuterons de l'implication de ces résultats dans la compréhension des difficultés vécues par les enfants porteurs d'un TDC. Nous

présenterons les implications de ce travail concernant le transfert des apprentissages. Enfin, nous exposerons les limites de ces travaux tout en proposant de nouvelles perspectives de recherche.

Problématique et synthèse des principaux résultats

La problématique de cette thèse était de connaître la capacité des enfants au développement typique et des enfants porteurs d'un TDC à transférer leurs apprentissages tant sur le plan moteur que sur le plan cognitif. De plus, nous avons cherché à savoir dans quelle mesure les enfants au développement typique et les enfants porteurs d'un TDC pouvaient transférer leurs apprentissages sur le continuum transfert proche / transfert lointain.

Pour répondre à ces deux questions, nous avons tout d'abord réalisé une **revue de portée** qui visait à mieux appréhender l'étendue des recherches portant sur le transfert des apprentissages (Josseron et al., 2025). L'utilisation d'une revue de portée plutôt qu'un autre type de revue nous a permis de poser plusieurs questions de recherche à la fois théorique et à la fois sur les résultats présents dans la littérature. De plus, nous avons également pu étendre la sélection des articles à des études ne portant pas directement sur le transfert, mais portant sur l'effet d'un entraînement sur de nouvelles tâches. Une recherche dans 4 bases de données a mené à une sélection de 58 études parmi les 2013 publications identifiées. Parmi les 58 études, 18 portaient directement sur une évaluation du transfert de l'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC, et les 40 autres publications ont été incluses car elles présentaient des résultats portant l'effet d'un entraînement sur de nouvelles tâches (i.e. le transfert). Sur le plan théorique, cette revue de portée a montré qu'investiguer le transfert des apprentissages chez les enfants porteurs d'un TDC était essentiel pour mieux comprendre l'ensemble des processus d'apprentissage moteur chez ces enfants. Les résultats de cette revue de portée montrent que les enfants porteurs d'un TDC auraient plus de difficultés que les enfants au développement typique à transférer leurs apprentissages moteurs, mais que le transfert de stratégies cognitives serait moins impacté.

Puis nous avons réalisé une étude portant sur le **transfert graphomoteur chez les enfants TDC**. Dans cette étude, nous avons utilisé un paradigme d'apprentissage et de transfert de pseudo-lettres. Nous faisions l'hypothèse, basée sur des résultats précédents (Adi-Japha & Brestel, 2020), que les individus porteurs d'un TDC présenteraient des performances similaires aux individus au développement typique en tâche principale, mais un transfert altéré. Lors d'un

entraînement variable, mais limité en nombre de répétitions, les enfants devaient apprendre à tracer 6 pseudo-lettres. Puis, ils devaient réaliser deux tâches de transfert plus ou moins éloignées de la tâche principale. La première tâche impliquait pour les participants de transférer les segments appris en phase d'apprentissage afin de tracer des pseudo-lettres nouvelles. La seconde tâche demandait aux participants de transférer des séquences de segments pour tracer des combinaisons de pseudo-lettres. Trois études de cas chez des enfants âgés de 7 ans 9 mois, 9 ans 4 mois, et 10 ans 10 mois, ainsi qu'une étude de cas chez une adulte présentant un TDC ont été présentés. Les résultats ont montré que les performances en phase d'apprentissage et en phase de transfert étaient très diverses selon les participants porteurs d'un TDC. La présence d'une dysgraphie chez un enfant et chez l'adulte porteurs d'un TDC a montré que l'apprentissage et le transfert étaient altérés. Chez les deux autres enfants, ne présentant pas de dysgraphie, l'apprentissage était conservé et le transfert pouvait être soit altéré soit similaire aux enfants au développement typique. Ainsi, ces résultats ont montré que les enfants porteurs d'un TDC, selon qu'ils présentaient ou non une dysgraphie associée, pouvaient présenter des compétences d'apprentissage et de transfert différentes.

Nous avons également présenté le **développement d'une application et le test de l'utilisation de cette application pour l'apprentissage et le transfert de deux stratégies mnésiques chez des enfants au développement typiques** âgés de 7 à 10 ans. Dans une tâche de rappel libre, l'on présentait aux enfants l'utilisation de la stratégie d'autorépétition (Étude 2) et la stratégie de groupement catégoriel (Étude 3) à l'aide d'un *prompt,* et nous avons évalué la capacité des enfants à transférer la stratégie dans une tâche proche dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche uniquement. Les résultats ont montré que, pour les deux études, les performances stratégiques et de rappel étaient similaires entre l'utilisation de l'application et du matériel tangible. De plus, dans l'étude 2, les enfants ont utilisé la stratégie en tâche principale et en tâche de transfert, mais n'ont pas amélioré leurs performances de rappel. Cette étude montre que la procédure utilisée ne nous a pas permis de mettre en évidence le bénéfice de l'apprentissage de la stratégie au rappel ni son transfert. Les résultats de l'étude 3 ont mis en évidence le fait que les enfants âgés de 7 à 10 sont capables d'apprendre la stratégie de groupement catégoriel qui est bénéfique à leur performance de rappel. De plus, les résultats ont montré que les enfants ont été capables de transférer la stratégie, mais présentent une t-UD qui diminue avec l'âge, lors du passage de la tâche de principale à la tâche de transfert. Les résultats de ces deux études nous indiquent que la procédure de l'étude 3 permet d'observer

l'apprentissage et le transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez les enfants, cette procédure a donc été réutilisée lors de notre dernière étude portant chez les enfants porteurs d'un TDC.

Dans notre dernière étude, nous avons cherché à évaluer les patterns de relations stratégie-rappel lors de **l'apprentissage et du transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez des enfants au développement typique et chez des enfants porteurs d'un TDC**. Les résultats ont montré que les enfants porteurs d'un TDC réussissaient, de la même manière que les enfants au développement typique, à apprendre et à transférer la stratégie de groupement catégoriel dans deux tâches plus ou moins proche de la tâche principale. La première tâche était dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche uniquement (i.e. changement des items et des catégories) et la seconde tâche était dissimilaire à la tâche principale sur les caractéristiques de la tâche et du contexte numérique. Les enfants porteurs d'un TDC ont également montré des performances métacognitives similaires à celles des enfants au développement typique.

Implication des résultats pour la compréhension des difficultés vécues par les enfants porteurs d'un TDC

L'objectif principal de cette thèse était d'étudier l'apprentissage et le transfert à la fois moteur et de stratégie chez les enfants porteurs d'un TDC. En effet, s'intéresser au transfert d'apprentissage chez les enfants porteurs d'un TDC est important pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les chercheurs du domaine s'accordent à dire qu'un apprentissage moteur est réussi lorsqu'il peut être transféré (Shea & Morgan, 1979 ; Shmuelof et al., 2012). De plus, le transfert est également un aspect important des interventions qui sont proposées aux enfants porteurs d'un TDC, l'objectif de ces interventions étant que ces enfants soient capables de réutiliser ce qui a été appris dans des situations variées et ainsi leur permettre plus d'autonomie dans leur vie quotidienne et scolaire. Il semble donc particulièrement essentiel de mieux connaître leur capacité à transférer différents types de compétences, afin de connaître les limites et avantages des différents types d'intervention et développer ces interventions pour favoriser le transfert. Enfin, le transfert des apprentissages est une compétence fondamentale du développement de l'enfant et des activités quotidiennes de l'adulte : toute situation étant par essence nouvelle, nous devons continuellement réutiliser et adapter nos connaissances pour être plus efficaces

dans notre environnement. Ceci est particulièrement le cas dans les apprentissages scolaires, dans lesquels on demande aux enfants de réutiliser des connaissances à mesure que leur scolarité avance. Cette demande de transfert peut être explicite ou non. Bien que les enfants porteurs d'un TDC soient connus pour rencontrer des difficultés à transférer (Blank et al., 2012), peu de travaux de recherche ont porté sur le transfert chez ces enfants. En particulier peu de travaux se sont intéressés spécifiquement aux capacités de ces enfants à transférer différents types de compétences vers différents types de tâche de transfert (Josseron et al., 2025).

Ce travail de thèse a montré que les enfants porteurs d'un TDC peuvent présenter des difficultés à apprendre et transférer des apprentissages moteurs, mais ne semblent pas avoir de difficulté à apprendre et transférer une stratégie de mémorisation même quand celle-ci nécessite une manipulation spatiale du matériel (groupement catégoriel). Ce résultat est particulièrement intéressant, car plusieurs études ont montré un lien entre le développement moteur et le développement cognitif (Roebers et al., 2013 ; Roebers & Kauer, 2009). Un aspect important de ce travail de thèse portait sur la distinction entre les capacités d'apprentissage et les capacités à transférer, chez des enfants porteurs d'un TDC. Sur le plan moteur, les résultats de cette thèse suggèrent que, chez les individus présentant un TDC, la distinction entre les capacités d'apprentissage et celles de transfert semble moins nette qu'attendu. Dans l'étude 1, dans un paradigme d'entraînement variable, mais limité, impliquant des processus d'apprentissage rapide, 4 études de cas chez 3 enfants et 1 adulte porteurs d'un TDC ont montré que les compétences des individus porteurs d'un TDC à apprendre et à transférer un apprentissage de séquence graphique étaient très diverses et dépendaient des profils des participants.

Dans le champ de la motricité, l'apprentissage d'une compétence motrice ne consiste pas seulement en l'acquisition, mais également en la capacité à transférer cette compétence dans de nouvelles conditions ou dans des tâches variées (Seidler, 2010). Seidler (2010) propose que l'apprentissage moteur corresponde à la création de nouvelles représentations motrices, et que le transfert implique la récupération et la modification de représentations motrices acquises préalablement. La littérature sur l'apprentissage moteur chez les enfants porteurs d'un TDC n'est pas unanime quant à leurs difficultés d'apprentissage (Biotteau et al., 2016), notamment dans le cas de l'apprentissage de séquences (Adi-Japha & Brestel, 2020 ; Biotteau et al., 2015 ; Gheysen et al., 2011 ; Lejeune et al., 2013 ; Wilson et al., 2003). Le fait que les individus porteurs d'un TDC peuvent présenter des profils très hétérogènes pourrait expliquer ce résultat.

Le TDC est en effet un trouble hétérogène, à la fois sur les déficits présents et sur la sévérité de ces déficits. Plusieurs auteurs ont proposé des tentatives d'organisation des déficits du TDC en sous-type, soulignant la complexité et l'hétérogénéité de ce trouble (Albaret, 1995 ; Dewey & Kaplan, 1994 ; Gras et al., 2023 ; Hoare, 1994 ; Miyahara, 1994 ; Vaivre-Douret et al., 2011). Cependant les résultats de ces études n'ont pas été confirmés, il n'existe donc pas de consensus sur des sous-types du TDC (Jeevanantham & Bertlett, 2017). L'hétérogénéité des profils cliniques indique néanmoins que les individus porteurs d'un TDC ne présentent pas tous les mêmes déficits et pas avec la même sévérité, ce qui a un impact sur leurs capacités à apprendre et à transférer différents types de compétences. Dans notre étude 1, la présence d'une dysgraphie associée et les différences de sévérité des troubles moteurs chez les participants ont pu expliquer la diversité des résultats dans l'apprentissage et le transfert des compétences graphomotrices. En effet, les recherches ont montré que les enfants porteurs d'un TDC associé à une dysgraphie présentent des tracés très variables, témoignant d'un défaut de stabilisation des programmes moteurs, et donc un déficit d'automatisation de l'écriture (Huau et al., 2015). De plus, les enfants porteurs d'un TDC associé à une dysgraphie semblent utiliser davantage les feedbacks visuels pendant l'exécution des tracés que les enfants au développement typique (Smits-Engelsman et al., 2003 ; Jolly & Gentaz, 2014). Ce mode de contrôle rétroactif est caractéristique des enfants avant l'âge de 8 ans apprenant à écrire et entraîne probablement des difficultés à transférer (Étude 1).

Le fait que les enfants atteints de TDC présentent des difficultés motrices très variées, tant en nature qu'en sévérité, ainsi que des co-occurrences possibles avec d'autres troubles, illustre la complexité de leurs profils. Comme nous l'avons observé, cette hétérogénéité se traduit par des performances très contrastées dans notre étude, et elle pourrait également contribuer aux résultats parfois contradictoires rapportés dans la littérature, notamment sur les effets d'apprentissage et de transfert moteur. En effet, l'expertise collective INSERM sur le TDC (INSERM, 2019) montre que les différentes recherches sont difficiles à comparer puisque les troubles associés au TDC ne sont pas toujours décrits dans les études, et les seuils considérés lors de l'évaluation des difficultés motrices peuvent varier, entre les études, mais aussi l'intérieur d'une même étude. L'approche en étude de cas que nous avons adoptée a permis de mettre en lumière les effets différenciés de ces profils sur les processus d'apprentissage et de transfert. Cela souligne l'importance de prendre en compte la diversité des profils d'enfants dans les futures recherches portant sur le TDC.

Les effets des connaissances préalables, de l'entraînement et de la distance entre les tâches sur l'adaptation en tâche de transfert

Selon Schwartz et collaborateurs (2012), le transfert correspond à la capacité des individus à appliquer les apprentissages préalables à de nouvelles situations, structurellement similaires, mais tout de même nouvelles, ce qui nécessite d'adapter les connaissances aux nouvelles caractéristiques de la tâche (voir aussi Cox, 1997). Selon les modèles du *mapping* (Ripoll & Coulon, 2001), lorsque l'individu est face à une tâche de transfert, il doit comparer les situations afin d'établir les correspondances entre les éléments des deux tâches. Puis, l'individu doit procéder, en tâche de transfert, à un ajustement des connaissances acquises lors de l'apprentissage initial. Cette adaptation des connaissances en tâche de transfert est difficile et cognitivement coûteuse (Nokes, 2009). Cette adaptation serait d'autant plus difficile lorsque la distance entre les tâches augmente, c'est-à-dire lorsque le degré de similarité entre les tâches diminue, le transfert serait moins favorisé (Forsyth, 2018). Ainsi, plus le degré de similarité des tâches est élevé, plus le transfert est proche et donc plus le transfert est facile (Klahr & Chen, 2011).

De fait, le transfert proche est fréquemment observé chez l'enfant (Henry et al., 2014 ; Moser et al., 2015 ; Riggs et al., 2015 ; van Bers et al., 2020 ; Zack et al., 2013). Cependant, dans nos études 3 et 4 nous montrons que face à la tâche de transfert, les enfants sont capables de reconnaître la tâche de transfert comme isomorphe à la tâche principale, mais ce transfert, bien que présent, n'est pas efficace puisque leurs performances de rappel chutent indiquant la présence d'une t-UD. Ceci traduit une difficulté à adapter l'apprentissage en tâche de transfert proche chez l'enfant, et montre que malgré le fait que le transfert proche soit considéré comme facile, il peut néanmoins poser problème chez l'enfant. Plusieurs autres études ont également montré que les enfants peuvent présenter des difficultés à transférer leurs connaissances dans une tâche de transfert proche (Clerc et al., 2021 ; voir Mombo et al., 2024 et Resing et al., 2016 pour des exemples en résolution de problèmes).

L'adaptation peut être facilitée ou rendue difficile en fonction des connaissances préalables de l'individu et du type d'entraînement proposé lors de l'apprentissage initial. En effet, si le niveau de compréhension de la structure de la tâche principale est insuffisant alors le transfert sera difficile (Chi & VanLehn, 2012). La compréhension de la structure de la tâche

principale peut dépendre des connaissances préalables des individus et du type d'entraînement. Dans l'étude de Clerc et collaborateurs (2021), les enfants non entraînés à la stratégie d'autorépétition présentent des difficultés d'adaptation en tâche de transfert, ce qui n'est pas le cas pour les enfants ayant été entraînés. Selon la théorie de la profondeur de traitement (Craik & Lockhart, 1972), un traitement superficiel de l'information, dans un entraînement limité en intensité par exemple, implique un engagement cognitif moins important qu'un traitement en profondeur, lors d'un entraînement intensif par exemple. Le traitement en profondeur permettrait de créer des traces mnésiques plus stables et plus robustes. Cependant, un entraînement intensif spécifique à une seule tâche pourrait également « fixer » l'apprentissage, rendant la trace mnésique effectivement stable et robuste, mais ne permettant pas à l'individu d'abstraire la structure de la tâche, menant à une adaptation difficile de l'apprentissage initial en tâche de transfert. En effet, le niveau d'abstraction de la structure de la tâche principale doit également être suffisant pour pouvoir être utilisé en tâche de transfert (Didierjean, 2001 ; Sander & Richard, 2005). Dans notre étude 2, les enfants les plus âgés ayant déjà fait l'expérience de l'utilisation de la stratégie de groupement catégoriel présentent une t-UD moins marquée, suggérant que la charge cognitive associée à l'adaptation de la stratégie en tâche de transfert était moins importante. En effet, l'exposition répétée à des situations analogues permettrait la création de schémas abstraits et faciliterait le transfert et par extension l'adaptation (Chen, 1999 ; Gick & Holyoak, 1983 ; Jacobson et al., 2020).

D'autres études montrent également que le passage de la tâche principale à la tâche de transfert est coûteux. Ainsi, l'étude de Dale et collaborateurs (2021) montre, dans une tâche d'apprentissage et de transfert perceptif, que les performances de participants adultes chutent entre la phase d'entraînement et la tâche de transfert. Les auteurs nomment ce phénomène « coût de la généralisation », correspondant à une phase transitoire après laquelle les performances s'améliorent à nouveau (voir aussi Mombo et al., en révision). Il semble donc qu'une chute de performance en tâche de transfert due à l'adaptation coûteuse en ressources cognitives soit présente à travers différentes études évaluant le transfert de différentes compétences. Dans la revue de littérature réalisée dans cette introduction de thèse, nous avons tenté de mettre en évidence les similarités entre les cadres théoriques de la psychologie cognitive et de la motricité portant sur le transfert des apprentissages. Nous avons montré que dans les deux disciplines, les types d'entraînements, la création de schémas, et la distance entre les tâches ont tous un effet sur les capacités des individus à transférer leurs compétences. Il

serait donc pertinent d'examiner si la notion d'adaptation, ainsi que le coût cognitif qui y est associé, influence les performances motrices de manière similaire lors d'une tâche de transfert. Une telle investigation serait particulièrement intéressante chez les enfants présentant un TDC, car elle permettrait de cerner plus précisément les mécanismes de transfert altérés chez ces enfants, et ainsi de mieux comprendre l'origine de leurs difficultés à transférer leurs apprentissages moteurs.

Limites de ce travail de thèse

Même si nous avons montré l'importance d'une approche différentielle pour étudier les compétences et déficits du TDC, la taille de notre échantillon reste restreinte et ne nous permet pas de généraliser les résultats à tous les enfants et adultes porteurs d'un TDC. L'une des raisons pouvant expliquer la difficulté rencontrée pour inclure des enfants porteurs d'un TDC est que le TDC reste un trouble méconnu. En effet, Meachon et collaborateurs (2024) montrent que parmi 346 professionnels psychologues, ergothérapeutes, psychomotriciens et médecins, 58% d'entre eux avaient déjà entendu parler de ce trouble, mais seulement 42% d'entre eux avaient reçu des patients porteurs d'un TDC. Dans cette étude, les auteurs ont présenté des cas cliniques aux professionnels et seuls 35% d'entre eux ont réalisé un diagnostic de TDC correct. Bien que la prévalence en population générale du trouble soit de 5 à 6 % des enfants d'âge scolaire (APA, 2013), la taille des échantillons des études de la littérature reste bas, avec moins d'une vingtaine de participants dans certains domaines, et entre 20 et 40 pour d'autres (INSERM, 2019).

Perspectives

Dans le chapitre 3, nous avons mis en évidence que les performances pendant l'apprentissage et le transfert de stratégies de mémorisation ne différaient pas lorsque la tâche était présentée au format numérique ou au format tangible. Ainsi, cette application pourrait être diffusée pour être à nouveau utilisée, dans le cadre de la recherche, mais également dans un cadre pédagogique. À l'avenir, il serait possible d'améliorer l'utilisabilité de l'application pour faciliter son utilisation par des chercheurs ou des enseignants. Par exemple, on pourrait imaginer que les fonctionnalités de l'application permettraient à de futurs utilisateurs d'importer et de sélectionner directement les images de leur choix pour faire varier les items et

les contextes numériques, sans accéder au code source. De plus, actuellement l'application nécessite la présence de l'expérimentateur pour recueillir les performances de rappel des enfants et assurer la bonne compréhension des consignes. Toutefois, de futures améliorations de l'application pourraient viser une plus grande autonomie de l'outil. Par exemple, l'intégration de systèmes automatisés de reconnaissance vocale ou de saisie des réponses, ainsi qu'un module interactif de présentation des consignes (à l'oral ou à l'écrit), permettrait de limiter, voire d'éliminer, l'intervention directe de l'expérimentateur. Cela ouvrirait la voie à des passations en plus grande autonomie, notamment dans des contextes scolaires ou à distance, tout en assurant la standardisation des conditions de passation. De plus, cela permettrait de proposer des séances d'entraînement à l'utilisation et au transfert de la stratégie en autonomie.

L'étude 4 met en évidence le fait que les enfants porteurs d'un TDC ne présentent pas de difficultés à apprendre et transférer une stratégie. Ce résultat est particulièrement important, puisqu'il permet de souligner les forces des enfants porteurs d'un TDC. En effet, la recherche chez ces enfants se concentre généralement sur la mise en évidence de leurs déficits (INSERM, 2019), or nous montrons ici que les enfants porteurs d'un TDC présentent des compétences préservées d'apprentissage et de transfert de stratégie cognitive. Ceci peut permettre aux professionnels, enseignants ou personnels paramédicaux, de s'appuyer sur cet avantage pour mieux accompagner les enfants dans leurs activités scolaires et lors des interventions. En effet, les interventions les plus efficaces qui peuvent être proposées à ces enfants sont les interventions dites centrées sur la tâche, qui ont pour objectif de présenter aux enfants une stratégie cognitive globale pour exécuter une tâche motrice (Lucas et al., 2016 ; Smits-Engelsman et al., 2018 ; Wilson et al., 2013). Les enfants porteurs d'un TDC présenteraient un répertoire stratégique et des compétences métacognitives plus faibles dans la réalisation de tâche motrice : un objectif pourrait donc être de faire prendre conscience aux enfants des stratégies globales à utiliser lors de la réalisation de tâches motrices, acquises implicitement chez les enfants au développement typique (Missiuna et al., 1997 ; Mandish et al., 2001 ; Sangster et al., 2005). En effet, l'apprentissage moteur peut être implicite, comme c'est le cas dans l'apprentissage de séquence de l'étude 1, mais peut également être explicite (Talyor & Ivry, 2011). Plusieurs études se sont intéressées au rôle des stratégies explicites dans des tâches d'adaptation sensorimotrices (Bock et al., 2003 ; Mazzoni & Krakauer, 2006 ; Werner et Bock, 2007). À notre connaissance aucune étude n'a porté sur le transfert des stratégies explicites motrices. Étudier le transfert de stratégies motrices chez les enfants porteurs d'un TDC

permettrait d'améliorer l'efficacité des interventions. De plus, étudier le transfert de stratégies en faisant varier les tâches en phase d'entraînement, permettrait aux enfants d'abstraire les stratégies apprises et potentiellement de les automatiser. Faire également varier les tâches de transfert permettrait de savoir dans quelle mesure ces enfants pourraient transférer des stratégies cognitives vers une variété de tâches motrices. Par ailleurs, un entraînement explicite au transfert dans des situations variées permettrait aux enfants de reconnaître les situations dans lesquelles ils peuvent utiliser les stratégies apprises, et leur permettrait de faciliter leur adaptation aux nouvelles situations.

Conclusion

Pour conclure, dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à l'apprentissage et au transfert de compétences graphomotrices et de stratégies de mémorisation chez des enfants au développement typique et des enfants porteurs d'un TDC, âgés de 7 à 10 ans, ainsi que chez des adultes, également porteurs ou non d'un TDC. Nous avons cherché à déterminer si les participants étaient capables d'apprendre et de transférer leurs compétences, tant sur le plan moteur que sur le plan cognitif. Nous avons également exploré dans quelle mesure les individus réussissaient à transférer ces connaissances le long du continuum transfert proche / transfert lointain. Les résultats ont montré que les enfants porteurs d'un TDC présentent des compétences préservées dans l'apprentissage et le transfert de stratégies de mémorisation, ainsi que des capacités métacognitives similaires à celles des enfants au développement typique. Par ailleurs, les résultats indiquent que leurs capacités à apprendre et à transférer des compétences graphomotrices dépendent essentiellement de la présence d'une dysgraphie associée. De futures recherches pourraient investiguer plus en détail l'impact de l'hétérogénéité des profils des individus porteurs d'un TDC sur leurs capacités à apprendre et à transférer des compétences motrices. De plus, explorer leurs capacités à apprendre et à transférer des stratégies cognitives appliquées à des tâches motrices permettrait d'améliorer le transfert de leurs apprentissages dans leur vie quotidienne, scolaire et professionnelle.

Références

Adams, I. L., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2014). Compromised motor control in children with DCD: A deficit in the internal model?—A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 47*, 225-244. https://doi.org/10.1002/9780470515563.ch16

Adi-Japha, E., & Brestel, G. (2020). Motor skill learning with impaired transfer by children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities,* 103, 103671. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103671

Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac, C., & Ros, C. (2006). Eye and pen: A new device for studying reading during writing. *Behavior Research Methods*, *38*(2), 287-299. https://doi.org/10.3758/BF03192780

Alario, F. X., & Ferrand, L. (1999). A set of 400 pictures standardized for French: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, visual complexity, image variability, and age of acquisition. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *31*(3), 531-552. https://doi.org/10.3758/BF03200732

Albaret, J. M. (1995). Evaluation psychomotrice des dyspraxies de développement : Evaluations. *Evolutions Psychomotrices (Paris)*, *1*(28), 3-13.

Albaret, J. M., & Chaix, Y. (2015). Trouble d'acquisition de la coordination (TAC). C'est quoi? Et comment ça se soigne. *Pédiatrie Pratique*, *1*(1), 1-6.

Allix, P., Lubin, A., Lanoë, C., & Rossi, S. (2023). Connais-toi toi-même : une perspective globale de la métacognition. *Psychologie Française, 68*(3), 451-469. https://doi:10.1016/j.psfr.2022.08.002

Alloway, T. P. (2011). A comparison of working memory profiles in children with ADHD and DCD. *Child Neuropsychology, 17*(5), 483-494. https://doi.org/10.1080/09297049.2011.553590

American Psychiatric Association (2000). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (4th ed., Text Revision). Washington, DC: Author.

American Psychiatric Association (APA) (1989). DSM-III-R: Diagnostic and statistical manual of mental disorders. Washington, D.C.: American Psychiatric Association.

American Psychiatric Association (APA) (1996). DSM-IV: Diagnostic and statistical manual of mental disorders. Washington, D.C.: American Psychiatric Association.

American Psychiatric Association (APA) (2004). DSM-IV-TR: Diagnostic and statistical manual of mental disorders. Washington, D.C.: American Psychiatric Association.Schmidt RA. *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 1988.)

American Psychiatric Association (APA) (2013). DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). Washington, D.C.: American Psychiatric Association.

Ansar, M., & George, G. (2022). Gamification in education and its impact on student motivation—a critical review. *Emerging IT/ICT and AI Technologies Affecting Society*, *1*(1), 161-170.

Araújo, C. R. S., Cardoso, A. A., & Magalhães, L. D. C. (2019). Efficacy of the cognitive orientation to daily occupational performance with brazilian children with developmental coordination disorder. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, *26*(1), 46–54. https://doi.org/10.1080/11038128.2017.1417476

Arnaud, C., Daubisse-Marliac, L., White-Koning, M., Pierrat, V., Larroque, B., Grandjean, H., ... & Kaminski, M. (2007). Prevalence and associated factors of minor neuromotor dysfunctions at age 5 years in prematurely born children: the EPIPAGE Study. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, *161*(11), 1053-1061. https://doi.org/10.1001/archpedi.161.11.1053

Astle, D. E., Holmes, J., Kievit, R., & Gathercole, S. E. (2022). Annual Research Review: The transdiagnostic revolution in neurodevelopmental disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 63*(4), 397-417. https://doi.org/10.1111/jcpp.13481

Attout, L., & Monnier, C. (2023). Evidence of a positive effect of verbal cumulative rehearsal on serial order working memory, as early as 4 years old. *Developmental Psychology*, 59(10), 1771–1783. https://doi.org/10.1037/dev0001621

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417-423. https://10.1016/S1364-6613(00)01538-2

Baddeley, A., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 36*(2), 233-252. https://doi.org/10.1080/14640748408402157

Bandura, A. (2015). Self-efficacy conception of anxiety. In Anxiety and self-focused attention (pp. 89-110). Routledge.

Bandura, A., & Adams, N. E. (1977). Analysis of self-efficacy theory of behavioral change. *Cognitive Therapy and Research, 1*(4), 287-310. https://doi.org/10.1007/BF01663995

Bara, F., & Gentaz, É. (2010). Apprendre à tracer les lettres: une revue critique. *Psychologie Française*, *55*(2), 129-144. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2010.01.001

Barnett, A. L., & Prunty, M. (2020). Handwriting difficulties in developmental coordination disorder (DCD). *Current Developmental Disorders Reports, 8*(1), 1–9. https://doi.org/10. 1007/s40474-020-00216-8

Barnett, A. L., & Prunty, M. (2021). Handwriting difficulties in developmental coordination disorder (DCD). *Current Developmental Disorders Reports*, *8*(1), 6-14. https://1007/s40474-020-00216-8

Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn ? : A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin, 128*(4), 612. https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.4.612

Bartov, R., Wagner, M., Shvalb, N., & Hochhauser, M. (2023). Enhancing handwriting performance of children with Developmental Coordination Disorder (DCD) using computerized visual feedback. *Children*, *10*(9), 1534. https://doi.org/10.3390/children10091534

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of statistical software*, *67*, 1-48.

Biotteau, M., Chaix, Y., & Albaret, J. M. (2015). Procedural learning and automatization process in children with developmental coordination disorder and/or developmental dyslexia. *Human Movement Science*, *43*(1), 78-89. https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.07.005

Biotteau, M., Chaix, Y., & Albaret, J. M. (2016). What do we really know about motor learning in children with developmental coordination disorder?. *Current Developmental Disorders Reports*, *3*(1), 152-160. https://10.1007/s40474-016-0084-8

Biotteau, M., Danna, J., Baudou, É., Puyjarinet, F., Velay, J. L., Albaret, J. M., & Chaix, Y. (2019). Developmental coordination disorder and dysgraphia: Signs and symptoms, diagnosis, and rehabilitation. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 1873-1885. https://doi.org/10.2147/NDT.S120514

Biotteau, M., Péran, P., Vayssiere, N., Tallet, J., Albaret, J. M., & Chaix, Y. (2017). Neural changes associated to procedural learning and automatization process in Developmental Coordination Disorder and/or Developmental Dyslexia. *European Journal of Paediatric Neurology*, *21*(2), 286-299. https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.07.025

Bjorklund, D. F., Dukes, C., & Brown, R. D. (2009). The development of memory strategies. In *The Development of Memory in Infancy and Childhood* (pp. 157-188). Psychology Press

Blais, M., Baly, C., Biotteau, M., Albaret, J. M., Chaix, Y., & Tallet, J. (2017). Lack of motor inhibition as a marker of learning difficulties of bimanual coordination in teenagers with developmental coordination disorder. *Developmental Neuropsychology*, *42*(3), 207-219. https://doi.org/10.1080/87565641.2017.1306526

Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Wilson, P. (2012). European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of Developmental Coordination Disorder (long version). *Developemental Medicine & Child Neurology*. *54*(1), 54–93. https://doi.org/10.1111/j.14698749.2011.04171.x PMID: 22171930

Bo, J., & Lee, C. M. (2013). Motor skill learning in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(6), 2047-2055. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.03.012

Bock O, Abeele S, Eversheim U (2003) Human adaptation to rotated vision: interplay of a continuous and a discrete process. *Experimental Brain Research*, *152*(1), 528–532. https://doi.org/ 10.1007/s00221-003-1643-x

Bonney, E., Jelsma, D., Ferguson, G., & Smits-Engelsman, B. (2017a). Variable training does not lead to better motor learning compared to repetitive training in children with and without DCD when exposed to active video games. *Research in Developmental Disabilities*, *62*(1), 124–136. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.01.013

Bonney, E., Jelsma, L. D., Ferguson, G. D., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2017b). Learning better by repetition or variation? Is transfer at odds with task specific training? *PLoS One*, *12*(3), e0174214. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174214

Boutin, A., Badets, A., Salesse, R. N., Fries, U., Panzer, S., & Blandin, Y. (2012). Practice makes transfer of motor skills imperfect. *Psychological research, 76*(5), 611-625. https://doi.org/10.1007/s00426-011-0355-2

Bracke, D. (1998). Vers un modèle théorique du transfert : les contraintes à respecter. *Revue des Sciences de l'Education*, *24*(2), 235-266. https://doi.org/10.7202/502010ar

Braun, D. A., Aertsen, A., Wolpert, D. M., & Mehring, C. (2009). Motor task variation induces structural learning. *Current Biology*, *19*(4), 352-357. https://10.1016/j.cub.2009.01.036

Braun, D. A., Mehring, C., & Wolpert, D. M. (2010). Structure learning in action. *Behavioural Brain Research, 206*(2), 157-165. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.08.031

Brookes, R. L., Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2007). Prisms throw light on developmental disorders. *Neuropsychologia, 45*(8), 1921-1930. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.11.019

Brown, A. L. (1989). Analogical learning and transfer: what develops? In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical Reasoning*, (pp. 369-412). Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Brown, A. L. (1990). Domain-specific principles affect learning and transfer in children. *Cognitive Science*, *14*(1), 107-133. https://doi.org/10.1016/0364-0213(90)90028-U

Brown, A. L., & Kane, M. J. (1988). Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from example. *Cognitive Psychology*, *20*(4), 493-523. https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90014-X

Brown, A. L., & Campione, J. C. (1984). Three faces of transfer : implications for early competence, individual differences, and instruction. In M. E. Lamb, A. L. Brown, & B.

Rogoff (Eds.), *Advances in Developmental Psychology*, Vol. 3 (pp. 143-192). Hillsdale, NJ : Erlbaum.

Brown, A. L., Kane, M. J., & Echols, C. H. (1986). Young children's mental models determine analogical transfer across problems with a common goal structure. *Cognitive Development, 1*(2), 103-121. https://doi.org/10.1016/S0885-2014(86)80014-4

Bruininks, R. H., & Bruininks, B. D. (2005). Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, Second Edition (BOT-2) [Database record]. APA PsycTests. https://doi.org/10.1037/t14991-000

Butler, A. C., Godbole, N., & Marsh, E. J. (2013). Explanation feedback is better than correct answer feedback for promoting transfer of learning. *Journal of Educational Psychology, 105*(2), 290. https://doi.org/10.1037/a0031026

Cairney, J., Hay, J. A., Faught, B. E., & Mandigo, J. (2005). Developmental coordination disorder and self-efficacy toward physical activity in children. *Adapted Physical Activity Quarterly, 22*(1), 15-30 https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.10.003

Cannard, C., Bonthoux, F., Blaye, A., Scheuner, N., Schreiber, A. C., & Trinquart, J. (2006). BD2I: Normes sur l'identification de 274 images d'objets et leur mise en relation chez l'enfant français de 3 à 8 ans. *L'Année Psychologique*, *106*(3), 375-396. https://doi.org/10.4074/s0003503306003034

Cantin, N., Polatajko, H. J., Thach, W. T., & Jaglal, S. (2007). Developmental coordination disorder: exploration of a cerebellar hypothesis. *Human Movement Science*, *26*(3), 491-509. https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.03.004

Capistran, J., & Martini, R. (2016). Exploring inter-task transfer following a CO-OP approach with four children with DCD: A single subject multiple baseline design. *Human Movement Science*, *49*(1), 277–290. https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.07.004

Carr, M., & Schneider, W. (1991). Long-term maintenance of organizational strategies in kindergarten children. *Contemporary educational psychology*, *16*(1), 61-72. https://doi.org/10.1016/0361-476X(91)90006-7

Censor, N., Sagi, D., & Cohen, L. G. (2012). Common mechanisms of human perceptual and motor learning. *Nature Reviews Neuroscience*, *13*(9), 658-664. https://doi.org/10.1038/nrn3315

Chalard, M., Bonin, P., Méot, A., Boyer, B., & Fayol, M. (2003). Objective age-of-acquisition (AoA) norms for a set of 230 object names in French: Relationships with psycholinguistic variables, the English data from Morrison et al.(1997), and naming latencies. *European Journal of cognitive Psychology*, *15*(2), 209-245. https://doi.org/10.1080/09541440244000076

Chan, S., Mueller, U., & Masson, M. E. (2019). Far-transfer effects of strategy-based working memory training. *Frontiers in Psychology, 10*(1), 1285. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01285

Chang, H., Rosenberg-Lee, M., Qin, S., & Menon, V. (2019). Faster learners transfer their knowledge better: Behavioral, mnemonic, and neural mechanisms of individual differences in children's learning. *Developmental Cognitive Neuroscience, 40*, 100719. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100719

Chang, S. H., & Yu, N. Y. (2010). Characterization of motor control in handwriting difficulties in children with or without developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *52*(3), 244-250. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03478.x

Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003). BHK – Echelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant. Paris: Editions et Applications Psychologiques.

Chen, Z. (1999). Schema induction in children's analogical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, *91*(4), 703. https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.703

Chen, Z., & Daehler, M. W. (1989) Positive and negative transfer in analogical problem solving by 6-year-old children. *Cognitive Development, 4*(4), 327-344. https://doi.org/10.1016/S0885-2014(89)90031-2

Chi, M. T. H., & VanLehn, K. A. (2012). Seeing deep structure from the interactions of surface features. *Educational Psychologist*, *47*(3), 177-188. https://doi.org/10.1080/00461520.2012.695709

Chiappedi, M., Togni, R., De Bernardi, E., Baschenis, I. M. C., Battezzato, S., Balottin, U., ... & Bejor, M. (2012). Arm trajectories and writing strategy in healthy children. *BMC Pediatrics*, *12*(1), 1-6. https://doi.org/10.1186/1471-2431-12-173

Clark, D., & Ivry, R. B. (2010). Multiple systems for motor skill learning. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *1*(4), 461-467. https://doi.org/10.1002/wcs.56

Clément, E., Richard, J. (1997). Knowledge of domain effects in problem representation: The case of Tower of Hanoi isomorphs. *Thinking and Reasoning*, *3*(2), 133-157. https://doi.org/10.1080/135467897394392

Clerc, J., & Josseron, L. (2022). Transfer of Learning and Flexibility in Childhood. *Cognitive Flexibility: The Cornerstone of Learning*, *1*(1), 143-173. https://doi.org/10.1002/9781119902737.ch6

Clerc, J., & Miller, P. H. (2013). Utilization deficiencies and transfer of strategies in preschoolers. *Cognitive Development*, *28*(1), 76-93. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.09.003

Clerc, J., Leclercq, M., Paik, J., & Miller, P. H. (2021). Cognitive flexibility and strategy training allow young children to overcome transfer-Utilization Deficiencies. *Cognitive Development*, *57*(1), 100997. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2020.100997

Clerc, J., Miller, P. H., & Cosnefroy, L. (2014). Young children's transfer of strategies: Utilization deficiencies, executive function, and metacognition. *Developmental Review*, *34*(4), 378-393. https://doi.org/10.1016/j.dr.2014.10.002

Clerc, J., Rémy, L., & Leclercq, M. (2017). Quand le transfert d'une stratégie cognitive devient efficace: une étude longitudinale entre 4 et 5 ans. *Enfance*, *2*(2), 217-237. https://doi.org/10.4074/S001375451700204X

Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*(5), 769–786. https://doi.org/10.3758/ BF03196772

Cox, D., & Waters, H. S. (1986). Sex differences in the use of organization strategies: A developmental analysis. *Journal of Experimental Child Psychology, 41*(1), 18–37. https://doi.org/10.1016/0022-0965(86)90048-2

Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 11*(6), 671-684. https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80Juli001-X

Crawford, J. R., & Garthwaite, P. H. (2007). Comparison of a single case to a control or normative sample in neuropsychology: Development of a Bayesian approach. *Cognitive Neuropsychology*, *24*(4), 343-372. https://doi.org/10.1080/02643290701290146

Crawford, J. R., Garthwaite, P. H., & Porter, S. (2010). Point and interval estimates of effect sizes for the case-controls design in neuropsychology: rationale, methods, implementations, and proposed reporting standards. *Cognitive neuropsychology*, *27*(3), 245-260. https://doi.org/10.1080/02643294.2010.513967

Dale, G., Cochrane, A., & Green, C. S. (2021). Individual difference predictors of learning and generalization in perceptual learning. *Attention, Perception, & Psychophysics, 83*(1), 2241- 2255. https://doi.org/10.3758/s13414-021-02268-3

Dalgleish, T., Black, M., Johnston, D., & Bevan, A. (2020). Transdiagnostic approaches to mental health problems: Current status and future directions. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *88*(3), 179. https://doi.org/10.1037/ccp0000482

Danna, J., Lê, M., Tallet, J., Albaret, J.-M., Chaix, Y., Ducrot, S., & Jover, M. (2024). Motor Adaptation Deficits in Children with Developmental Coordination Disorder and/or Reading Disorder. *Children*, *11*(4), 491. https://doi.org/10.3390/children11040491

Danna, J., Paz-Villagrán, V., & Velay, J.-L. (2013). Signal-to-Noise velocity peaks difference : A new method for evaluating the handwriting movement fluency in children with dysgraphia. *Research in Developmental Disabilities, 34*(12), 4375-4384. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.09.012

Day, S. B., & Goldstone, R. L. (2012). The import of knowledge export: Connecting findings and theories of transfer of learning. *Educational Psychologist*, *47*(3), 153-176. https://doi.org/10.1080/00461520.2012.696438

Dennis, K. (2024). The Impact of Digital Learning Tools on Student Motivation and Engagement. *Convergence Chronicles,* *5*(2), 45-53. https://doi.org/10.53075/Ijmsirq/65345345232

Deschamps, L., Devillaine, L., Gaffet, C., Lambert, R., Aloui, S., Boutet, J., ... & Jolly, C. (2021). Development of a pre-diagnosis tool based on machine learning algorithms on the BHK test to improve the diagnosis of dysgraphia. *Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning*, *1*(2), 114-135.

Dewey, D., & Kaplan, B. J. (1994). Subtyping of developmental motor deficits. *Developmental Neuropsychology*, *10*(3), 265-284. https://doi.org/10.1080/87565649409540583

Di Brina, C., Niels, R., Overvelde, A., Levi, G., & Hulstijn, W. (2008). Dynamic time warping: A new method in the study of poor handwriting. *Human Movement Science*, *27*(2), 242-255. https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.012

Didierjean, A. (2001). Apprendre à partir d'exemples : Abstraction de règles et/ou mémoire d'exemplaires ? *L'Année Psychologique,* *101*(2), 325-348. https://doi.org/10.3406/psy.2001.29560

Diedrichsen, J., & Kornysheva, K. (2015). Motor skill learning between selection and execution. *Trends in Cognitive Sciences*, *19*(4), 227-233. https://10.1016/j.tics.2015.02.003

Doyon, J., & Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*(2), 161-167. https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.004

Draghi, T. T. G., Cavalcante, J. L., Rohr, L. A., Jelsma, L. D., & Tudella, E. (2020). Symptoms of anxiety and depression in children with developmental coordination disorder: a systematic review. *Jornal de Pediatria,* *96*(1), 08-19. https://doi.org/10.1016/j.jped.2019.03.002

Dubé, A. K., & McEwen, R. N. (2015). Do gestures matter? The implications of using touchscreen devices in mathematics instruction. *Learning and Instruction*, *40*, 89-98. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.09.002

Dudai, Y. (2004). The Neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annual Review of Psychology, 55*(1), 51–86. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142050

Dunlosky, J., & Kane, M. J. (2007). The contributions of strategy use to working memory span: A comparison of strategy assessment methods. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 60*(9), 1227-1245. https://doi.org/10.1080/17470210600926075

Efklides, A. (2008). Metacognition: Defining its facets and levels of functioning in relation to self-regulation and co-regulation. *European Psychologist, 13*(4), 277–287. https://doi.org/10.1027/1016-9040.13.4.277

Efklides, A., & Schwartz, B. L. (2024). Revisiting the metacognitive and affective model of self-regulated learning: Origins, development, and future directions. *Educational Psychology Review*, *36*(2), 61. https://doi.org/10.1007/s10648-024-09896-9

Elliott, E. M., Morey, C. C., AuBuchon, A. M., Cowan, N., Jarrold, C., Adams, E. J., Attwood, M., Bayram, B., Beeler-Duden, S., Blakstvedt, T. Y., Büttner, G., Castelain, T., Cave, S., Crepaldi, D., Fredriksen, E., Glass, B. A., Graves, A. J., Guitard, D., Hoehl, S., . . . Voracek, M. (2021). Multilab direct replication of Flavell, Beach, and Chinsky (1966): Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science, 4*(2), Article 25152459211018187. https://doi.org/10.1177/25152459211018187

Faber, J. M., Luyten, H., & Visscher, A. J. (2017). The effects of a digital formative assessment tool on mathematics achievement and student motivation: Results of a randomized experiment. *Computers & Education, 106*(1), 83-96. http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.001

Fairbairn, N., Galea, C., Wallen, M., Walker, K., Hodge, A., Badawi, N., & Loughran-Fowlds, A. (2020). Are boys and girls just different? Gender differences in the Movement Assessment Battery for Children, (M ABC-2) suggests that they are. *Australian Occupational Therapy Journal, 67*(3), 229-236. https://doi.org/10.1111/1440-1630.12646

Fancher, L. A., Priestley-Hopkins, D. A., & Jeffries, L. M. (2018). Handwriting Acquisition and Intervention: A Systematic Review. *Journal of Occupational Therapy, Schools, & Early Intervention*, *11*(4), 454–473. https://doi.org/10.1080/19411243.2018.1534634

Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The Nature of Intelligence* (pp. 231-235). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Flavell, J. H., Miller, P. H., & Miller, S. A. (2002). Cognitive development (4e éd.). Prentice Hall

Fleming, S. M. (2024). Metacognition and confidence: A review and synthesis. *Annual Review of Psychology*, *75*(1), 241-268. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-022423-032425

Fleming, S. M., & Lau, H. C. (2014). How to measure metacognition. *Frontiers in human neuroscience*, *8*, 443. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00443

Fleur, D. S., Bredeweg, B., & van den Bos, W. (2021). Metacognition: ideas and insights from neuro-and educational sciences. *npj Science of Learning*, *6*(1), 13. https://doi.org/10.1038/s41539-021-00089-5

Fong, S. S., Lee, V. Y., & Pang, M. Y. (2011). Sensory organization of balance control in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *32*(6), 2376-2382. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.07.025

Forsyth, B. R. (2018). Defining far transfer via thematic similarity. *Cogent Psychology, 5*(1), 1523348. https://doi.org/10.1080/23311908.2018.1523348

Franks, J. J., Bilbrey, C. W., Lien, K. G., & McNamara, T. P. (2000). Transfer-appropriate processing (TAP) and repetition priming. *Memory & Cognition, 28*(7), 1140–1151. https://doi.org/10.3758/BF03211815

Froud K, Levinson L, Maddox C, Smith P. (2024). Middle-schoolers' reading and lexical-semantic processing depth in response to digital and print media: An N400 study. *PLoS One. 19*(5), e0290807. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290807

Fuelscher, I., Williams, J., Wilmut, K., Enticott, P. G., & Hyde, C. (2016). Modeling the maturation of grip selection planning and action representation: Insights from typical and atypical motor development. *Frontiers in Psychology*, *7*(1), 108. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00108

Furlano, R., Kelley, E. A., Hall, L., & Wilson, D. E. (2015). Self-perception of competencies in adolescents with autism spectrum disorders. *Autism Research*, *8*(6), 761-770. https://doi.org/10.1002/aur.1491

Gamo, S., Sander, E., & Richard, J. F. (2010). Transfer of strategy use by semantic recoding in arithmetic problem solving. *Learning and Instruction*, *20*(5), 400-410. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.04.001

Gascoine, L., Higgins, S., & Wall, K. (2017). The assessment of metacognition in children aged 4–16 years: a systematic review. *Review of Education*, *5*(1), 3-57. https://doi.org/10.1002/rev3.3077

Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, *7*(2), 155-170. https://doi.org/10.1016/S0364-0213(83)80009-3

Gentner, D., Rattermann, M. J., & Forbus, K. D. (1993). The roles of similarity in transfer : separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology*, 25(1), 524-575. https://doi.org/10.1006/cogp.1993.1013

Gheysen, F., Van Waelvelde, H., & Fias, W. (2011). Impaired visuo-motor sequence learning in Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 32*(2), 749-756. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.11.005

Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007). Dyspraxia or developmental coordination disorder? Untravelling the enigma. *Archives of Disease In Childhood, 6*(1), 534-539. https://doi.org/10.1136/adc.2005.088054

Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive psychology*, *15*(1), 1-38. https://doi.org/10.1016/0010-0285(83)90002-6

Girish, S., Raja, K., & Kamath, A. (2016). Prevalence of developmental coordination disorder among mainstream school children in India. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, *9*(2), 107-116. https://doi.org/10.3233/PRM-160371

Gobet, F., Lloyd-Kelly, M., & Lane, P. C. (2016). What's in a name? The multiple meanings of "Chunk" and "Chunking". *Frontiers in psychology*, *7*, 102. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00102

Gomes, C., Golino, H. & Menezes, I. (2014). Predicting School Achievement Rather than Intelligence: Does Metacognition Matter? *Psychology, 5*(1), 1095-1110. https://10.4236/psych.2014.59122.

Gómez-Moya, R., Diaz, R., Vaca-Palomares, I., & Fernandez-Ruiz, J. (2019). Procedural and Strategic Visuomotor Learning Deficits in Children With Developmental Coordination Disorder. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *91*(3), 386–393. https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1675852

Gonthier, C. (2023). An easy way to improve scoring of memory span tasks: The edit distance, beyond "correct recall in the correct serial position". *Behavior Research Methods*, *55*(4), 2021-2036. https://doi.org/10.3758/s13428-022-01908-2

Gopi, Y., & Madan, C. R. (2024). Subjective memory measures: Metamemory questionnaires currently in use. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *77*(5), 924-942. https://doi.org/10.1177/17470218231183855

Gras, D., Ploix Maes, E., Doulazmi, M., Huron, C., Galléa, C., Boespflug Tanguy, O., Germanaud, D., & Roze, E. (2023). Developmental coordination disorder subtypes in children: An unsupervised clustering. *Developmental medicine and child neurology*, *65*(10), 1332–1342. https://doi.org/10.1111/dmcn.15563

Green, C. S., Strobach, T., & Schubert, T. (2014). On methodological standards in training and transfer experiments. *Psychological Research*, *78*(1), 756-772. https://doi.org/10.1007/s00426-013-0535-3

Grohs, M. N., Craig, B. T., Kirton, A., & Dewey, D. (2020). Effects of transcranial direct current stimulation on motor function in children 8–12 years with Developmental Coordination Disorder: A randomized controlled trial. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*(1), 608131. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.608131

Grove, C. R., & Lazarus, J. A. C. (2007). Impaired re-weighting of sensory feedback for maintenance of postural control in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science, 26*(3), 457-476. https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.01.014

Gruenenfelder, T. M., & Borkowski, J. G. (1975). Transfer of cumulative-rehearsal strategies in children's short-term memory. *Child Development, 1*(1), 1019-1024. https://doi.org/10.2307/1128417

Hamilton, M., Roper, T., Blaser, E., & Kaldy, Z. (2024). Can't get it out of my head: Proactive interference in the visual working memory of 3-to 8-year-old children. *Developmental Psychology*, *60*(3), 582. https://doi.org/10.1037/dev0001686

Hamilton, M., Ross, A., Blaser, E., & Kaldy, Z. (2022). Proactive interference and the development of working memory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *13*(3), e1593. https://doi.org/10.1002/wcs.1593

Harris, C. M., & Wolpert, D. M. (1998). Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, *394*(6695), 780-784. https://doi.org/10.1038/29528

Harrowell, I., Hollén, L., Lingam, R., & Emond, A. (2018). The impact of developmental coordination disorder on educational achievement in secondary school. *Research in Developmental Disabilities*, *72*(1), 13-22. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.014

Hart, J. T. (1965). Memory and the feeling-of-knowing experience. *Journal of Educational Psychology, 56*(4), 208-216. https://doi.org/10.1037/h0022263

Hasselhorn, M. (1992). Task dependency and the role of category typicality and metamemory in the development of an organizational strategy. *Child Development*, *63*(1), 202-214. https://doi.org/10.2307/1130913

Hattie, J. A. C., & Donoghue, G. M. (2016). Learning strategies: A synthesis and conceptual model. *Nature Partner Journal Science of Learning, 1*(1), 16013. https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.13

Henderson, S. E., Sugden, D., & Barnett, A. L. (2007). Movement assessment battery for children-2. *Research in Developmental Disabilities*. *1*(1). https://doi.org/10.1037/t55281-000

Henry, L. A., Messer, D. J., & Nash, G. (2014). Testing for near and far transfer effects with a Short, face-to-face adaptive working memory training intervention in typical children : Working memory training intervention. *Infant and Child Development, 23*(1), 84-103. https://doi.org/10.1002/icd.1816

Henry, L. and Bettenay, C. (2010). The assessment of executive functioning in children. *Child and Adolescent Mental Health, 15*(2), 110-119. https://doi.org/10.1111/j.1475-3588.2010.00557.x

Hertzog, C., Saylor, L. L., Fleece, A. M., & Dixon, R. A. (1994). Metamemory and aging: Relations between predicted, actual and perceived memory task performance. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *1*(3), 203-237. https://doi.org/10.1080/13825589408256577

Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting education in "educational" apps : Lessons from the science of learning. *Psychological Science in the Public Interest, 16*(1), 3-34. https://doi.org/10.1177/1529100615569721

Hitch, G. J., Allen, R. J., & Baddeley, A. D. (2025). The multicomponent model of working memory fifty years on. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *78*(2), 222-239. https://doi.org/10.1177/17470218241290909

Hoare, D. (1994). Subtypes of developmental coordination disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *11*(2), 158-169. https://doi.org/10.1123/apaq.11.2.158

Hofstadter, D., & Sander, E. (2013). L'analogie, cœur de la pensée. Odile Jacob.

Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, *15*(4), 332-340. https://doi.org/10.3758/BF03197035

Huau, A., Velay, J. L., & Jover, M. (2015). Graphomotor skills in children with developmental coordination disorder (DCD): Handwriting and learning a new letter. *Human Movement Science*, *42*(1), 318-332. https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.03.008

Huau, A., Velay, J. L., & Jover, M. (2015). Graphomotor skills in children with developmental coordination disorder (DCD): Handwriting and learning a new letter. *Human movement science, 42*, 318-332. https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.03.008

Hulstijn, W., & Van Galen, G. P. (1983). Programming in handwriting: Reaction time and movement time as a function of sequence length. *Acta Psychologica*, *54*(1-3), 23-49. https://doi.org/10.1016/0001-6918(83)90021-5

INSERM. (2019). Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie—Expertise collective (EDP Sciences).

Jacobson, M. J., Goldwater, M., Markauskaite, L., Lai, P. K., Kapur, M., Roberts, G., & Hilton, C. (2020). Schema abstraction with productive failure and analogical comparison: Learning designs for far across domain transfer. *Learning and Instruction, 65*(1), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101222

Jaeggi, S., Buschkuehl, M., Shah, P., et al. (2014). The role of individual differences in cognitive training and transfer. *Memory & Cognition, 42*(1), 464–480. https://doi.org/10.3758/s13421-013-0364-z

Jarus, T., Ghanouni, P., Abel, R. L., Fomenoff, S. L., Lundberg, J., Davidson, S., Caswell, S., Bickerton, L., & Zwicker, J. G. (2015). Effect of internal versus external focus of attention on implicit motor learning in children with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *37*(1), 119–126. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.11.009

JASP Team (2024). JASP (Version 0.19.3) [Computer software].

Jeevanantham, D., & Bartlett, D. (2017). Perspectives on classification of selected childhood neurodisabilities based on a review of literature. *Developmental Neurorehabilitation*, *20*(4), 194-206. https://doi.org/10.3109/17518423.2016.1139009

Jelsma, D., Targino Gomes Draghi, T., Cavalcante Neto, J., & Smits-Engelsman, B. (2023a). Improved attentional abilities after playing five weeks of active video games in children with and without developmental coordination disorder. *Applied Neuropsychology: Child*, 1–9. https://doi.org/10.1080/21622965.2023.2190024

Jelsma, L. D., Cavalcante Neto, J. L., Smits-Engelsman, B., Targino Gomes Draghi, T., Araújo Rohr, L., & Tudella, E. (2023b). Type of active video-games training does not impact the effect on balance and agility in children with and without Developmental Coordination Disorder: A randomized comparator-controlled trial. *Applied Neuropsychology: Child*, *12*(1), 64–73. https://doi.org/10.1080/21622965.2022.2030740

Jemstedt, A., Schwartz, B. L., & Jönsson, F. U. (2018). Ease-of-learning judgments are based on both processing fluency and beliefs. *Memory, 26*(6), 807-815. https://doi.org/10.1080/09658211.2017.1410849

Job, X. E., Brady, D., de Fockert, J. W., Luft, C. D. B., Hill, E. L., & van Velzen, J. (2019). Adults with probable developmental coordination disorder selectively process early visual, but not tactile information during action preparation. An electrophysiological study. *Human Movement Science*, *66*, 631-644. https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.02.018

Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. Cognitive science, *4*(1), 71-115. https://doi.org/10.1016/S0364-0213(81)80005-5

Jolly, C. (2017). Dyspraxie et troubles de l'écriture. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 29(*6), 681.

Jolly, C., & Gentaz, E. (2014). Analysis of cursive letters, syllables, and words handwriting in a French second-grade child with Developmental Coordination Disorder and comparison with typically developing children. *Frontiers in Psychology*, *4*(1), 1022. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.01022

Jolly, C., & Gentaz, E. (2014). Analysis of cursive letters, syllables, and words handwriting in a French second-grade child with Developmental Coordination Disorder and comparison with typically developing children. *Frontiers in psychology, 4*, 1022. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.01022

Jolly, C., Huron, C., Albaret, J. M., & Gentaz, E. (2010). Comparative analysis of cursive letters handwriting of a first-grade child presenting a developmental coordination disorder with those of ordinary pre-school and first-grade children. *Psychologie Française*, *55*(2), 145-170. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2010.03.002

Josseron, L., Mombo, W. T., Maggiacomo, M., Jolly, C., & Clerc, J. (2025). Transfer of motor and strategy learning in children with Developmental Coordination Disorder (DCD): A scoping review. *Research in Developmental Disabilities*, *157*(1), 104908. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2024.104908

Julius, M. S., & Adi-Japha, E. (2015). Learning of a simple grapho-motor task by young children and adults: similar acquisition but age-dependent retention. *Frontiers in Psychology*, *6*, 225. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00225

Kadesjo, B., & Gillberg, C. (1999). Developmental coordination disorder in Swedish 7-year-old children. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 38*(1), 820–828. https://doi.org/10.1097/00004583-199907000-00011

Kagerer, F. A., Bo, J., Contreras-Vidal, J. L., & Clark, J. E. (2004). Visuomotor adaptation in children with developmental coordination disorder. *Motor Control*, *8*(1), 450–460. https://doi.org/10.1123/mcj.8.4.450

Kami, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, *377*(6545), 155-158. https://doi.org/10.1038/377155a0

Kandel, S., Alvarez, C. J., & Vallée, N. (2006). Syllables as processing units in handwriting production. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(1), 18. https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.1.18

Kandukoori, A., Kandukoori, A., & Wajid, F. (2024). Comparative Analysis of Digital Tools and Traditional Teaching Methods in Educational Effectiveness. arXiv preprint arXiv: 2408.06689.

Kaplan, B. J., Dewey, D. M., Crawford, S. G., & Wilson, B. N. (2001). The term comorbidity is of questionable value in reference to developmental disorders: Data and theory. *Journal of Learning Disabilities, 34*(6), 555-565 https://doi.org/10.1177/002221940103400608

Kaplan, B., Crawford, S., Cantell, M., Kooistra, L., & Dewey, D. (2006). Comorbidity, co-occurrence, continuum: what's in a name?. *Child: Care, Health and Development, 32*(6), 723-731. https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00689.x

Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology, 9(*6), 718-727. https://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)00028-8

Kawato, M., & Wolpert, D. (2007, September). Internal models for motor control. In Novartis Foundation Symposium 218-Sensory Guidance of Movement: Sensory Guidance of

Movement: Novartis Foundation Symposium 218 (pp. 291-307). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470515563.ch16

Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin, 70*(1), 387-403. https://doi.org/10.1037/h0026739

Kirby, A., Edwards, L., & Sugden, D. (2011). Emerging adulthood in developmental co-ordination disorder: Parent and young adult perspectives. *Research in Developmental Disabilities, 32*(4), 1351-1360. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.041

Kirby, A., Edwards, L., Sugden, D., & Rosenblum, S. (2010). The development and standardization of the Adult Developmental Co-ordination Disorders/Dyspraxia Checklist (ADC). *Research in Developmental Disabilities, 31*(1), 131-139. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2009.08.010

Kirby, A., Williams, N., Thomas, M., & Hill, E. L. (2013). Self-reported mood, general health, wellbeing and employment status in adults with suspected DCD. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(4), 1357-1364. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.01.003

Klahr, D., & Chen, Z. (2011). Finding one's place in transfer space. *Child Development Perspectives*, *5*(3), 196-204. https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00171.x

Kluwe, M., Miyahara, M., & Heveldt, K. (2012). A case study to evaluate balance training with movement test items and through teaching observation: Beyond specificity and transfer of learning. *Physical Education & Sport Pedagogy*, *17*(5), 463–475. https://doi.org/10.1080/17408989.2011.594428

Knaier, E., Meier, C. E., Caflisch, J. A., Huber, R., Kakebeeke, T. H., & Jenni, O. G. (2023). Visuomotor adaptation, internal modelling, and compensatory movements in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *143*(1), 104624. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104624

Koopmans, D. C., Krajenbrink, H., Lust, J. M., & Steenbergen, B. (2023). End-state comfort planning after explicit goal instructions in children with and without probable Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science*, *88*(1), 103066. https://doi.org/10.1016/j.humov.2023.103066

Koriat, A., & Levy-Sadot, R. (1999). Information-based and experience-based monitoring of one's own knowledge. *Dual-process theories in social psychology*, 483-502.

Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). NEPSY-II–Second edition.

Krakauer, J. W., Hadjiosif, A. M., Xu, J., Wong, A. L., & Haith, A. M. (2019). Motor learning. *Comprehensive Physiology*, *9*(2), 613-663. https://doi.org/10.1002/cphy.c170043

Krakauer, J. W., Pine, Z. M., Ghilardi, M. F., & Ghez, C. (2000). Learning of visuomotor transformations for vectorial planning of reaching trajectories. *Journal of Neuroscience*, *20*(23), 8916-8924. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-23-08916.2000

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. (2017). lmerTest package: tests in linear mixed effects models. *Journal of statistical software*, *82*, 1-26. https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13

Lambert, E., & Espéret, E. (2002). Assemblage des unités traitées par les processus graphomoteurs et orthographiques au début de l'apprentissage de l'écriture. *Revue de Psychologie de l'Education, 7*(1), 76-97. https://10.1016/j.psfr.2010.03.002

Lee, T. D. (1988). Transfer-appropriate processing: A framework for conceptualizing practice effects in motor learning. In *Advances in psychology* (Vol. 50, pp. 201-215). North-Holland.

Lejeune, C., Catale, C., Willems, S., & Meulemans, T. (2013). Intact procedural motor sequence learning in developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 34*(6), 1974-1981. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.03.017

Lejeune, C., Wansard, M., Geurten, M., & Meulemans, T. (2016). Procedural learning, consolidation, and transfer of a new skill in Developmental Coordination Disorder. *Child Neuropsychology*, *22*(2), 143–154. https://doi.org/10.1080/09297049.2014.988608

Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, *27*(2), 364-382. https://doi.org/10.3758/BF03211420

Lété, B., Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2004). Manulex: A grade-level lexical database from French elementary-school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 36*(1), 156-166. https://doi.org/10.3758/BF03195560

Lingam, R., Hunt, L., Golding, J., Jongmans, M., & Emond, A. (2009). Prevalence of developmental coordination disorder using the DSM-IV at 7 years of age: A UK population–based study. *Pediatrics*, *123*(4), e693-e700. https://doi.org/10.1542/peds.2008-1770

Lucas, B. R., Elliott, E. J., Coggan, S., Pinto, R. Z., Jirikowic, T., McCoy, S. W., & Latimer, J. (2016). Interventions to improve gross motor performance in children with neurodevelopmental disorders: A meta-analysis. *BMC Pediatrics, 16*(1). https://doi.org/10.1186/s12887-016-0731-6

Luis-Ruiz, S., Caldu, X., Sanchez-Castaneda, C., Pueyo, R., Garolera, M., & Jurado, M. Á. (2020). Is cognitive training an effective tool for improving cognitive function and real-life behaviour in healthy children and adolescents? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 116*(1), 268-282. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.06.019

Luis-Ruiz, S., Caldu, X., Sanchez-Castaneda, C., Pueyo, R., Garolera, M., & Jurado, M. Á. (2020). Is cognitive training an effective tool for improving cognitive function and real-life behaviour in healthy children and adolescents? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 116,* 268-282. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.06.019

Lustig, C., May, C. P., & Hasher, L. (2001). Working Memory Span and the Role of Proactive Interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*(2), 199-207.

Mandich, A. D., Polatajko, H. J., Macnab, J. J., & Miller, L. T. (2001). Treatment of children with developmental coordination disorder: What is the evidence?. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, *20*(2-3), 51-68. https://doi.org/10.1080/J006v20n02_04

Martini, R., Wall, A. T., & Shore, B. M. (2004). Metacognitive Processes Underlying Psychomotor Performance in Children with Differing Psychomotor Abilities. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *21*(3), 248-268. https://doi.org/10.1123/apaq.21.3.248

Mazeau M. Les dyspraxies : points de repères. Archives Pédiatriques, 2010 ; 17 : 314-8.

Maziero, S., Tallet, J., Bellocchi, S., Jover, M., Chaix, Y., & Jucla, M. (2020). Influence of comorbidity on working memory profile in dyslexia and developmental coordination disorder. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *42*(7), 660-674. https://doi.org/10.1080/13803395.2020.1798880

Mazzoni, P., & Krakauer, J. (2006). An implicit plan overrides an explicit strategy during visuomotor adaptation. *Journal of Neuroscience, 26*(1), 3642. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5317-05.2006

Meachon, E. J., Melching, H., & Alpers, G. W. (2024). The overlooked disorder:(un) awareness of developmental coordination disorder across clinical professions. *Advances in Neurodevelopmental Disorders*, *8*(2), 253-261. https://doi.org/10.1007/s41252-023-00334-5

Melot, A. M. (1985). Quelques aspects de l'élaboration des conduites de mémorisation intentionnelle au cours du développement. In J. Bideaud & M. Richelle (Eds.), *Psychologie Développementale : Problèmes et Réalités*, (pp. 93-108). Bruxelles: Mardaga.

Melot, A. M. (1998). The relationship between metacognitive knowledge and metacognitive experiences: acquisition and re-elaboration. *European Journal of Psychology of Education*, *13*(1), 75-89. http://www.jstor.org/stable/23420108

Melot, A. M., & Corroyer, D. (1982). Mémorisation intentionnelle : différents types d'organisation des conduites observées entre 3 et 7 ans. *Enfance, 1*(2), 49-60. https://doi.org/10.3406/enfan.1982.2772

Meulenbroek, R. G., & Van Galen, G. P. (1988). The acquisition of skilled handwriting: Discontinuous trends in kinematic variables. In *Advances in Psychology, 55*(1), 273-281. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60627-5

Michel, E., Roethlisberger, M., Neuenschwander, R., & Roebers, C. M. (2011). Development of cognitive skills in children with motor coordination impairments at 12-month follow-up. *Child Neuropsychology, 17*(2), 151-172. https://doi.org/10.1080/09297049.2010.525501

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*(2), 81. https://doi.org/10.1037/h0043158

Miller, L. T., Missiuna, C. A., Macnab, J. J., Malloy-Miller, T., & Polatajko, H. J. (2001). Clinical description of children with developmental coordination disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy,* *68*(1), 5–15. https://doi.org/10.1177/000841740106800101

Miller, P. H. (1990). The development of strategies of selective attention. In Bjorklund, D.F. (ed.), *Children's Strategies: Contemporary Views of Cognitive Development*. Erlbaum, Hillsdale.

Miller, P. H., & Seier, W. L. (1994). Strategy utilization deficiencies in children: When, where, and why. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior*, Vol 25, pp. 107–156). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60051-8

Missiuna, C., Malloy-Miller, T., & Mandich, A. (1997). Cognitive, or" Top-Down", Approaches to Intervention. *School of Rehabilitation Science, and Neurodevelopmental Clinical Research Unit in Ontario USA*. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bb89db758850dbcc8753d665d502e5d74c3d7859

Missiuna, C., Mandich, A. D., Polatajko, H. J., & Malloy-Miller, T. (2001). Cognitive orientation to daily occupational performance (CO-OP) part I-theoretical foundations. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, *20*(2-3), 69-81.

Miyahara, M. (1994). Subtypes of students with learning disabilities based upon gross motor functions. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *11*(4), 368-382. https://doi.org/10.1123/apaq.11.4.368

Mombo, W. T., & Clerc, J. (2022). Transfer of learning in young children: Magic digital or similarity-based?. *L'Année psychologique*, *122*(3), 471-512. https://doi.org/10.3917/anpsy1.223.0471

Mombo, W. T., Josseron, L., Quinton, J. C., & Clerc, J. (2024). Young children's transfer of learning on a touchscreen tablet is determined by similarities between tasks and between

digital contexts. *Computers in Human Behavior Reports*, *13*(1), 100359. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100359

Mombo, W., Josseron, L., Hubert, M., Leclercq, M., Clerc, J. (en révision). Compensating children's transfer decrement by specific training in digital Tower of Hanoi

Morrison, A. B., Rosenbaum, G. M., Fair, D., & Chein, J. M. (2016). Variation in strategy use across measures of verbal working memory. *Memory & Cognition, 44*(6), 922-936. https://doi.org/10.3758/s13421-016-0608-9

Mosca, S. J., Langevin, L. M., Dewey, D., Innes, A. M., Lionel, A. C., Marshall, C. C., ... & Bernier, F. P. (2016). Copy-number variations are enriched for neurodevelopmental genes in children with developmental coordination disorder. *Journal of Medical Genetics, 53*(12), 812-819. https://doi.org/10.1136/jmedgenet-2016-103818

Moser, A., Olsen, S., Rusnak, S. N., Barr, R., & Gerhardstein, P. (2019). How self-generated labelling shapes transfer of learning during early childhood: The role of individual differences. *British Journal of Developmental Psychology, 37*(1), 68-83. https://doi.org/10.1111/bjdp.12254

Moser, A., Zimmermann, L., Dickerson, K., Grenell, A., Barr, R., & Gerhardstein, P. (2015). They can interact, but can they learn? Toddlers' transfer learning from touchscreens and television. *Journal of Experimental Child Psychology, 137*(1), 137-155. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.04.002

Moulin, C. J. A., Perfect, T. J., & Jones, R. W. (2000). Evidence for intact memory monitoring in Alzheimer's disease : Metamemory sensitivity at encoding. *Neuropsychologia, 38*(9), 1242-1250. https://doi.org/10.1016/S0028-3932(00)00037-3

Munn, Z., Peters, M. D., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology, 18*(1), 1-7. https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x

Müssgens, D. M., & Ullén, F. (2015). Transfer in motor sequence learning: Effects of practice schedule and sequence context. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*(1), 642. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00642

Nambiema, A., Fouquet, J., Guilloteau, J., & Descatha, A. (2021). La revue systématique et autres types de revue de la littérature: qu'est-ce que c'est, quand, comment, pourquoi?. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement, 82*(5), 539-552. https://doi.org/10.1016/j.admp.2021.03.004

Nelson, T. O., & Dunlosky, J. (1991). When people's judgments of learning (JOLs) are extremely accurate at predicting subsequent recall : The "delayed-JOL effect". *Psychological Science, 2*(4), 267-271. https://doi.org/10.1111/j.14679280.1991.tb00147.x

Nelson, T. O., & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Bower (Ed.), The psychology of learning and motivation (Vol. 26) (pp. 125–141). Academic Press.

Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? In J. M. Metcalfe, & A. P. Shimamura (Eds.), Metacognition: Knowing about knowing (pp. 1–25). MIT Press.

Nichols, A. L., & Maner, J. K. (2008). The good-subject effect: Investigating participant demand characteristics. *The Journal of General Psychology, 135*(2), 151-166. https://doi.org/10.3200/GENP.135.2.151-166

Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2007). Procedural learning difficulties: reuniting the developmental disorders? *Trends in Neurosciences, 30*(4), 135-141. https://10.1016/j.tins.2007.02.003

Niemeijer, A. S., Smits-Engelsman, B. C. M., & Schoemaker, M. M. (2007). Neuromotor task training for children with Developmental Coordination Disorder: A controlled trial. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(6), 406–411. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00406.x

Niemeijer, A. S., Smits-Engelsman, B. C., & Schoemaker, M. M. (2007). Neuromotor task training for children with developmental coordination disorder: a controlled trial. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(6), 406-411. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00406.x

Nokes, T. J. (2009). Mechanisms of knowledge transfer. *Thinking & Reasoning*, *15*(1), 1-36. https://doi.org/10.1080/13546780802490186

Oberauer, K. (2019). Is rehearsal an effective maintenance strategy for working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 23*(9), 798-809. https://10.1016/j.tics.2019.06.002

Olive, T., Favart, M., Beauvais, C., & Beauvais, L. (2009). Children's cognitive effort and fluency in writing: Effects of genre and of handwriting automatisation. *Learning and Instruction*, *19*(4), 299-308. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.05.005

Palmis, S., Danna, J., Velay, J. L., & Longcamp, M. (2019). Motor control of handwriting in the developing brain: A review. *Developmental Dysgraphia*, *1*(1), 123-140. https://doi.org/10.1080/02643294.2017.1367654

Paz-Villagrán, V., Danna, J., & Velay, J. L. (2014). Lifts and stops in proficient and dysgraphic handwriting. *Human movement science, 33*, 381-394. https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.11.005

Perruchet, P., & Pacton, S. (2006). Implicit learning and statistical learning: One phenomenon, two approaches. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(5), 233-238. https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.006

Piaget, J. (1952), The Origins of Intelligence in Children. New York: International Universities Press.

Polatajko, H. J., & Cantin, N. (2005, December). Developmental coordination disorder (dyspraxia): an overview of the state of the art. In *Seminars in pediatric neurology* (Vol. 12, No. 4, pp. 250-258). WB Saunders. https://doi.org/10.1016/j.spen.2005.12.007

Polatajko, H. J., Mandich, A. D., Miller, L. T., & Macnab, J. J. (2001a). Cognitive orientation to daily occupational performance (CO-OP) part II the evidence. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, *20*(2-3), 83-106.

Polatajko, H. J., Mandich, A. D., Missiuna, C., Miller, L. T., Macnab, J. J., Malloy-Miller, T., & Kinsella, E. A. (2001b). Cognitive orientation to daily occupational performance (CO-OP) part III-the protocol in brief. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, *20*(2-3), 107-123.

Polatajko, H.J.; Mandich, A.D. (2004). Enabling Occupation in Children. *The Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance (CO-OP) Approach;* CAOT Publications ACE: Ottawa, ON, USA. https://doi.org/10.1111/1440-1630.12333

Pontart, V., Bidet-Ildei, C., Lambert, E., Morisset, P., Flouret, L., & Alamargot, D. (2013). Influence of handwriting skills during spelling in primary and lower secondary grades. *Frontiers in Psychology, 4*(1), 818. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00818

Poulsen, A. A., Ziviani, J. M., & Cuskelly, M. (2007). Perceived freedom in leisure and physical co-ordination ability: impact on out-of-school activity participation and life satisfaction. *Child: Care, Health and Development*, *33*(4), 432-440. https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2007.00730.x

Pratt, M. L., & Hill, E. L. (2011). Anxiety profiles in children with and without developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 32*(4), 1253-1259. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.02.006

Pratt, M. L., Leonard, H. C., Adeyinka, H., & Hill, E. L. (2014). The effect of motor load on planning and inhibition in developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *35*(7), 1579-1587. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.04.008

Prunty, M. M., Barnett, A. L., Wilmut, K., & Plumb, M. S. (2013). Handwriting speed in children with Developmental Coordination Disorder : Are they really slower? *Research in Developmental Disabilities, 34*(9), 2927-2936. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.06.005

Prunty, M. M., Barnett, A. L., Wilmut, K., & Plumb, M. S. (2014). An examination of writing pauses in the handwriting of children with Developmental Coordination Disorder. *Research in developmental disabilities*, *35*(11), 2894-2905. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.07.033

Psotta, R., & Abdollahipour, R. (2017). Factorial Validity of the Movement Assessment Battery for Children—2nd Edition (MABC-2) in 7-16-Year-Olds. *Perceptual and motor skills*, *124*(6), 1051-1068. https://doi.org/10.1177/0031512517729951

Reed, S. K. (2012). Learning by mapping across situations. *Journal of the Learning Sciences, 21*(3), 353-398. https://doi.org/10.1080/10508406.2011.607007

Resing, W. C. M., Bakker, M., Pronk, C. M. E., & Elliott, J. G. (2016). Dynamic testing and transfer : An examination of children's problem-solving strategies. *Learning and Individual Differences, 49*(1), 110-119. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.05.011

Reynolds, J. E., Licari, M. K., Reid, S. L., Elliott, C., Winsor, A. M., Bynevelt, M., & Billington, J. (2017). Reduced relative volume in motor and attention regions in developmental coordination disorder: a voxel-based morphometry study. *International Journal of Developmental Neuroscience*, *58*(1), 59-64. https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2017.01.008

Rhodes, M. G. (2016). Judgments of learning: Methods, data, and theory. *The Oxford Handbook of Metamemory* (pp. 65–80). Oxford University Press.

Riggs, A. E., Alibali, M. W., & Kalish, C. W. (2015). Leave her out of it: Person-presentation of strategies is harmful for transfer. *Cognitive Science, 39*(8), 1965-1978. https://doi.org/10.1111/cogs.12224

Ringel, B. A., & Springer, C. J. (1980). On knowing how well one is remembering: The persistence of strategy use during transfer. *Journal of Experimental Child Psychology, 29*(1), 322–333. https://doi.org/10.1016/0022-0965(80)90023-5

Ripoll, T., & Coulon, D. (2001). Le raisonnement par analogie : une analyse descriptive et critique des modèles du mapping. *L'Année Psychologique, 101*(1), 289-323.

Robins, A. (1996). Transfer in cognition. *Connection Science, 8*(2), 185-203. https://doi.org/10.1080/095400996116875

Roebers, C. M. (2013). Children's deliberate memory development: The contribution of strategies and metacognitive processes. *The Wiley handbook on the development of children's memory*, *1*, 865-894.

Roebers, C. M., & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental science*, *12*(1), 175-181. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x

Roebers, C. M., Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E., & Jäger, K. (2014). The relation between cognitive and motor performance and their relevance for children's transition to school: A latent variable approach. *Human Movement Science*, *33*(1), 284-297. https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.08.011

Roenker, D. L., Thompson, C. P., & Brown, S. C. (1971). Comparison of measures for the estimation of clustering in free recall. *Psychological Bulletin, 76*(1), 45–48. https://10.1037/h0031355

Rosenblum, S., & Livneh-Zirinski, M. (2008). Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Human Movement Science, 27*(2), 200-214. https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.011

Rosenblum, S., Dvorkin, A., & Weiss, P. (2006). Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting. *Human Movement Science, 25*(1), 608-621. https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.07.005

Rosenblum, S., Weiss, P. L., & Parush, S. (2003). Product and Process Evaluation of Handwriting Difficulties. *Educational Psychology Review, 15*(1), 41-81. https://doi.org/10.1023/A:1021371425220

Roy, A. (2021). *Fée: batterie d'évaluation des fonctions exécutives de l'enfant*. Editions Hogrefe France.

Sadtler, P. T., Quick, K. M., Golub, M. D., Chase, S. M., Ryu, S. I., Tyler-Kabara, E. C., ... & Batista, A. P. (2014). Neural constraints on learning. *Nature*, *512*(7515), 423-426. https://doi.org/10.1038/nature13665

Sala, G., & Gobet, F. (2017). Does far transfer exist ? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Directions in Psychological Science*, *26*(6), 515-520. https://doi.org/10.1177/0963721417712760

Sander, E. (2016). Enjeux sémantiques pour les apprentissages arithmétiques. *Bulletin de Psychologie, 1*(6), 463-469. https://doi.org/10.3917/bupsy.546.0463.

Sander, E., & Richard, J. F. (2005). Analogy and transfer: encoding the problem at the right level of abstraction. In Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society. Stresa, Italy (pp. 1925-1930).

Sangster Jokić, C., & Whitebread, D. (2011). The role of self-regulatory and metacognitive competence in the motor performance difficulties of children with developmental

coordination disorder: A theoretical and empirical review. *Educational Psychology Review*, *23*(1), 75-98. https://doi.org/10.3109/01942638.2015.1135844

Sangster, C. A., Beninger, C., Polatajko, H. J., & Mandich, A. (2005). Cognitive strategy generation in children with developmental coordination disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, *72*(2), 67-77. https://doi.org/10.1177/00084174050720020

Savion-Lemieux, T., Bailey, J. A., and Penhune, V. (2009). Developmental contributions to motor sequence learning. *Experimental Brain Research. 195*(1), 293–306. https://doi.org/10.1007/s00221-009-1786-5

Schlagmüller, M., & Schneider, W. (2002). The development of organizational strategies in children: Evidence from a microgenetic longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *81*(3), 298-319. https://doi.org/10.1006/jecp.2002.2655

Schleepen, T. M. J., & Jonkman, L. M. (2014). A longitudinal study of semantic grouping strategy use in 6–11-year-old children: Investigating developmental phases, the role of working memory, and strategy transfer. *The Journal of Genetic Psychology, 175*(6), 451-471. https://10.1080/00221325.2014.958126

Schmidt RA. (1988). Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis. 2nd ed. Champaign, IL: *Human Kinetics*

Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review, 82(*4), 225–260. https://doi.org/10.1037/h0076770

Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis.* Human Kinetics.

Schneider, W., & Bjorklund, D. F. (1998). Memory. In W. Damon, D. Kuhn, & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2. Cognitive, language, and perceptual development* (5th ed., pp. 467–521). New York, NY: Wiley

Schneider, W., & Ornstein, P. A. (2019). Determinants of memory development in childhood and adolescence. *International Journal of Psychology*, *54*(3), 307-315. https://doi.org/10.1002/ijop.12503

Schneider, W., & Pressley, M. (2013). *Memory development between two and twenty*. Psychology Press.

Schneider, W., Bjorklund, D. F., & Valsiner, J. (2003). Memory and knowledge development. *Handbook of Developmental Psychology*, 370-403.

Schneider, W., Borkowski, J. G., Kurtz, B. E., & Kerwin, K. (1986). Metamemory and motivation: A comparison of strategy use and performance in German and American children. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *17*(3), 315-336. https://doi.org/10.1177/0022002186017003005

Schneider, W., Kron, V., Hünnerkopf, M., & Krajewski, K. (2004). The development of young children's memory strategies: First findings from the Würzburg Longitudinal Memory Study. *Journal of Experimental Child Psychology, 88*(1), 193-209. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.02.004

Schoemaker, M. M., Niemeijer, A. S., Reynders, K., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2003). Effectiveness of neuromotor task training for children with Developmental Coordination Disorder: A pilot study. *Neural Plasticity*, *10*(1–2), 155–163. https://doi.org/10.1155/NP.2003.155

Schwartz, D. L., Chase, C. C., & Bransford, J. D. (2012). Resisting overzealous transfer : Coordinating previously successful routines with needs for new learning. *Educational Psychologist, 47*(3), 204-214. https://doi.org/10.1080/00461520.2012.696317

Schwenck, C., Bjorklund, D. F., & Schneider, W. (2007). Factors influencing the incidence of utilization deficiencies and other patterns of recall/strategy-use relations in a strategic memory task. *Child Development, 78*(6), 1771–1787. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01090.x

Seidler, R. D. (2010). Neural correlates of motor learning, transfer of learning, and learning to learn. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *38*(1), 3-9. https://10.1097/JES.0b013e3181c5cce7

Seidler, R. D., & Noll, D. C. (2008). Neuroanatomical correlates of motor acquisition and motor transfer. *Journal of Neurophysiology, 99*(4), 1836-1845. https://doi.org/10.1152/jn.01187.2007

Séraphin Thibon, L., Gerber, S., & Kandel, S. (2018). The elaboration of motor programs for the automation of letter production. *Acta Psychologica, 182*(1), 200-211. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.12.001

Seyll, L., & Content, A. (2022). like shape recognition in preschool children: Does graphomotor knowledge contribute?. *Frontiers in Psychology*, *12*, 726454. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.726454

Shadmehr, R., & Mussa-Ivaldi, F. A. (1994). Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *Journal of Neuroscience*, *14*(5), 3208-3224. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-05-03208.1994

Shea, J. B., & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental psychology: Human Learning and memory*, *5*(2), 179. https://doi.org/10.1037/0278-7393.5.2.179

Shmuelof, L., Krakauer, J. W., & Mazzoni, P. (2012). How is a motor skill learned? Change and invariance at the levels of task success and trajectory control. *Journal of neurophysiology*, *108*(2), 578-594. https://doi.org/10.1152/jn.00856.2011

Silva, A. R., Pinho, M. S., Macedo, L., Souchay, C., & Moulin, C. (2017). Mnemonic anosognosia in Alzheimer's disease is caused by a failure to transfer online evaluations of performance: Evidence from memory training programs. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology,* *39*(5), 419–433. https://doi.org/10.1080/13803395.2016.1231799

Smits-Engelsman, B. C. M., & Wilson, P. H. (2013). Noise, variability, and motor performance in developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology, 55*(1), 69-72. https://doi.org/10.1111/dmcn.12311

Smits-Engelsman, B. C. M., Jelsma, L. D., Ferguson, G. D., & Geuze, R. H. (2015). Motor learning: An analysis of 100 trials of a ski slalom game in children with and without Developmental Coordination Disorder. *PLoS One*, *10*(10), e0140470. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140470

Smits-Engelsman, B. C. M., Wilson, P. H., Westenberg, Y., & Duysens, J. (2003). Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities : An underlying open-loop control deficit. *Human Movement Science, 22*(4), 495-513. https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.006

Smits-Engelsman, B. C. M., Wilson, P. H., Westenberg, Y., & Duysens, J. (2003). Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning

disabilities: An underlying open-loop control deficit. *Human Movement Science*, *22*(4-5), 495-513. https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.006

Smits-Engelsman, B. C., Bonney, E., & Jelsma, D. (2023). Task-specificity and transfer of skills in school-aged children with and without Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *133*(1), 104399. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104399

Smits-Engelsman, B., Bonney, E., & Ferguson, G. (2021). Effects of graded exergames on fitness performance in elementary school children with Developmental Coordination Disorder. *Frontiers in Sports and Active Living*, *3*(1), 653851. https://doi.org/10.3389/fspor.2021.653851

Smits-Engelsman, B., Vinçon, S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2018). Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities, 74*(1), 72–102. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.002

Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of experimental psychology: Human learning and memory*, *6*(2), 174. https://doi.org/10.1037/0278-7393.6.2.174

Sonne, T., Kingo, O. S., Berntsen, D., Krøjgaard, P. (2020). Age affects strategic but not spontaneous recall in 35- and 46-month-old-children. *Journal of Cognition and Development, 21*(4), 603-621. https://doi.org/10.1080/15248372.2020.1797748

Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2014). Caractéristiques de la dysgraphie ou du trouble de l'apprentissage de la graphomotricité (TAG) au collège. *ANAE-Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, *26*(128), 53-58.

Souza, A. S., & Oberauer, K. (2020). No evidence that articulatory rehearsal improves complex span performance. *Journal of Cognition, 3*(1), 11. https://doi.org/ 10.5334/joc.103

St Clair-Thompson, H., Stevens, R., Hunt, A., & Bolder, E. (2010). Improving children's working memory and classroom performance. *Educational Psychology*, *30*(2), 203-219. https://doi.org/10.1080/01443410903509259

Stad, F. E., Vogelaar, B., Veerbeek, J., & Resing, W. C. M. (2017). Young children's transfer of series completion in a dynamic test setting: Does cognitive flexibility play a role? *International Journal of School and Cognitive Psychology, 4*(4). https://10.4172/2469-9837.1000199

Sugden, D. A. (2007). Current approaches to intervention in children with Developmental Coordination Disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology, 49*(1), 467–471. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00467.x

Summers, J., Larkin, D., & Dewey, D. (2008). What impact does developmental coordination disorder have on daily routines?. *International Journal of Disability, Development and Education, 55*(2), 131-141. https://doi.org/10.1080/10349120802033485

Sundararajan, N., & Adesope, O. (2020). Keep it coherent: A meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Psychology Review*, *32*(3), 707-734. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09522-4

Swett, B. A., Contreras-Vidal, J. L., Birn, R., & Braun, A. (2010). Neural substrates of graphomotor sequence learning: A combined fMRI and kinematic study. *Journal of Neurophysiology*, *103*(6), 3366-3377. https://doi.org/10.1152/jn.00449.2009

Taylor, J. A., & Ivry, R. B. (2011). Flexible cognitive strategies during motor learning. *PLoS Computational Biology*, *7*(3), e1001096. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1001096

Teulings, H. L., Thomassen, A. J., & Van Galen, G. P. (1983). Preparation of partly precued handwriting movements: The size of movement units in handwriting. *Acta Psychologica*, *54*(1-3), 165-177. https://doi.org/10.1016/0001-6918(83)90031-8

The jamovi project (2025). *jamovi* (Version 2.6) [Computer Software]. Retrieved from https://www.jamovi.org

Thorndike, E. L. (1903). *Educational psychology.* Lemcke & Buechner. https://doi.org/10.1037/10528-000

Thorndike, E. L. (1903). Educational Psychology. New York: Lemcke and Buechner.

Thorndike, E. L. (1924). Mental discipline in high school studies. *Journal of Educational Psychology, 15*(1), 1-22. https://doi.org/10.1037/h0075386

Thorndike, E. L., & Woodworth, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. II. The estimation of magnitudes. *Psychological Review*, *8*(4), 384. https://doi.org/10.1037/h0071280

Tiffin, J., and Asher, E. J. (1948). The purdue pegboard; norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology, 32*, 234–247. https://doi.org/10.1037/h0061266

Tomassini, V., Jbabdi, S., Kincses, Z. T., Bosnell, R., Douaud, G., Pozzilli, C., ... & Johansen-Berg, H. (2011). Structural and functional bases for individual differences in motor learning. *Human Brain Mapping, 32*(3), 494-508. https://doi.org/ 10.1002/hbm.21037

Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational Psychology Review*, *26*(2), 265-283. https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1

Tsai, C. L., Wilson, P. H., & Wu, S. K. (2008). Role of visual–perceptual skills (non-motor) in children with developmental coordination disorder. *Human movement science*, *27*(4), 649-664. https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.10.002

Tsiotra, G. D., Flouris, A. D., Koutedakis, Y., Faught, B. E., Nevill, A. M., Lane, A. M., & Skenteris, N. (2006). A comparison of Developmental Coordination Disorder prevalence rates in Canadian and Greek children. *Journal of Adolescent Health, 39*(1), 125-7. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2005.07.011

Tubau, E., Escera, C., Carral, V., & Corral, M. J. (2007). Individual differences in sequence learning and auditory pattern sensitivity as revealed with evoked potentials. *European Journal of Neuroscience, 26(*1), 261-264. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05637.x

Vaivre-Douret L, Mazeau M, Jolly C, Huron C, Arnaud C, Gonzalez-Monge S, Assaiante C (2021). L'expertise collective de l'Inserm sur le trouble développemental de la coordination ou dyspraxie : état des principaux travaux et recommandations. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence, 69*(6), p311-330. https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2021.07.002

Vaivre-Douret, L. (2006). Batterie d'évaluation des fonctions neuro-psychomotrices de l'enfant (NP-MOT). *Paris: ECPA-Pearson*.

Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B., & Golse, B. (2011). Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence, 59*(8), 443-453. https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2011.07.006

Valtr, L., Psotta, R., & Abdollahipour, R. (2016). Gender differences in performance of the Movement Assessment Battery for Children-test in adolescents. *Acta Gymnica, 46*(4), 155-161. https://doi.org/10.5507/ag.2016.017

van Bers, B. M. C. W., van Schijndel, T. J. P., Visser, I., & Raijmakers, M. E. J. (2020). Cognitive flexibility training has direct and near transfer effects, but no far transfer effects, in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology, 193*(1), 1-17. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104809

van Galen, G. P. (1991). Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science, 10*(2–3), 165–191. https://doi.org/10.1016/0167-9457(91)90003-G

van Hoorn, J. F., Schoemaker, M. M., Stuive, I., Dijkstra, P. U., Rodrigues Trigo Pereira, F., Van der Sluis, C. K., & Hadders-Algra, M. (2021). Risk factors in early life for developmental coordination disorder: a scoping review. *Developmental Medicine & Child Neurology, 63(*5), 511-519. https://doi.org/10.1111/dmcn.14781

van Swieten, L. M., van Bergen, E., Williams, J. H., Wilson, A. D., Plumb, M. S., Kent, S. W., & Mon-Williams, M. A. (2010). A test of motor (not executive) planning in developmental coordination disorder and autism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*(2), 493. https://doi.org/10.1037/a0017177

Volman MJ, Laroy ME, Jongmans MJ. (2006). Rhythmic coordination of hand and foot in children with developmental coordination disorder. *Child Care Health and Development, 32*(1), 693-702. https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00679.x

Vosniadou, S. (1989). Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, (pp. 413-438). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Wang, Z., & Adesope, O. (2014). Effects of seductive details on multimedia learning. *Journal of Studies in Education, 4*(3), 32. https://doi.org/10.5296/jse.v4i3.6024

Werner, S., & Bock, O. (2007). Effects of variable practice and declarative knowledge on sensorimotor adaptation to rotated visual feedback. *Experimental Brain Research*, *178*(1), 554-559. https://doi.org/ 10.1007/s00221-007-0925-0

Wiestler, T., & Diedrichsen, J. (2013). Skill learning strengthens cortical representations of motor sequences. *Elife*, *2*(1), e00801. https://doi.org/10.7554/eLife.00801

Wilson, P. H., & McKenzie, B. E. (1998). Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: A meta-analysis of research findings. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *39*(6), 829-840. https://doi.org/10.1111/1469-7610.00384

Wilson, P. H., Maruff, P., & Lum, J. (2003). Procedural learning in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science, 22*(4-5), 515-526. https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.007

Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology, 55*(3), 217-228. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x

Wojcik, D. Z., Moulin, C. J., & Souchay, C. (2022). Memory and metamemory for actions in children with autism: Exploring global metacognitive judgements. *Research in Developmental Disabilities*, *124*(1), 104195. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104195

Wolpert, D. M., & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience, 3*(11), 1212-1217. https://doi.org/10.1038/81497

Wolpert, D. M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, *11*(7-8), 1317-1329. https://doi.org/10.1016/S0893-6080(98)00066-5

Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, *269*(5232), 1880-1882. https://10.1126/science.7569931

Wright, H.C., Sugden, D.A., & Tan, J. (1994). Identification of children with movement problems in Singapore: Usefulness of Movement ABC Checklist. *Adapted Physical Activity Quarterly, 11*(1), 150-157. https://doi.org/10.1123/apaq.11.2.150

Wuang, Y. P., Su, C. Y., & Su, J. H. (2011). Wisconsin Card Sorting Test performance in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 32*(5), 1669-1676. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.02.021

Xie, H., Peng, J., Qin, M., Huang, X., Tian, F., & Zhou, Z. (2018). Can touchscreen devices be used to facilitate young children's learning? A meta-analysis of touchscreen learning effect. *Frontiers in Psychology, 9*(1), 2580. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02580

Youssef-Shalala, A., Ayres, P., Schubert, C., & Sweller, J. (2014). Using a general problem-solving strategy to promote transfer. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 20*(3), 215. https://doi.org/10.1037/xap0000021

Youssef-Shalala, A., Ayres, P., Schubert, C., & Sweller, J. (2014). Using a general problem-solving strategy to promote transfer. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *20*(3), 215. https://doi.org/10.1037/xap0000021

Zack, E., Gerhardstein, P., Meltzoff, A. N., & Barr, R. (2013). 15-month-olds' transfer of learning between touch screen and real-world displays : language cues and cognitive loads. *Scandinavian Journal of Psychology, 54*(1), 20-25. https://doi.org/10.1111/sjop.12001

Zesiger, P. (1995). *Ecrire : Approches cognitive, neuropsychologique et développementale*. FeniXX.

Zesiger, P. (2003). Acquisition et troubles de l'écriture. *Enfance, 55*(1), 56-64. https://doi.org/10.3917/enf.551.0056

Zhu, J. L., Olsen, J., & Olesen, A. W. (2012). Risk for developmental coordination disorder correlates with gestational age at birth. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, *26*(6), 572-577. https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2012.01316.x

Zwicker, J. G., Missiuna, C., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2012). Developmental coordination disorder: a review and update. *European Journal of Paediatric Neurology*, *16*(6), 573-581. https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2012.05.005

Zwicker, J. G., Yoon, S. W., MacKay, M., Petrie-Thomas, J., Rogers, M., & Synnes, A. R. (2013). Perinatal and neonatal predictors of developmental coordination disorder in very low birthweight children. *Archives of Disease in Childhood*, *98*(2), 118-122. https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-302268

ANNEXE 1. Description of experimental studies, pilot studies, case studies and the proof-of-concept study included in the scoping review.

	Reference	Type	Population	Age M (SD)	Controls	Protocol type	Intervention / Training	Main Task	Transfer Outcome	Results on transfer outcome	Justification for inclusion	Skill
1.	Adams et al., 2017	Experimental	8 DCD	DCD CO-OP training group: 9,4 years; DCD IM training group: 9,5 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 9 weeks	CO-OP intervention, Motor Imagery training	MABC-2	DCD CO-OP training group = DCD IM training group	Transfer effect of training specific task in CO-OP and IM intervention on MABC-2 tasks	Gross motor
2.	*Adi-japha & Brestel, 2020	Experimental	16 DCD 16 TDC	DCD: 75.68 month (7.91); TDC: 74.87 month (4.68)	TDC	Isomorphic tasks	Training; Consolidation; Retention (after 1 week); Transfer	Invented letter, dot-to-dot movements	Draw the invented letter without guiding dots	DCD < TDC	The authors' aim is to assess transfer	Writing
3.	*Araújo et al., 2019	Experimental	8 DCD	6-12 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 6 weeks	CO-OP intervention (training of 3 goals)	MABC-2; 4th goal	Scores increase in 4th goal at post-test; no increase in MABC-2 for 4 children	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor skills
4.	Au et al., 2014	Experimental	11 DCD Core stability program group; 11 DCD Task-oriented program group	DCD Core stability program group: 7,4 years (2,1); DCD Task-oriented program group: 6,0 years (1,7)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 8 weeks	Core stability training or Task-oriented training	BOT-2; SOT	BOT-2: DCD Core stability program group = DCD Task-oriented program group SOT: DCD Core stability program group < DCD Task-oriented program group	Transfer effect of training specific tasks (Core stability or task-oriented training) on new untrained tasks (BOT-2; SOT)	Gross motor
5.	*Bartov et al., 2013	Experimental	27 DCD	7 to 12 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	5 minutes writing, 2 times, 8 sessions	Writing a text with and without visual feedback	New entrained text	With visual feedback > Without visual feedback at post-test	The authors' aim is to assess transfer	Writing
6.	Bonney et al., 2017	Experimental	18 DCD Wii Fit training group; 20 DCD TFT training group	DCD Wii Fit training group: 14,3 years (1,10): DCD TFT training group: 14,4 years (1,05)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 14 weeks	Wii Fit training or Task-oriented Functional Training (TFT)	MABC-2; BOT-2	MABC-2 manual dexterity and balance subtests: Wii Fit training group = TFT training group at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit or TFT) on new untrained tasks (MABC-2; BOT-2)	Gross motor
7.	*Bonney et al., 2017a	Experimental	56 DCD; 55 TDC	6 to 10 years	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 5 weeks	Repetitive Wii Fit training; Variable Wii Fit training	New Wii Fit game	Repetitive Wii Fit training = Variable Wii Fit training	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor

8.	*Bonney et al., 2017b	Experimental	57 DCD; 54 TDC	DCD: 7.67 years (1.02); TDC: 7.56 years (1.02)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 5 weeks	Nintendo Wii Fit variable training; Wii Fit repetitive training	MABC-2; BOT2; functional strenght task; sprinting	DCD = TDC on transfer outcome. No effect of training.	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor
9.	Caçola et al., 2016	Pilot study	11 DCD program A; 13 DCD program B	DCD program A: 9.09 years (1.51); DCD program B: 8.46 years (1.50)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 10 weeks	Program A: task-oriented activities focusing on collaboration and cooperation among children. Program B: activities address motor goals chosen by children	MABC-2	Scores increase in MABC-2 for program A and program B	Transfer effect of training specific tasks (Program A or B) on new untrained tasks (MABC-2)	Various
10.	*Capistran & Martini, 2016	Case study	4 DCD	7 years 7 months; 11 years 4 months; 10 years 4 months; 10 years 9 months	No control group	Isomorphic tasks	1 session/ week, 10 weeks	CO-OP intervention	New untrained task	Significant change for 2 DCD children	The authors' aim is to assess transfer	Various
11.	Cavalcante Neto et al., 2020	Experimental	16 DCD Wii Fit training; 16 DCD task-specific training	Wii Fit training: 8,43 years (0,81); Task-specific training: 8,12 years (0,80)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ weeks, 8 weeks	Wii Fit training (virtual environment); Task-specific training (natural environment)	MABC-2	MABC-2 total score: Wii Fit training = Task-specific; MABC-2 manual dexterity subtests: Wii Fit training > Task-specific training	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit or task specific training) on new untrained tasks (MABC-2)	Gross motor
12.	Chan, 2007	Experimental	6 DCD	DCD: 8.8 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 7 weeks	CO-OP intervention (training of 3 goals)	BOT; AMPS	Performance increase in AMPS, but not in BOT post-test	Transfer effect of training specific tasks (CO-OP intervention) on new untrained tasks (BOT; AMPS)	Various
13.	Cheng et al., 2019	Experimental	44 DCD NMT; 44 DCD control	DCD NMT: 7.6 years (7.2); DCD control: 7.2 years (1.3)	DCD	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 12 weeks (NMT or training)	Neuromuscular Training (NMT) or Non-training	Adaptative balance	NMT no improvement of balance skill after 3 months. NMT improvement of balance skill after 6 months	Transfer effect of training specific tasks (NTT intervention) on new untrained tasks (Balance)	Balance
14.	*Farhat et al., 2016	Experimental	14 DCD training group; 13 DCD non-	DCD training group: 8,8 years (1,0); DCD	DCD non-training group;	Pre-test / intervention / Post-test	3 session/ weeks, 8 weeks	Gross motor training – task-	MABC; Manual dexterity;	DCD training group > DCD non-training	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor

			training group; 14 TDC	non-training group: 8,5 years (0,6); TDC: 8,6 years (0,9)	TDC non training			oriented intervention	Ball skill, MAD (agility test); THD (Triple-Hop distance); 5JT (5 jump test); Handwriting quality; Handwriting speed	group and TDC non-training group		
15.	Ferguson et al., 2013	Experimental	27 DCD NTT; 19 DCD Wii Fit	6 – 10 years old	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	Wii Fit: 3 times/week, 6 weeks. NTT: 2 times/week, 9weeks.	Nintendo Wii Fit: 13 games. NTT: activities such as soccer, netball, variations of tagging games, etc.	MABC-2	NTT: improvement at post-test. Wii Fit: No improvement at post-test.	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit or NTT intervention) on new untrained tasks (MABC-2)	Gross motor skills
16.	Fong et al., 2012	Experimental	21 DCD training group; 23 DCD no training group; 18 TDC training group	6 to 9 years	DCD no training group; TDC training group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 12 weeks + 1 home session/ day	Taekwondo training	SOT; Single leg standing balance	DCD training group increase performances at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Taekwondo training) on new untrained tasks (Balance)	Balance
17.	Fong et al., 2013	Experimental	21 DCD training group; 23 DCD non-training group; 18 TDC	6 - 12 years	DCD non-training group; TDC non-training group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ weeks, 12 weeks + 1 home session/ day	Taekwondo	Static balance control; reactive balance control	DCD training group increase static balance performances at post-test. No improvement of reactive balance (DCD = TD)	Transfer effect of training specific tasks (Taekwondo training) on new untrained tasks (Balance)	Balance
18.	Fong et al., 2016a	Experimental	47 DCD training group, 41 DCD no-training group	DCD training: 7,9 years (1,4); DCD no-training group: 7,5 years (1,6)	DCD non-training group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 12 weeks	FMT task specific training (balance training) + biofeedback	SOT; MABC	DCD training group increase performances at post-test	Transfer effect of training specific tasks (FMT) on new untrained tasks (SOT; MABC)	Balance
19.	Fong et al., 2016b	Experimental	42 DCD FMPT training; 47 DCD FMT training; 41 controls TDC	6 – 10 years	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 12 weeks	FMT: balance training; FMPT: balance training and power training	SOT	FMT and FMPT increase SOT global score at post-test and 3 months after intervention. FMPT increase balance strategies	Transfer effect of training specific tasks (FMT or FMPT) on new untrained tasks (SOT)	Balance
20.	Fong et al., 2022	Experimental	30 DCD TC-MPT; 30 DCD TC; 30 DCD MPT; 31 DCD controls	DCD TC-MPT: 9.5 years (1.1); DCD TC: 9.9 years (1.2); DCD MPT: 9.8	DCD no training	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week. 12 weeks + 2 home session/week.	Tai chi training (TC) or Muscle Power training (MPT) or both or no training	LOS (Limit of Stability); MABC-2	MABC-2, LOS: TC group = MPT group = TC+MPT group = No training group at post-test	Transfer effect of training specific tasks (TC or MPT) on new untrained	Gross motor and balance

				years (1.0); DCD controls: 9.7 years (1.0)							tasks (LOS; MABC-2)	
21.	Ghadiri et al., 2022	Experimental	8 DCD low SES group; 8 DCD high SES group	DCD low SES group: 12, 37 years (0,51); DCD high SES group: 12,5 years (0,53)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 8 weeks	Karate training	BOTMP-SF2	DCD low SES = DCD high SES at post-test	Transfer effect of training specific tasks (karate training) on new untrained tasks (BOTMP-SF2)	Gross motor and fine motor skill
22.	Green et al., 2008	Experimental	43 DCD in 5 clusters		No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session / week, 20 weeks	CO-OP intervention	MABC	Increase at post-test	Transfer effect of training specific tasks (CO-OP intervention) on new untrained tasks (MABC)	
23.	*Grohs et al., 2020	Experimental	14 DCD with tDCS; 14 DCD without tDCS	DCD with tDCS: 10.80 years (1.42); DCD without tDCS: 10.45 years (1.50)	DCD without tDCS	Pre-test / intervention / Post-test	9 trials/day. 5 days	PPT dominant hand	PPT left hand; PPT right hand; PPT bimanual assembly; PPT bimanual placement; JTT	No effect of tDCS, scores increase in all motor outcome	The authors' aim is to assess transfer	Fine motor skills
24.	Hammond et al., 2014	Pilot study	10 DCD Wii Fit training group; 8 DCD control group	DCD Wii Fit group: 8,53 (1,15); DCD control group: 9,53 (1,42)	Active DCD control group	Pre-test / intervention / Post-test	3 sessions / week, 4 weeks	Wii Fit training	BOT-2	BOT-2: DCD Wii Fit training group > DCD control group	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit training) on new untrained tasks (BOT-2)	Gross motor, balance
25.	Hashemi et al., 2022	Experimental	25 DCD with intervention; 25 DCD without intervention	DCD with intervention: 9.43 years (2.10); DCD without intervention: 9.67 years (2.39)	DCD without interventio n	Pre-test / intervention / Post-test	3 session/ week, 8 weeks	Nintendo Wii Fit; 15 sports games, children can choose games	EF, Visual perception	DCD with intervention > DCD without intervention performance increase on visual perception and EF	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit training) on new untrained tasks (EF, visual perception)	Gross motor skills
26.	Hillier et al., 2010	Experimental	6 DCD aquatic therapy; 6 DCD control group	DCD aquatic therapy: 7 years 3 months (range 5 years 8 months to 8 years); DCD control group: 6 years 10	DCD	Pre-test / intervention / Post-test	1 sessions / week, 6 weeks	Aquatic therapy	MABC	DCD aquatic training: 3 children improve at MABC scores	Transfer effect of training specific tasks (Aquatic therapy) on new untrained tasks (MABC)	Gross motor

				months (range 5 years 5 months to 8 years 9 months)								
27.	Hung & Pang, 2010	Experimental	12 DCD group-based training group; 11 DCD individual based training group	DCD group-based training group: 8 years 4 months (1,2); DCD individual based training group: 7 years 8 months (1,2)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 8 weeks	Group-based motor training or Individual based motor training	MABC	MABC: Group-based motor training group = Individual based motor training group at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Group-based or Individual based training) on new untrained tasks (MABC)	Gross motor
28.	Izadi-Najafabadi et al., 2022	Experimental	17 DCD intervention group, 20 DCD waitlist; 22 DCD+ADHD intervention group; 19 DCD+ADHD waitlist	DCD: 9.7 years; DCD+ADHD: 10.2 years	DCD waitlist; DCD+ADHD waitlist	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 10 weeks	CO-OP intervention (training of 3 goals)	BOT-2	DCD: CO-OP increase performance BOT-2 3 month after intervention. DCD+ADHD: no increase in performance	Transfer effect of training specific tasks (CO-OP intervention) on new untrained tasks (BOT-2)	Various
29.	Jahanbakhsh et al., 2020	Experimental	13 DCD single task group; 13 DCD dual task group; 13 DCD no-training group	DCD dual task group: 8,59 years (0,82); DCD single task group: 8,61 years (0,83); DCD no-training group: 8,41 years (0,86)	DCD no-training group	Pre-test / intervention / Post-test	3 sessions/ week, 8 weeks	Single task group: balance training; Dual task group: balance training + cognitive tasks	Dynamic balance; Static balance	Dual task group = Single task group at post-test. Dual task group > Single task group at 2 months follow-up	Transfer effect of training specific tasks (Single or dual task training) on new untrained tasks (Balance)	Balance
30.	*Jarus et al., 2015	Experimental	12 DCD; 13 TDC	8 – 12 years	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	1 hour/day, 3 days. 1 session retention	Internal focus attention; External focus attention, on a computer task: follow the movement of a circle	Same task, different movement of the circle	DCD < TD sequence learning and transfer	The authors' aim is to assess transfer	Implicit motor learning
31.	Jelsma et al., 2014	Experimental	14 DCD training group; 14 DCD no training group; 20 TDC no training group	6 to 12 years	DCD no training group; TDC no training group	Pre-test / intervention / Post-test	3 sessions/ week; 6 weeks	Wii Fit ski slalom training	MABC-2; BOT-2; Wii Fit test	DCD training group increase balance performances	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit training) on new untrained tasks (MABC-2; BOT-2; Wii Fit test)	Gross motor, balance

32.	*Jelsma et al., 2023a	Experimental	35 DCD; 35 TDC	DCD: 9.0 years (1.1); TDC: 9.4 years (0.8)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 5 weeks	Nintendo Wii Fit; Xbox Kinect	Divided attention	Divided attention : DCD < TDC	The authors' aim is to assess transfer	Balance
33.	*Jelsma et al., 2023b	Experimental	17 DCD Wii Fit training group; 17 DCD Kinect training group; 17 TDC Wii training group; 17 TDC Kinect training group	DCD Kinect training group: 9,1 years (1,0) DCD Wii Fit training group: 8,9 years (1,2); TDC Kinect training group: 9,2 years (0,7); TDC Wii Fit training group: 9,8 years (1,2)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	9 sessions in 5 weeks	Wii Fit training; Xbox Kinect training	MABC-2; New Wii Fit game; BOT-2	MABC-2 balance subtest, New Wii Fit Game: Wii Fit training group = Xbox Kinect training group	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor
34.	*Kluwe et al., 2012	Case study	2 DCD	6 years; 8 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 17 weeks	CO-OP intervention, 2 activities for each child	MABC	MABC: 1 child increase performances at post-test	The authors' aim is to assess transfer	Balance
35.	*Koopmans et al., 2023	Experimental	12 DCD; 12 TDC	DCD: 7,3 years (1,0); TDC: 7,2 years (0,11)	TDC	Isomorphic tasks	1 training session	Motor planning training with global problem-solving strategy instructions (CO-OP based)	New untrained task	DCD = TDC	The authors' aim is to assess transfer	Motor planning
36.	Kordi et al., 2016	Experimental	15 DCD 15 DCD control	DCD: 8,01 years (0,54); DCD control: 7,70 years (0,63)	DCD	Pre-test / intervention / Post-test	24 sessions (2 times a weeks)	Strength training on six exercises	Dynamic balance & Static balance	Static balance: DCD training > DCD controls Dynamic balance: DCD training = DCD controls	Transfer effect of training specific tasks (strength training) on new untrained tasks (Balance)	Balance
37.	Kuijpers et al., 2022a	Experimental	26 DCD; 69 TDC	DCD: 8.9 years (1.9); TDC: 9.1 years (1.7)	TDC	Isomorphic tasks	No training	Walking ability task single	Dual tasks: Walking ability visuo-motor task (WA motor): Walking ability cognitive task (WA Cognitive)	WA motor + WA cognitive: DCD < TDC	Transfer effect of training specific tasks (Walking ability training) on new untrained tasks (dual tasks)	Walking ability
38.	Kuijpers et al., 2022b	Proof of concept study	17 DCD	8,8 years (1,7)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	6 sessions	Treadmill and augmented reality training	walking ability on treadmill + cognitive or motor task	DCD increase performances at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Walking ability training) on new untrained tasks (dual tasks)	Walking ability

39.	*Lejeune et al., 2016	Experimental	17 DCD; 17 TDC	DCD: 9,12 years (1,66); TDC: 9,08 years (1,62)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	30 trials training and 30 trial training 1 week after	The inverted mouse task	Modified inverted mouse task	DCD = TDC	The authors' aim is to assess transfer	Procedural learning
40.	Ma et al., 2018	Experimental	34 DCD Taekwondo training group; 63 DCD no training group	6 to 9 years	DCD no training group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 12 weeks + 1 home session/ day	Taekwondo	MABC; Eye hand coordination; Standing balance control	MABC; Eye hand coordination: DCD Taekwondo training group = DCD no training group at post test	Transfer effect of training specific tasks (Taekwondo training) on new untrained tasks (MABC; Eye hand coordination; balance)	Gross motor
41.	Maharaj & Lalie, 2016	Experimental	30 DCD training; 30 DCD non training	DCD training: 10.11 years (1.98); DCD non training: 9.9 years (2.44)	DCD non training	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 8 weeks	Gross motor training	MABC; ball skills; balance	DCD training improved at post-test > DCD non training	Transfer effect of training specific tasks (gross motor training) on new untrained tasks (MABC; ball skills; balance)	Gross motor skills
42.	*Niemeijer et al., 2007	Experimental	26 DCD	DCD: 7 years 2 months (2 years, 1 month)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 9 weeks	NTT intervention	MABC; TGMD-2	NTT increase MABC and TGMD-2 at post-test, only items similar to trained tasks	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor
43.	Polatajko et al., 1995	Experimental	74 DCD	7 to 13 years	DCD	Pre-test / intervention / Post-test	kinaesthetic training : 12 sessions, 5 weeks	kinaesthetic training vs. Traditional treatment vs. Control group	KST; VMI; TOMI	No effect of training on outcomes	Transfer effect of training specific tasks (kinaesthtic training) on new untrained tasks (KST; VMI; TOMI)	Gross motor
44.	Rameckers et al., 2023	Experimental	18 DCD training group; 18 DCD no training group	DCD training group: 9,14 years (1,25); DCD no training group: 9,51 years (1,12)	DCD no training group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 9 weeks	NTT intervention for gross motor skills	MABC-2 (balance; aiming and catching; manual dexterity)	MABC-2 total score + balance: DCD training group > DCD no training group Aiming and catching + fine motor skill: DCD training group = DCD no training group	Transfer effect of training specific tasks (NTT intervention) on new untrained tasks (MABC-2)	Gross motor
45.	Schoemaker et al., 2003	Pilot study	10 DCD training group, 5 DCD no training group	7,1 to 9,2 years	DCD no-training group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 18 weeks	NTT intervention for handwriting	MABC	MABC: DCD training group > DCD no training group at post-test	Transfer effect of training specific tasks (NTT intervention) on new untrained tasks (MABC)	Handwritin g
46.	*Smits-Engelsman et al., 2015	Experimental	18 DCD; 18 TDC	DCD :7.94 years (1.2);	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 5 weeks	Nintendo WiiFit Slalom game	MABC-2 (balance items); BOT-	DCD = TDC. Increase performance in untrained tasks	The authors' aim is to assess transfer	Balance

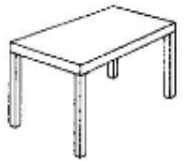
				TDC: 7.65 years (1.1)					2 (balance items); Nintendo Wii Fit Yoga task			
47.	Smits-Engelsman et al., 2017	Experimental	17 DCD; 18 TDC	DCD: 8,2 (1,13); TDC: 8,0 (1,22)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions: week, 5 weeks	Wii Fit training	BOT-2 balance, agility sub tests	BOT-2 balance, agility : DCD > TDC	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit training) on new untrained tasks (BOT-2)	Balance, agility
48.	*Smits-Engelsman et al., 2020	Experimental	33 DCD; 28 TD	DCD: 9,24 years (1,17); TDC: 9,82 years (1,42)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 10 weeks	Wii Fit training	MABC-2; new Wi Fit game	New Wii Fit game: DCD < TDC at post-test DCD group increase balance performances	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor
49.	Smits-Engelsman et al., 2021	Experimental	32 DCD; 28 TDC	DCD: 9,31 years (1,12); TDC: 9,82 years (1,42)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 10 weeks	Wii Fit training	MABC-2; Agility	MABC- 2 balance; agility : DCD > TDC at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Wii Fit training) on new untrained tasks (MABC-2; Agility)	Gross motor
50.	*Smits-Engelsman et al., 2023	Experimental	16 DCD; 34 TDC	Ball protocol: 7.08 years (0.95); Agility protocol group (7.24 years (1.05)	TDC	Pre-test / intervention / Post-test	3 sessions/ week; 10 weeks	Ball protocol: Wii Fit ball game; Agility protocol: Wii Fit: Agility game	Real world games (ball games and agility games). Measure every week; MABC-2; BOT-2	No effect of protocols; DCD = TDC; Increase performance in untrained tasks	The authors' aim is to assess transfer	Gross motor
51.	Tajari et al., 2023	Experimental	12 DCD training group; 12 DCD no training group	DCD training group: 108 months (13,58); DCD no training group: 101,33 months (16,36)	DCD no training group	Pre-test / intervention / Post-test	3 sessions/ week, 8 weeks	Motor perceptual exercise intervention	BOT-2	DCD training group increase at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Motor perceptual exercise intervention) on new untrained tasks (BOT-2)	Inhibitory control
52.	Tamplain et al., 2021	Experimental	12 DCD	7 - 12 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 10 weeks	Group-based motor intervention program (upper body coordination, postural control, fine motor skill)	Static postural control task; LOS (Dynamic postural control task)	No improvement in static postural control task, Improvement in LOS at post-test	Transfer effect of training specific tasks (Motor intervention program) on new untrained tasks (balance)	Gross motor and balance

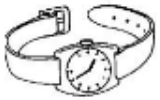
53.	Thornton et al., 2016	Experimental	10 DCD intervention group; 10 DCD control group	9 years 1month ± 9 months	DCD	Pre-test / intervention / Post-test	1 session/ week, 10 weeks	CO-OP intervention	MABC-2	MABC-2: no improvement	Transfer effect of training specific tasks (CO-OP intervention) on new untrained tasks (MABC-2)	Manual dexterity
54.	Tsai et al., 2012	Experimental	16 DCD training; 14 DCD non training; 21 TDC	DCD training: 116.81 months (5.37); DCD no-training: 114.00 (3.68)	DCD non training; TDC non training	Pre-test / intervention / Post-test	5 sessions/ week, 10 weeks	Soccer training	MABC	MABC: DCD training group > DCD no training group > TDC no training group	Transfer effect of training specific tasks (soccer training) on new untrained tasks (MABC)	Gross motor
55.	Tsai et al., 2014	Experimental	20 DCD training; 20 DCD non training; 20 TD non training	DCD training group: 137.80 months (3.41); DCD non training group: 138.35 months (3.31); TDC non training group 138.45 months (5.41)	DCD non-training group; TDC non training group	Pre-test / intervention / Post-test	3 sessions/ week, 16 weeks	Endurance training program	MABC-2; VSWM	Endurance training program increases VSWM task and MABC-2 scores	Transfer effect of training specific tasks (endurance training program) on new untrained tasks (MABC-2; VSWM)	Endurance
56.	Ward & Rodger, 2004	Experimental	2 DCD	6 years	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 5 weeks	CO-OP intervention	VMI	No effect of intervention on VMI scores	Transfer effect of training specific tasks (CO-OP intervention) on new untrained tasks (VMI)	Handwritin g
57.	Wilson et al., 2016	Experimental	13 DCD PMT ; 12 DCD MI ; 11 DCD control	7 – 10 years	DCD	Pre-test / intervention / Post-test	60 minutes/ week, 5 week	Motor imagery (MI) or Perceptual Motor Training (PMT) or No-training	MABC	MABC: MI > PMT > control	Transfer effect of training specific tasks (MI or PMT) on new untrained tasks (MABC)	Gross motor
58.	Wuang et al., 2022	Experimental	42 DCD HTP training group; 40 DCD SOT training group	DCD HTP training group: 13,32 years (2,85); DCD SOT training group: 13,41 years (3,8)	No control group	Pre-test / intervention / Post-test	2 sessions/ week, 12 weeks	HPT training (Haptic Perception Training program); SOT training (Standard Occupational Therapy)	BOT-2; Hand function test; Visual perceptual skill	Fine motor integration; manual dexterity; precision: DCD HTP training > DCD SOT training	Transfer effect of training specific tasks (HPT or SOT training) on new untrained tasks (BOT-2; Hand function test; Visual perceptual skill)	Fine motor skills

Note. *Articles with aim to assess transfer of learning. M = Mean ; SD ; Standard deviation ; DCD = Developmental Coordination Disorder ; TDC = Typically Developing Children ; MABC = Movement Assessment Battery for Children ; MABC-2 = Movement Assessment Battery for

Children – 2nd edition ; LOS = Limits Of Stability ; NTT = Neuromotor Task Training ; CO-OP = Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance ; BOT = Bruininks-Oseretsky Motor Proficiency Test ; BOT-2 = Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency – 2nd edition ; BOTMP-SF2 = Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency Second Edition ; AMPS = Assessment Motor and Process Skills ; PQRS = ; ADHD = Attention Deficit Hyperactivity Disorder ; SOT = Sensory Organisation Test ; VSWM = Visuospatial Working Memory ; PPT = Purdue Pegboard Test ; JTT = Jebsen-Taylor Test of Hand Function ; EF = Executive Functions ; BHK = Handwriting assessment scale ; SES = Socio-economic status ; TGMD-2 = Test of Gross Motor Development – 2 ; KST = Kinaesthetic Sensitivity Test ; VMI = Developmental Test of Visual-Motor Integration ; TOMI = Test of Motor Impairment.

ANNEXE 2. *Listes des images et normes de l'Etude 2 – Apprentissage et transfert de la stratégie d'autorépétition (Etude 2)*

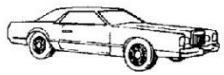
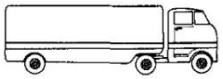
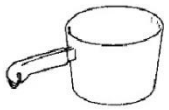
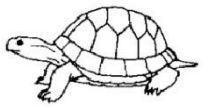
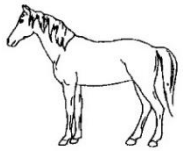
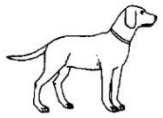
LISTE 1					
					
Feuille	Pomme	Livre	Avion	Oiseau	Table

LISTE 2					
					
Vélo	Lapin	Montre	Chapeau	Arbre	Bouton

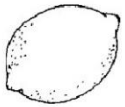
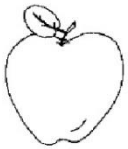
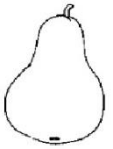
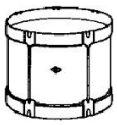
						Objective AoA (Chalard et al., 2003)		Name Agreement		Image agreement		Conceptual familiarity		Visual complexity		Image Variability		Frequency (Manulex - U) CP-CM2	
	n	Item	Banque images	Nb lettres	Nb syllabe	LR (month)	75% (month)	H	%	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	U	SFI
Liste 1	1	Feuille	Snodgrass & Vanderwart, 1980	7	2	30,38	38,50	1,09	61,00	3,27	1,20	3,60	1,00	2,76	0,64	4,03	1,00	374,50	65,73
	2	Pomme	Snodgrass & Vanderwart, 1980	5	2	18,00	32,50	0,00	100,00	4,00	0,79	4,40	0,72	1,55	0,63	3,23	0,86	295,67	64,71
	3	Livre	Snodgrass & Vanderwart, 1980	5	2	21,98	32,50	0,29	96,00	4,07	1,05	4,97	0,18	2,14	0,74	4,37	0,85	545,12	67,36
	4	Avion	Snodgrass & Vanderwart, 1980	5	2	18,00	32,50	0,29	96,00	3,93	1,08	2,63	1,16	3,17	0,76	3,33	1,06	168,41	62,26
	5	Oiseau	Snodgrass & Vanderwart, 1980	6	2	18,35	32,50	0,41	86,00	3,90	1,12	3,87	1,28	3,38	0,86	4,70	0,70	652,42	68,15
	6	Table	Snodgrass & Vanderwart, 1980	5	2	18,00	32,50	0,00	100,00	3,50	1,17	4,83	0,46	1,45	0,57	3,73	1,11	310,58	64,92
			Moyenne	**5,20**	**2,00**	**18,87**	**32,50**	**0,20**	**95,60**	**3,88**	**1,04**	**4,14**	**0,76**	**2,34**	**0,71**	**3,87**	**0,92**	**394,44**	**65,48**
Liste 2	1	Vélo	Snodgrass & Vanderwart, 1980	4	2	26,89	32,50	0,41	86,00	4,20	0,76	3,37	1,03	4,17	0,85	3,57	1,01	155,81	61,93
	2	Lapin	Snodgrass & Vanderwart, 1980	5	2	18,00	32,50	0,00	100,00	4,07	0,78	2,67	1,09	3,14	0,64	2,90	1,06	273,16	63,75
	3	Montre	Snodgrass & Vanderwart, 1980	6	2	30,45	44,50	0,00	100,00	3,23	0,73	4,70	0,60	2,93	0,80	3,61	1,10	77,16	58,87
	4	Chapeau	Snodgrass & Vanderwart, 1980	7	2	18,00	32,50	0,00	100,00	2,93	1,01	2,83	1,23	2,38	0,56	4,00	0,98	211,87	63,26
	5	Arbre	Snodgrass & Vanderwart, 1980	5	2	30,56	38,50	0,15	96,00	3,37	0,96	4,60	0,67	4,31	0,71	4,50	0,79	599,08	67,77
	6	Bouton	Snodgrass & Vanderwart, 1980	6	2	48,50	68,50	0,00	100,00	4,80	0,48	4,43	0,90	2,03	0,63	3,77	1,19	74,72	58,73
			Moyenne	**5,50**	**2,00**	**28,73**	**41,50**	**0,09**	**97,00**	**3,77**	**0,79**	**3,77**	**0,92**	**3,16**	**0,70**	**3,73**	**1,02**	**231,97**	**62,39**

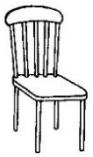
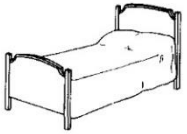
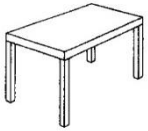
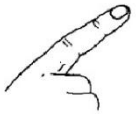
Notes. M = moyenne, SD = écart-type, AoA = Age of acquisition (âge d'acquisition)

ANNEXE 3. *Listes des images et normes de l'Etude 2 – Apprentissage et transfert de la stratégie de groupement catégoriel*

LISTE 1					
					Véhicules
Bus	Voiture	Moto	Camion	Avion	
					Objets
Casserole	Verre	Cuillère	Fourchette	Tasse	
					Animaux
Chat	Tortue	Cheval	Chien	Lapin	

					Vêtements
Chaussure	Chaussettes	Chemise	Pantalon	Robe	

LISTE 2					
					Fruits
Cerise	Banane	Citron	Pomme	Poire	
					Instruments
Tambour	Guitare	Trompette	Piano	Guitare	

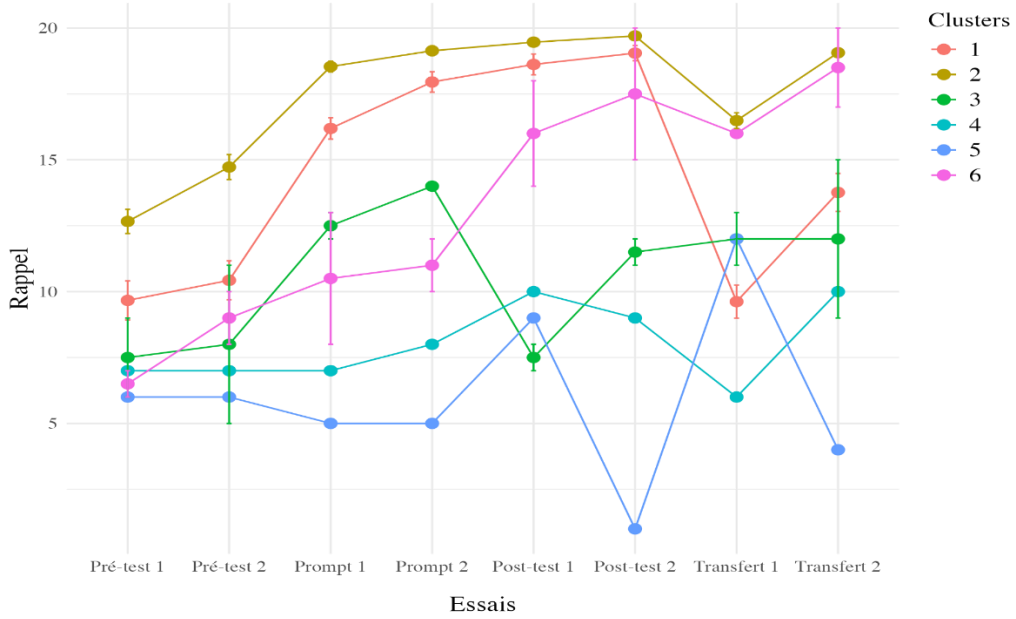
					Meubles
Canapé	Chaise	Lit	Tabouret	Table	
					Parties du corps
Doigt	Nez	Lèvres	Œil	Oreille	

			Objective AoA (Chalard et al., 2003)		Name agreement		Image Agreement		Conceptual familiarity		Visual complexity		Image Variability		Frequency (Manulex - U) CP-CM2	
Listes	**Catégorie**	**Nom**	**LR (month)**	**75% (month)**	**H**	**%**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**U**	**SFI**
Liste 1	Véhicules	Bus	52,85	68,50	0,34	89,00	4,00	1,02	4,03	1,00	3,76	1,09	3,17	0,87	22,25	53,47
		Voiture	18,00	32,50	0,15	96,00	3,00	0,95	4,53	1,07	3,83	0,54	4,43	0,82	445,96	66,49
		Moto	18,00	32,50	0,00	100,00	3,60	0,89	3,00	1,23	5,00	0,00	3,50	0,97	72,73	58,62
		Camion	29,07	32,50	0,00	100,00	2,77	1,04	3,23	1,10	2,90	0,67	3,29	1,08	75,03	58,75
		Avion	18,00	32,50	0,29	96,00	3,93	1,08	2,63	1,16	3,17	0,76	3,33	1,06	168,41	62,26
	Moyenne de la catégorie		**27,18**	**39,70**	**0,16**	**96,20**	**3,46**	**1,00**	**3,48**	**1,11**	**3,73**	**0,61**	**3,54**	**0,96**	**156,88**	**59,92**
	Objets de la cuisine	Verre	25,15	32,50	0,00	100,00	3,63	1,54	4,97	0,18	1,93	0,46	4,07	1,01	163,64	62,14
		Fourchette	18,00	32,50	0,00	100,00	4,00	0,83	4,90	0,31	2,66	0,67	2,80	1,13	25,76	54,11
		Casserole	32,36	56,50	0,00	100,00	3,60	0,86	4,50	0,78	2,14	0,44	3,07	0,83	45,18	56,55
		Tasse	51,76	74,50	0,15	96,00	3,60	0,81	4,83	0,46	1,69	0,47	3,50	0,94	35,63	55,52
		Cuillère	18,00	32,50	0,00	100,00	3,83	0,79	4,93	0,25	2,38	0,68	2,97	1,07	1,79	42,53
	Moyenne de la catégorie		**29,05**	**45,70**	**0,03**	**99,20**	**3,73**	**0,97**	**4,83**	**0,40**	**2,16**	**0,54**	**3,28**	**1,00**	**54,40**	**54,17**
	Animaux	Chat	18,00	32,50	0,00	100,00	3,50	1,04	3,63	1,43	3,59	0,87	4,17	1,05	952,01	69,79
		Chien	18,00	32,50	0,00	100,00	2,23	0,77	3,80	1,06	2,76	0,77	4,33	0,76	922,45	69,65
		Lapin	37,64	50,50	0,00	100,00	3,40	0,89	2,63	0,96	3,59	0,68	2,73	0,83	102,88	60,12
		Cheval	18,00	32,50	0,00	100,00	4,07	0,98	2,63	1,07	3,93	0,65	3,27	1,05	459,93	66,63
		Tortue	26,76	32,50	0,00	100,00	4,10	0,66	2,03	1,07	3,28	0,65	2,71	0,98	121,47	60,84
	Moyenne de la catégorie		**23,68**	**36,10**	**0,00**	**100,00**	**3,46**	**0,87**	**2,94**	**1,12**	**3,43**	**0,72**	**3,44**	**0,93**	**511,75**	**65,41**
	Vêtements	Chemise	60,92	74,50	0,00	100,00	3,80	0,92	4,37	0,85	3,10	0,62	3,70	0,99	78,89	58,97
		Chaussure	18,00	32,50	0,00	100,00	2,90	0,96	4,93	0,25	3,14	0,64	4,14	1,06	103,34	60,14

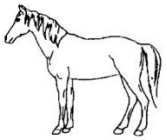
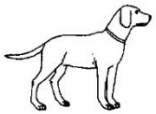
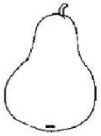
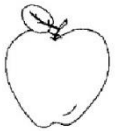
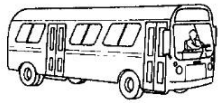
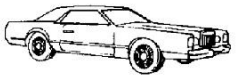
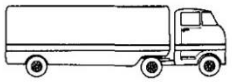
		Pantalon	18,00	32,50	0,15	96,00	3,40	0,86	4,87	0,43	2,28	0,53	3,70	1,09	72,81	58,62
		Robe	36,50	50,50	0,00	100,00	1,80	0,66	3,40	1,19	2,07	0,75	4,27	0,98	134,56	61,29
		Chaussette	28,57	32,50	0,00	100,00	3,20	0,85	4,97	0,18	1,79	0,73	3,93	1,17	29,52	54,70
	Moyenne de la catégorie		**32,40**	**44,50**	**0,03**	**99,20**	**3,02**	**0,85**	**4,51**	**0,58**	**2,48**	**0,65**	**3,95**	**1,06**	**83,82**	**58,74**
	Moyenne de la liste		**28,08**	**41,50**	**0,05**	**98,65**	**3,42**	**0,92**	**3,94**	**0,80**	**2,95**	**0,63**	**3,55**	**0,99**	**201,71**	**59,56**
	Instruments	Trompette	43,34	40,50	0,29	93,00	4,33	0,80	1,90	0,80	3,55	0,87	2,07	0,54	36,00	55,56
		Guitare	31,74	50,50	0,15	96,00	4,57	0,57	2,90	1,03	3,45	0,78	3,10	1,03	45,56	56,59
		Violon	68,83	74,50	0,15	96,00	4,27	0,69	2,03	0,96	4,28	0,65	2,36	0,78	52,89	57,23
		Piano	44,59	56,50	0,00	100,00	3,80	1,16	3,10	1,37	4,72	0,59	2,93	0,94	43,71	56,41
		Tambour	59,81	74,50	0,00	100,00	3,77	0,68	1,57	0,77	2,79	0,49	2,27	0,83	70,78	58,50
	Moyenne de la catégorie		**49,66**	**59,30**	**0,12**	**97,00**	**4,15**	**0,78**	**2,30**	**0,99**	**3,76**	**0,68**	**2,55**	**0,82**	**49,79**	**56,86**
Liste 2	Meubles	Canapé	32,17	44,50	0,34	89,00	3,17	1,02	4,40	0,89	2,31	0,81	3,27	1,14	10,91	50,38
		Table	18,00	32,50	0,00	100,00	3,50	1,17	4,83	0,46	1,45	0,57	3,73	1,11	310,58	64,92
		Chaise	18,00	32,50	0,00	100,00	3,13	0,97	4,93	0,25	2,24	0,74	3,43	1,14	97,82	59,90
		Lit	28,89	32,50	0,51	86,00	3,40	0,67	4,93	0,37	2,62	0,49	3,73	1,08	311,18	64,93
		Tabouret	48,16	68,50	0,00	100,00	3,60	0,93	3,80	1,30	2,24	0,69	2,57	0,94	20,93	53,21
	Moyenne de la catégorie		**29,04**	**42,10**	**0,17**	**95,00**	**3,36**	**0,95**	**4,58**	**0,65**	**2,17**	**0,66**	**3,35**	**1,08**	**150,28**	**58,67**
	Parties du corps	Nez	61,26	74,50	0,00	100,00	3,60	0,89	4,90	0,31	1,79	0,56	3,17	1,23	301,56	64,79
		Doigt	29,31	38,50	0,52	79,00	4,10	0,84	4,90	0,40	2,52	0,74	2,87	1,14	193,13	62,86
		Œil	42,58	56,50	0,00	100,00	3,93	0,96	4,90	0,40	3,83	0,76	3,77	1,17	223,38	63,49
		Oreille	45,41	50,50	0,00	100,00	4,27	0,78	4,93	0,37	2,97	0,68	2,40	1,10	292,61	64,66
		Lèvres	72,40	74,50	0,56	75,00	4,03	0,85	4,77	0,57	1,69	0,60	3,43	1,12	52,13	57,17

	Moyenne de la catégorie		**44,64**	**55,00**	**0,13**	**94,75**	**3,98**	**0,87**	**4,91**	**0,37**	**2,78**	**0,69**	**3,05**	**1,16**	**252,67**	**63,95**
	Fruits	Pomme	18,00	32,50	0,00	100,00	4,00	0,79	4,40	0,72	1,55	0,63	3,23	0,86	295,67	64,71
		Banane	28,41	38,50	0,00	100,00	4,60	0,67	3,87	0,94	1,21	0,41	2,23	0,68	42,06	56,24
		Cerise	57,99	74,50	0,29	93,00	3,77	1,19	3,13	1,14	1,34	0,61	2,73	1,01	40,75	56,10
		Poire	35,53	56,50	0,00	100,00	4,40	0,67	3,37	1,03	1,14	0,35	2,50	0,94	41,51	56,18
		Citron	38,61	56,50	0,00	100,00	4,83	0,38	3,63	1,10	1,72	0,70	2,53	0,90	32,27	55,47
	Moyenne de la catégorie		**35,71**	**51,70**	**0,06**	**98,60**	**4,32**	**0,74**	**3,68**	**0,99**	**1,39**	**0,54**	**2,64**	**0,88**	**90,45**	**57,74**
	Moyenne de la liste		**39,76**	**52,03**	**0,12**	**96,34**	**3,95**	**0,83**	**3,87**	**0,75**	**2,52**	**0,64**	**2,90**	**0,99**	**135,80**	**59,30**

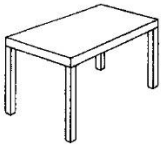
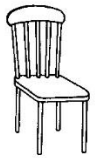
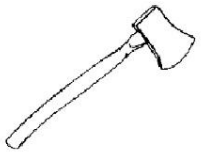
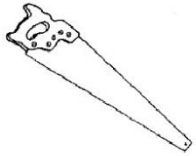
ANNEXE 4. *Représentation graphique des scores de rappel à travers les essais de tâche principale et des tâches de transfert pour les cluster 1 à 6.*

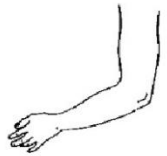
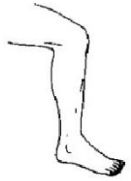
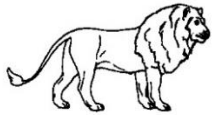
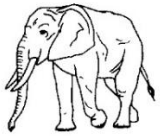


ANNEXE 5. *Listes des images et normes de l'Etude 4 – Apprentissage et transfert de la stratégie de groupement catégoriel chez les enfants au développement typique et porteurs d'un TDC*

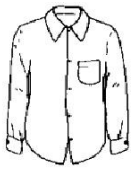
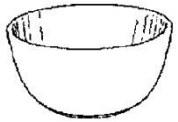
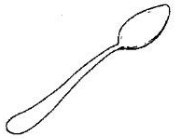
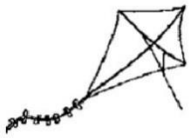
Liste 1				Catégories
				Animaux
Chat	Cheval	Chien	Lapin	
				Fruits
Banane	Cerise	Poire	Pomme	
				Véhicules
Bus	Voiture	Moto	Camion	

				Parties du visage
Nez	Œil	Oreille	Lèvres	

Liste 2				Catégories
				Meubles
Canapé	Table	Chaise	Lit	
				Outils
Hache	Marteau	Scie	Clou	

				Parties du corps
Bras	Jambe	Pied	Main	
				Animaux sauvages
Singe	Lion	Eléphant	Ours	

Liste 3				Catégories
				Instruments
Trompette	Guitare	Violon	Piano	

				Vêtements
Chemise	Chaussure	Pantalon	Robe	
				Objets de la cuisine
Verre	Fourchette	Bol	Cuillère	
				Jouets
Poupée	Raquette	Ballon	Cerf-volant	

			Objective AoA (Chalard et al., 2003)		Name agreement		Image Agreement		Conceptual familiarity		Visual complexity		Image Variability		Frequency (Manulex - U) CP-CM2	
Listes	**Catégories**	**Noms**	**LR (month)**	**75% (month)**	**H**	**%**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**U**	**SFI**
Liste 1	Véhicules	Bus	52,85	68,5	0,34	89	4	1,02	4,03	1	3,76	1,09	3,17	0,87	22,25	53,47
		Voiture	18	32,5	0,15	96	3	0,95	4,53	1,07	3,83	0,54	4,43	0,82	445,96	66,49
		Moto	18	32,5	0	100	3,6	0,89	3	1,23	5	0	3,5	0,97	72,73	58,62
		Camion	29,07	32,5	0	100	2,77	1,04	3,23	1,1	2,9	0,67	3,29	1,08	75,03	58,75
	Moyenne		**29,48**	**41,50**	**0,12**	**96,25**	**3,34**	**0,98**	**3,70**	**1,10**	**3,87**	**0,58**	**3,60**	**0,94**	**153,99**	**59,33**
	Animaux	Chat	18	32,5	0	100	3,5	1,04	3,63	1,43	3,59	0,87	4,17	1,05	952,01	69,79
		Chien	18	32,5	0	100	2,23	0,77	3,8	1,06	2,76	0,77	4,33	0,76	922,45	69,65
		Lapin	37,64	50,5	0	100	3,4	0,89	2,63	0,96	3,59	0,68	2,73	0,83	102,88	60,12
		Cheval	18	32,5	0	100	4,07	0,98	2,63	1,07	3,93	0,65	3,27	1,05	459,93	66,63
	Moyenne		**22,91**	**37**	**0**	**100**	**3,3**	**0,92**	**3,17**	**1,13**	**3,4675**	**0,74**	**3,63**	**0,9225**	**609,32**	**66,55**
	Fruits	Pomme	18	32,5	0	100	4	0,79	4,4	0,72	1,55	0,63	3,23	0,86	295,67	64,71
		Banane	28,41	38,5	0	100	4,6	0,67	3,87	0,94	1,21	0,41	2,23	0,68	42,06	56,24
		Cerise	57,99	74,5	0,29	93	3,77	1,19	3,13	1,14	1,34	0,61	2,73	1,01	40,75	56,1
		Poire	35,53	56,5	0	100	4,4	0,67	3,37	1,03	1,14	0,35	2,5	0,94	41,51	56,18
	Moyenne		**34,98**	**50,50**	**0,07**	**98,25**	**4,19**	**0,83**	**3,69**	**0,96**	**1,31**	**0,50**	**2,67**	**0,87**	**105,00**	**58,31**
	Parties du visage	Nez	61,26	74,5	0	100	3,6	0,89	4,9	0,31	1,79	0,56	3,17	1,23	301,56	64,79
		Œil	42,58	56,5	0	100	3,93	0,96	4,9	0,4	3,83	0,76	3,77	1,17	223,38	63,49
		Oreille	45,41	50,5	0	100	4,27	0,78	4,93	0,37	2,97	0,68	2,4	1,1	292,61	64,66
		Lèvres	72,4	74,5	0,56	75	4,03	0,85	4,77	0,57	1,69	0,6	3,43	1,12	52,13	57,17
	Moyenne		**55,41**	**64,00**	**0,14**	**93,75**	**3,96**	**0,87**	**4,88**	**0,41**	**2,57**	**0,65**	**3,19**	**1,16**	**217,42**	**62,53**
	Moyenne de la liste		**35,70**	**48,25**	**0,08**	**97,06**	**3,70**	**0,90**	**3,86**	**0,90**	**2,81**	**0,62**	**3,27**	**0,97**	**271,43**	**61,68**
Liste 2	Meubles	Canapé	32,17	44,5	0,34	89	3,17	1,02	4,4	0,89	2,31	0,81	3,27	1,14	10,91	50,38
		Table	18	32,5	0	100	3,5	1,17	4,83	0,46	1,45	0,57	3,73	1,11	310,58	64,92
		Chaise	18	32,5	0	100	3,13	0,97	4,93	0,25	2,24	0,74	3,43	1,14	97,82	59,9
		Lit	28,89	32,5	0,51	86	3,4	0,67	4,93	0,37	2,62	0,49	3,73	1,08	311,18	64,93
	Moyenne		**24,27**	**35,50**	**0,21**	**93,75**	**3,30**	**0,96**	**4,77**	**0,49**	**2,16**	**0,65**	**3,54**	**1,12**	**182,62**	**60,03**
	Outils	Hache	64,62	74,5	0	96	4,2	1	1,57	0,77	2,55	0,69	2,23	0,63	42,1	56,24

		Marteau	40,59	56,5	0,15	96	2,53	0,71	2,1	1,06	2,9	0,72	2,17	0,53	37,84	55,78
		Scie	53,56	74,5	0	100	4,6	0,72	1,97	1,13	2,41	0,68	2,2	0,61	12,63	51,01
		Clou	75,48	74,5	0,15	96	4,37	0,76	2,7	0,95	1,66	0,55	2,6	1,07	66,99	58,26
	Moyenne		**58,56**	**70,00**	**0,08**	**97,00**	**3,93**	**0,80**	**2,09**	**0,98**	**2,38**	**0,66**	**2,30**	**0,71**	**39,89**	**55,32**
	Parties du corps	Bras	49,15	62,5	1,5	0,71	0,15	96	4,07	1,01	4,93	0,25	2,28	1,24	292,05	64,65
		Jambe	57,97	74,5	0,43	89	3,77	0,73	4,8	0,66	2,34	0,67	2,83	1,12	166,94	62,23
		Pied	18	32,5	0	100	4,33	0,88	4,8	0,66	2,41	0,5	2,9	1,32	548,86	67,39
		Main	18	32,5	0	100	3,8	0,85	4,97	0,18	2,97	0,68	3,1	1,27	683,74	68,35
	Moyenne		**35,78**	**50,5**	**0,48**	**72,43**	**3,0125**	**24,62**	**4,66**	**0,63**	**3,16**	**0,53**	**2,78**	**1,24**	**422,90**	**65,66**
	Animaux sauvages	Singe	28,12	44,5	0,43	93	3,03	1	1,4	0,72	3,41	0,63	3,37	1,1	76,79	58,85
		Lion	34,22	50,5	0	100	3,53	0,94	1,5	0,82	4,17	0,54	2,33	0,71	205,86	63,14
		Eléphant	18,2	32,5	0	100	3,9	0,8	1,4	0,72	4,55	0,57	2,37	0,76	234,68	63,7
		Ours	36,71	50,5	0	100	3,07	1,01	1,6	1	3,93	0,8	2,67	0,8	271,69	64,34
	Moyenne		**29,31**	**44,50**	**0,11**	**98,25**	**3,38**	**0,94**	**1,48**	**0,82**	**4,02**	**0,64**	**2,69**	**0,84**	**197,26**	**62,51**
	Moyenne de la liste		**36,98**	**50,13**	**0,22**	**90,36**	**3,41**	**6,83**	**3,25**	**0,73**	**2,93**	**0,62**	**2,83**	**0,98**	**210,67**	**60,88**
Liste 3	Instruments	Trompette	43,34	40,5	0,29	93	4,33	0,8	1,9	0,8	3,55	0,87	2,07	0,54	36	55,56
		Guitare	31,74	50,5	0,15	96	4,57	0,57	2,9	1,03	3,45	0,78	3,1	1,03	45,56	56,59
		Violon	68,83	74,5	0,15	96	4,27	0,69	2,03	0,96	4,28	0,65	2,36	0,78	52,89	57,23
		Piano	44,59	56,5	0	100	3,8	1,16	3,1	1,37	4,72	0,59	2,93	0,94	43,71	56,41
	Moyenne		**47,13**	**55,50**	**0,15**	**96,25**	**4,24**	**0,81**	**2,48**	**1,04**	**4,00**	**0,72**	**2,62**	**0,82**	**44,54**	**56,45**
	Vêtements	Chemise	60,92	74,5	0	100	3,8	0,92	4,37	0,85	3,1	0,62	3,7	0,99	78,89	58,97
		Chaussure	18	32,5	0	100	2,9	0,96	4,93	0,25	3,14	0,64	4,14	1,06	103,34	60,14
		Pantalon	18	32,5	0,15	96	3,4	0,86	4,87	0,43	2,28	0,53	3,7	1,09	72,81	58,62
		Robe	36,5	50,5	0	100	1,8	0,66	3,4	1,19	2,07	0,75	4,27	0,98	134,56	61,29
	Moyenne		**33,36**	**47,50**	**0,04**	**99,00**	**2,98**	**0,85**	**4,39**	**0,68**	**2,65**	**0,64**	**3,95**	**1,03**	**97,40**	**59,76**
	Objets cuisine	Verre	25,15	32,5	0	100	3,63	1,54	4,97	0,18	1,93	0,46	4,07	1,01	163,64	62,14
		Fourchette	18	32,5	0	100	4	0,83	4,9	0,31	2,66	0,67	2,8	1,13	25,76	54,11
		Bol	29,02	68,5	0,29	93	3,3	1,21	1,62	0,73	1,62	0,73	3,47	1,07	42,35	56,27
		Cuillère	18	32,5	0	100	3,83	0,79	4,93	0,25	2,38	0,68	2,97	1,07	1,79	42,53

	Moyenne		**22,54**	**41,50**	**0,07**	**98,25**	**3,69**	**1,09**	**4,11**	**0,37**	**2,15**	**0,64**	**3,33**	**1,07**	**58,39**	**53,76**
	Jouets	Poupée	71,65												96,18	59,83
		Raquette			0	100	3,57	0,97	2,9	1,03	3,03	0,73	2,89	0,88	15,97	52,03
		Ballon	23,3	32,5											187,39	62,73
		Cerf-volant			0	100	3,87	0,78	1,8	0,85	2,72	0,65	3,27	1,14	38,40	55,84
	Moyenne		**47,48**	**32,50**	**0,00**	**100,00**	**3,72**	**0,88**	**2,35**	**0,94**	**2,88**	**0,69**	**3,08**	**1,01**	**84,49**	**57,61**
	Moyenne de la liste		**37,62**	**44,25**	**0,06**	**98,38**	**3,66**	**0,91**	**3,33**	**0,76**	**2,92**	**0,67**	**3,24**	**0,98**	**71,20**	**56,89**