
Étude de l'usage des doigts en mathématiques chez des élèves présentant un trouble du développement intellectuel

Use of fingers in mathematics by students with intellectual developmental disabilities

Nathalie Bonneton-Botté, Fanny Ollivier, Hélène Hili, Nadège Saliot, Benoit Bonnet, Nolwenn Quelaudren, Delphine Vlieghe, Hugo Payre, Anne Laure Germain, Adrian Boivin et Sonia Jarry

**Édition électronique**

URL : <https://journals.openedition.org/educationdidactique/13357>

DOI : 10.4000/12n8g

ISSN : 2111-4838

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 novembre 2024

Pagination : 9-21

ISBN : 979-10-413-0075-4

ISSN : 1956-3485

Distribution électronique Cairn

**Référence électronique**

Nathalie Bonneton-Botté, Fanny Ollivier, Hélène Hili, Nadège Saliot, Benoit Bonnet, Nolwenn Quelaudren, Delphine Vlieghe, Hugo Payre, Anne Laure Germain, Adrian Boivin et Sonia Jarry, « Étude de l'usage des doigts en mathématiques chez des élèves présentant un trouble du développement intellectuel », *Éducation et didactique* [En ligne], 18-3 | 2024, mis en ligne le 04 janvier 2026, consulté le 27 novembre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/13357> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/12n8g>



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

ÉTUDE DE L'USAGE DES DOIGTS EN MATHÉMATIQUES CHEZ DES ÉLÈVES PRÉSENTANT UN TROUBLE DU DÉVELOPPEMENT INTELLECTUEL

Nathalie Bonneton-Botté
LP3C, INSPÉ de Bretagne, Université de Bretagne Occidentale, Nathalie.bonneton@inspe-bretagne.fr
Identifiant ORCID : 0000-0003-0462-1691

Fanny Ollivier
LP3C, Université Rennes 2
Identifiant ORCID : 0000-0003-3235-5685

Hélène Hili
INSPÉ de Bretagne, Université de Bretagne Occidentale

Nadège Saliot
INSPÉ de Bretagne, Université de Bretagne Occidentale

Benoit Bonnet
Nolwenn Quelaudren
Delphine Vlieghe

Hugo Payre
Anne Laure Germain
Adrian Boivin

Sonia Jarry
Éducation nationale

Les habiletés numériques et arithmétiques de base sont affectées chez les personnes avec déficience intellectuelle (DI). Des études récentes montrent que le recours aux doigts est une procédure qui peut faciliter la construction de ces habiletés chez les enfants au développement typique. Cette étude vise à caractériser le recours aux doigts chez les élèves avec DI lorsqu'ils ont à résoudre des petits problèmes verbaux ou avec énoncés arithmétiques. Il s'agit aussi d'étudier les relations entre certaines composantes de la motricité manuelle, le recours aux doigts et les premières habiletés numériques et de calcul. Les résultats indiquent que les élèves avec DI âgés en moyenne de 10 ans et 4 mois qui utilisent les doigts pour résoudre des problèmes arithmétiques ou avec énoncés verbaux sont plus fréquemment en réussite. Comme pour les enfants au développement typique, les différences de dextérité pourraient expliquer les différences interindividuelles de recours à cette procédure pour le calcul. Ces résultats permettent de considérer le potentiel bénéfique d'un dispositif d'enseignement explicite à l'usage des doigts en mathématiques pour des élèves présentant une déficience intellectuelle.

Mots-clés : nombre, calcul, motricité manuelle, déficience intellectuelle

Use of fingers in mathematics by students with intellectual developmental disabilities

Basic numerical and arithmetic skills are impaired in individuals with intellectual developmental disabilities (IDD). Recent studies show that finger use is a procedure that can facilitate the construction of these skills in typically

developing children. The purpose of this study is to characterize the use of fingers in students with IDD when solving small verbal and arithmetic problems. It also investigates the relationships between selected components of manual motor skills, finger use, and early numerical and arithmetical skills. Results indicate that students with IDD, on average 10 years and 4 months of age, frequently use fingers to solve arithmetic and verbal problems and that this procedure most often leads to success. As with typically developing children, visual-motor skills, also known as dexterity, appear to be the key to using this procedure. These results allow us to consider the potential benefit of an explicit teaching device for the use of fingers in mathematics for students with intellectual developmental disorders.

Keywords: number, calculation, motricity, intellectual development disorder

INTRODUCTION

La cognition numérique est une composante essentielle de l'accès à l'autonomie : le nombre est quotidiennement sollicité pour calculer des durées lors de déplacements, pour rendre la monnaie, pour mesurer, pour peser. À la rentrée 2019, l'éducation nationale enregistrait dans le second degré 166 680 élèves en situation de handicap dont 48 370 en unités localisées pour l'inclusion scolaire. Pour ces derniers, et pour les enseignants et parents qui les accompagnent, la maîtrise du nombre et des premiers calculs arithmétiques est un enjeu majeur de l'accès à l'autonomie et à l'insertion professionnelle. Pourtant, un état des lieux des modèles actuels, des outils d'évaluation et de remédiation révèle un déficit de connaissances scientifiques des processus d'apprentissage qui caractérisent les élèves avec déficience intellectuelle (Buntix *et al.*, 2016).

L'organisation mondiale de la santé définit la déficience intellectuelle comme « la capacité sensiblement réduite de comprendre une information nouvelle ou complexe, et d'apprendre et d'appliquer de nouvelles compétences ». Le rapport produit par l'INSERM en 2016 sur les déficiences intellectuelles (DI pour déficience intellectuelle ou TDI pour trouble du développement intellectuel) indique que 1 à 2 % de la population française présente une déficience intellectuelle et rappelle que « le fonctionnement et/ou les capacités des personnes avec DI à progresser sont fonction de la présence d'opportunités d'apprentissage et d'un enseignement adapté à leur mode de fonctionnement cognitif » (Buntix *et al.*, 2016 ; p. 131). Par conséquent, les experts recommandent que des recherches soient menées pour mieux comprendre les spécificités des processus

d'apprentissage et pour objectiver l'efficacité des interventions pédagogiques. Si chez les enfants au développement typique, le recours aux doigts est aujourd'hui reconnu comme déterminant dans la construction des premières habiletés mathématiques et notamment des premiers calculs (Guedin, Thevenot et Fayol, 2018), il apparaît un manque de connaissances sur cette question de l'usage des doigts en mathématiques chez les élèves avec trouble du développement intellectuel. L'objectif de cette étude est : i) de décrire l'usage spontané des doigts en situation de calcul chez des élèves avec DI ; ii) de caractériser la relation entre l'usage des doigts, les performances à des tâches numériques et de calcul et les habiletés manuelles.

L'utilisation des doigts en mathématiques

À l'école, la motricité manuelle des enfants est quotidiennement sollicitée (Caramia, Gill, Ohl et Schelly, 2020). En mathématiques, elle peut être particulièrement sollicitée lorsqu'il s'agit de raisonner sur des quantités ou sur des nombres (Pitchford, Papini, Outhwaite et Gulliford, 2016). Les mains peuvent alors être utilisées lors d'activités de dénombrement, d'énumération, de manipulation d'objets de collection à quantifier, de comptage ou de calcul. Ces sollicitations diverses en situation d'apprentissage impliquent que la motricité manuelle de l'enfant soit relativement fonctionnelle c'est-à-dire que ces actions motrices soient suffisamment rapides, précises et coordonnées pour répondre aux exigences de la tâche et au rythme imposé par le collectif de la classe. Thevenot *et al.* (2014) ont montré que lorsque la dextérité ou les gnosies digitales sont détériorées,

comme c'est le cas pour des enfants qui présentent une hémiparésie sans déficit intellectuel, certaines habiletés mathématiques peuvent être impactées (i.e., le comptage sur les doigts ou encore la manipulation de nombre) tandis que d'autres peuvent être préservées (i.e., habiletés arithmétiques).

L'étude des habiletés numériques et arithmétiques de base

Chez l'enfant au développement typique, l'émergence des premières habiletés numériques et arithmétiques est relativement bien documentée. Les recherches établissent l'émergence progressive d'un triple code analogique, verbal et indo-arabe (Dehaene, 1992). Le sens du nombre associé au format analogique serait une compétence première sur laquelle pourraient s'appuyer secondairement les représentations symboliques verbales et indo-arabes. Les mécanismes impliqués dans la mise en relation entre codes analogique et symbolique posent cependant encore un certain nombre de questions. Le rôle du comptage verbal dans cette mise en relation a été largement démontré (Thevenot, Barrouillet, Castel et Uittenhove, 2016; Gelman et Meck, 1983). De nombreuses études ont aussi montré une relation positive significative entre l'usage des doigts chez le jeune enfant et ses performances en calcul. L'utilisation des doigts permettrait au jeune enfant de représenter les quantités de façon analogique avant que les représentations symboliques ne soient disponibles et d'effectuer des calculs sur ces représentations (Siegler et Shrager, 1984). Dans une approche incarnée, le traitement numérique se fonderait sur des systèmes sensorimoteurs développés et enrichis par l'utilisation des doigts (Lakoff et Nuñez, 2000). L'approche incarnée se double d'une approche située, de nombreux chercheurs considérant que l'usage des doigts considéré comme aide externe disponible en permanence occupe une fonction d'aide à la conceptualisation du nombre et à la modélisation des premiers problèmes dans de nombreuses cultures (Di Luca et Pesenti, 2011). Dans la littérature, la relation entre mains et nombres a été appréhendée en considérant soit les représentations mentales des mains (mesurées par les gnosies digitales ou le dessin de la main) soit en analysant la fréquence et l'efficacité du recours aux doigts dans des situations

mathématiques variées. La gnosie digitale renvoie à la capacité à se représenter mentalement sa main et à positionner ou identifier un stimulus tactile en l'absence de feedback visuel. Plusieurs études ont établi une relation positive entre les performances aux tâches de gnosie et les performances à des tâches numériques et de calcul (Marinthe, Fayol et Barrouillet, 2001). La capacité à planifier le dessin d'une main composée de 5 doigts a aussi été identifiée comme étant positivement liée à la réussite à une tâche de correspondance terme à terme (Bonneton-Botté, Hili, De La Haye et Noël, 2015). Reeves et Humberstone (2011) ont montré une relation significative entre les gnosies des doigts et les capacités de résolution de problèmes d'addition à un chiffre, mais ils observent aussi des différences interindividuelles significatives au même âge.

Recours aux doigts et performances en mathématiques : des relations en question

Les études menées ces vingt dernières années ont donc contribué à démontrer que le recours aux doigts chez le jeune enfant au développement typique était un indicateur de réussite en mathématiques et les recherches se poursuivent pour comprendre les conditions qui facilitent ou limitent l'usage des doigts en calcul chez les jeunes enfants. Pour certains auteurs, une motricité fine bien développée pourrait expliquer au moins en partie les différences interindividuelles observées dans le recours spontané aux doigts. La motricité fine correspond à des « petits mouvements musculaires nécessitant une coordination étroite œil-main » (Luo, Jose, Huntsinger et Pigott, 2007, p. 596). Asakawa et Sugimura (2014) ont établi que la dextérité manuelle est significativement corrélée aux capacités de calcul additif (mais pas au vocabulaire). De la même façon, Pitchford *et al.* (2016) ont observé qu'au cours des deux premières années d'école primaire, la motricité fine prédit mieux les habiletés mathématiques que les habiletés de lecture. Suggate, Stoager et Fischer (2017) précisent cette relation en montrant que la motricité fine et les habiletés mathématiques sont liées par les habiletés numériques basées sur les doigts (i.e., toute tâche nécessitant l'usage de ses doigts ou la reconnaissance d'une quantité représentée par des doigts). En 2020, les mêmes auteurs

confirment que les relations entre les performances en dextérité (et non celles de graphomotricité) et les performances numériques sont médiées par les représentations numériques basées sur les doigts (Fischer, Suggate et Stoeger, 2020). La mémoire de travail pourrait aussi s'avérer être un facteur explicatif des différences interindividuelles. Dupont-Boime et Thevenot (2018) ont observé une relation significative positive entre les capacités en mémoire de travail et les performances à une tâche d'addition. Dans cette étude, les enfants avec de bonnes capacités en mémoire de travail se distinguent aussi par un recours plus important à des stratégies plus élaborées (i.e. réaliser l'opération à partir du plus grand des opérandes plutôt que de recompter le tout). Après avoir réalisé une mesure de la mémoire de travail, Poletti, Krenger, Dupont-Boime et Thevenot (2022) ont suivi 24 enfants âgés de 5 à 6 ans sur 2 ans qui utilisaient leurs doigts au début de l'étude pour résoudre des additions. Ils observent que les enfants qui ont cessé le recours aux doigts au cours de la période d'étude présentaient à l'origine de meilleures performances en mémoire de travail. Les auteurs de ces deux dernières études considèrent que l'efficacité cognitive, approchée ici par une mesure de mémoire de travail, faciliterait en premier lieu la découverte d'une procédure efficace (i.e. le recours aux doigts) mais permettrait aussi ultérieurement de découvrir des procédures mentales qui se passent d'aides externes. Si les fondements théoriques qui lient le recours aux doigts à la réussite en mathématiques restent à préciser, l'étude de la facilitation du recours aux doigts et de son enseignement constitue en soi un enjeu dans la lutte contre les inégalités scolaires.

Faciliter et enseigner le recours aux doigts

Un suivi longitudinal d'enfants (n = 217) de la dernière année d'école maternelle à la deuxième année d'école élémentaire a permis de montrer que la fréquence de recours aux doigts est corrélée à la précision des calculs dans les premières années du suivi mais que cette corrélation décline progressivement, signe d'une transition vers d'autres procédures de calcul. Cependant, ce déclin n'apparaît pas de la même façon pour tous, les enfants issus de milieux à revenus faibles continuent de recourir à cette procédure jusqu'en deuxième année (Jordan, Kaplan,

Ramineni et Locuniak, 2008). Au regard de ces résultats, les auteurs suggèrent d'enseigner explicitement le recours aux doigts aux enfants dès le niveau pré-scolaire.

Asakawa, Murakami et Sugimura (2017) ont entraîné 80 élèves d'école élémentaire soit à des tâches de motricité fine (enfiler des perles, opposer chaque doigt, muscler les doigts par des mouvements de pression) durant 10 minutes quotidiennes, soit à une tâche contrôle de lecture. L'entraînement en motricité fine s'est traduit par une amélioration des habiletés arithmétiques et par une augmentation du score à une tâche de motricité fine mais ne s'est pas accompagné d'une amélioration de la gnose des doigts. L'amélioration des habiletés arithmétiques n'a pas été observée pour le groupe contrôle « lecture ». Dans cette étude, les auteurs considèrent donc que c'est la motricité fine et non la gnose des doigts qui serait à l'origine de l'amélioration des performances arithmétiques. À partir d'une collaboration avec des enseignants de cycle 1 et en adoptant une démarche de co-design, Bonneton-Botté, Ollivier, Hili et Bara (2022) ont conçu et expérimenté un dispositif associant motricité fine et enseignement explicite de la décomposition des 10 premiers nombres à l'aide des doigts à 101 enfants âgés en moyenne de 5 ans et 3 mois répartis dans deux groupes (expérimental vs. traditionnel). Les résultats indiquent que des progrès significatifs ont été réalisés en calcul pour les élèves qui ont bénéficié du dispositif expérimental. Cependant et de façon intéressante, l'étude montre que ces progrès sont modulés par les capacités d'imitation motrice initiale des enfants. Les enfants avec de meilleures capacités d'imitation motrice manuelle au début de l'étude ont réalisé des progrès significativement supérieurs à ceux qui présentaient des capacités d'imitation plus faibles.

OBJECTIF

De nombreux résultats convergent pour établir un lien positif entre l'usage spontané des doigts des jeunes enfants et les capacités en arithmétique. Quelques études indiquent que le développement de la motricité fine est un facteur facilitant pour le recours aux doigts et que l'enseignement explicite de l'usage des doigts dans le cadre des activités numériques pourrait avoir des effets bénéfiques chez les élèves au

développement typique (Bonneton-Botté *et al.*, 2022). La recherche d'accessibilité pédagogique inhérente au principe d'une école inclusive conduit à se questionner sur la pertinence de ce type d'intervention pour des élèves à besoins éducatifs particuliers. Buntix *et al.* (2016) soulignent la rareté des études menées auprès des personnes présentant une déficience intellectuelle idiopathique et recommandent d'étudier la spécificité des processus d'apprentissage et l'efficacité d'interventions conduites en contexte scolaire. Les enfants avec DI présentent un retard de motricité fine de 3 à 4 ans comparativement à leurs pairs au développement typique (Rintala et Loovis, 2013). Les habiletés numériques et de calcul présentent elles aussi un retard d'acquisition (Baroody, 1999) qui entravent l'insertion scolaire, sociale et professionnelle. Quelques études soulignent que les élèves avec DI légère à modérée ont des difficultés dans les tâches qui impliquent de relier des chiffres arabes ou des mots nombres à des représentations précises de quantités (Brankaer, Ghesquière et De Smedt, 2011 ; Garrote, Moser, Opitz et Ratz, 2015). Garrote *et al.* (2015) suggèrent également que les élèves avec DI scolarisés à l'école primaire ou secondaire éprouvent des difficultés à décomposer les nombres arabes jusqu'à dix (*e.g.*, 6 est composé de 2 et 4). À l'exception d'une étude faisant état d'un recours aux doigts ponctuel chez des enfants présentant une DI (Sermiet Dessemontet, Moser Opitz et Schnepel, 2020), les relations entre motricité manuelle et habiletés arithmétiques n'ont à notre connaissance pas été investiguées pour cette population. L'étude que nous présentons s'inscrit dans une démarche de recherche coopérative associant des enseignants spécialisés, une formatrice en mathématiques, une conseillère pédagogique et des chercheuses en psychologie. Elle est un préalable à la conception d'une recherche interventionnelle. Ce collectif, financé par l'Institut Français pour l'Éducation (IFÉ), est un Lieu d'Éducation Associé (LéA) engagé dans une ingénierie coopérative. Les ingénieries consistent à concevoir, mettre en œuvre, analyser et faire évoluer un dispositif d'enseignement. La recherche présentée ici précède la conception et à la mise en œuvre d'un dispositif d'enseignement à destination d'enfants avec DI présentant un niveau en mathématique de fin de cycle 1 (dernière année d'école maternelle). Notre premier objectif est de caractériser le recours spontané aux doigts chez des élèves avec DI qui ont à résoudre des problèmes à énoncés verbaux ou arithmétiques.

En premier lieu, il s'agira d'explorer la relation entre la fréquence du recours aux doigts, les performances relatives aux habiletés numériques et de calcul et les performances en motricité manuelle mesurées par l'agilité, la dextérité, la coordination motrice ainsi que la représentation mentale de la main évaluée à travers le dessin de la main. Notre deuxième objectif consistera à caractériser la relation entre la motricité manuelle et les habiletés numériques et de calcul pour des enfants avec DI, relation bien documentée pour des populations au développement typique. Il semble important de préciser que cette étude est à visée applicative. Son objectif n'est pas de contribuer à préciser, sur le plan théorique, les causes qui lient les variables motrices aux performances mathématiques.

Au regard du niveau scolaire en mathématiques des élèves rencontrés dans le cadre de cette étude (fin de cycle 1) nous nous attendons à observer : 1) un usage spontané des doigts pour soutenir la résolution de problèmes mathématiques (Baroody, 1999 ; Sermiet-Dessemontet, *et al.*, 2020) ; 2) une relation positive entre le recours aux doigts et les performances observées à différentes tâches mathématiques (*i.e.*, habiletés numériques et calcul) ; 3) un lien positif entre les mesures de motricité manuelle et le recours spontané aux doigts d'une part et les performances en mathématiques d'autre part (Bonneton-Botté *et al.*, 2022) ; 4) Une relation positive entre la qualité des représentations de la main mesurée par le dessin de la main et les performances en mathématiques (Bonneton-Botté *et al.*, 2015).

MÉTHODOLOGIE

Population

Trente-huit élèves scolarisés en institut médico-éducatif et en unités localisées pour l'inclusion scolaire école (18 garçons et 20 filles) présentant une DI avec un degré de sévérité léger à modéré ($35 < \text{QI} < 70$). Le diagnostic de DI a été confirmé par un psychologue scolaire ou un psychologue intervenant au sein de l'institut médico-éducatif. Tous les participants ont passé un test WISC-IV moins de deux ans avant cette étude et sont considérés comme ayant une DI avec un degré de sévérité de léger à moyen. Considérant la dimension coopérative de la démarche (des chercheurs travaillant avec des enseignants), l'académie

de Rennes n'a pas souhaité que les scores obtenus au WISC-IV par les élèves ne soient communiqués. Le recrutement des participants a été réalisé sur la base d'un pré-test basé sur les épreuves du TEDI-MATH mesurant les acquisitions de fin de cycle 1 en mathématiques (Grégoire, Noël et Van Nieuwenhoven, 2004) et après obtention des autorisations parentales. Les subtests utilisés étaient le comptage, le dénombrement, les opérations avec support imagé, avec énoncé verbal, avec énoncé arithmétique. L'objectif étant de constituer un groupe de participants ayant un niveau en mathématique de dernière année d'école maternelle, nous avons choisi comme critère d'inclusion, la maîtrise de l'ensemble des items du comptage et du dénombrement correspondant à un niveau de fin de deuxième année d'école maternelle (respectivement un score de 8 et de 12). Les critères d'exclusion étaient une réussite minimale aux différents subtests d'opération équivalente à un niveau moyen faible de première année d'école primaire (score de 6 pour les opérations avec support imagé, score de 7 pour les opérations avec énoncé arithmétique, score de trois pour les opérations avec énoncé verbal).

Les enfants sont âgés en moyenne de 10 ans 4 mois (Min = 8 ans et 6 mois ; Max = 17 ans 6 mois), l'observation de la latéralisation au cours de différentes tâches permet d'identifier 1 ambidextre, 31 droitiers et 6 gauchers usuels. Les parents des enfants participants ont tous donné un accord écrit pour participer à cette étude.

PROCÉDURE

Le contexte de l'étude est une recherche collaborative financée par l'institut français pour l'éducation. À ce titre, les 8 enseignants spécialisés associés et la chercheuse responsable de l'action de recherche ont contribué au recueil des données. L'ensemble du groupe a participé à des sessions de formation pour assurer une homogénéité maximale du protocole de passation. Les passations des prétests étaient individuelles et ont été réalisées dans une pièce calme au sein de l'école. Au cours des tâches mathématiques, les enfants n'ont jamais été incités à recourir aux doigts, ils n'en ont pas été empêchés non plus. Le but des examinateurs était d'observer le recours spontané aux doigts chez ces élèves au cours de tâche de résolution de problème. Les épreuves mathématiques

ont été proposées quelques jours après la passation des épreuves de motricité manuelle pour respecter la fatigabilité des participants. Les items mathématiques sont proposés selon un ordre aléatoire, de même, l'ordre de passations des épreuves de motricité a été randomisé.

ÉPREUVES MATHÉMATIQUES

Les habiletés numériques

Elles ont été estimées à partir de différentes tâches de reconnaissance (nommer des configurations de points et des chiffres) et production d'un nombre (produire des nombres à partir d'une collection : une boîte de jetons est mise à disposition de l'enfant et celui doit fournir X jetons sur demande de l'expérimentateur), utilisation d'une collection témoin (produire une collection à partir d'une autre collection). Le score maximum est égal à 8.

Les habiletés de calcul

Trois tâches ont été proposées pour estimer le niveau des enfants en calcul. 8 Problèmes avec énoncé verbal, 8 problèmes avec énoncé arithmétique et 4 additions lacunaires ont été proposées oralement pour un score maximum de calcul sur 20. Les calculs proposés impliquent les 10 premiers nombres, le résultat le plus complexe était égal à 13. Le recours spontané aux doigts a été observé pour chaque tâche de calcul et donne lieu à une fréquence de recours aux doigts pour chacune des trois tâches.

ÉPREUVES DE MOTRICITÉ MANUELLE

Évaluation des capacités d'imitation motrice manuelle (IMM)

La passation réduite prédictive d'imitation de gnosopraxie distale (EMG ; Vaivre-Douret, 2010) est une tâche non verbale qui comporte 12 items d'imitation de gestes réalisés par l'examineur placé face à l'enfant. Les gestes à imiter n'ont pas de signification particulière. Le score attribué était de 0 en cas d'échec ou de 1 pour une réussite, le score maximal

à l'épreuve est de 12. L'ordre de passation des items respecte celui du test original.

Épreuve de dextérité digitale

L'épreuve est directement inspirée des travaux de Suggate, Stoeger et Fischer (2017). L'enfilage de perles est une des épreuves proposées dans ces études pour évaluer la dextérité digitale et mesurer des mouvements significatifs et dirigés de petits muscles de la main. Il s'agit d'enfiler des perles sur une tige flexible. Le score de dextérité digitale correspond au nombre de perles enfilées en 30 secondes.

Épreuve d'agilité et de vitesse motrice

L'épreuve consiste à poser aussi précisément et rapidement que possible chaque doigt (index, majeur, annulaire, auriculaire) sur le pouce pendant 10 secondes. L'exercice est réalisé avec la main dominante et non dominante. Le nombre total d'oppositions pouce-doigt correctement réalisées en 10 secondes pour chacune des mains est reporté et constitue le score.

Coordination bimanuelle

Un score de coordination bimanuelle sur 2 est calculé à partir : 1) de l'observation de la coordination au cours d'une tâche de dessin ; 2) de l'observation de la coordination au cours de la tâche d'enfilage de perles. Un point est attribué chaque fois que la main non active joue bien un rôle de coopération dans chacune de ces tâches pour un score maximum de 2 points.

Épreuve de dessin de la main

L'épreuve consiste pour l'enfant à dessiner une main sans recours à un modèle. Une feuille blanche et un stylo sont posés devant l'enfant. La production graphique est ensuite catégorisée selon le protocole de Bonneton-Botté *et al.* (2015). Les dessins non planifiés et sans le bon nombre de doigts sont cotés 0, les dessins non planifiés avec le bon nombre

de doigts sont cotés 1, les dessins planifiés sans le bon nombre de doigts sont cotés 2 et les dessins planifiés avec le bon nombre de doigts sont cotés 3.

RÉSULTATS

Caractérisation du recours aux doigts chez les élèves avec TDI lors de la résolution de problème

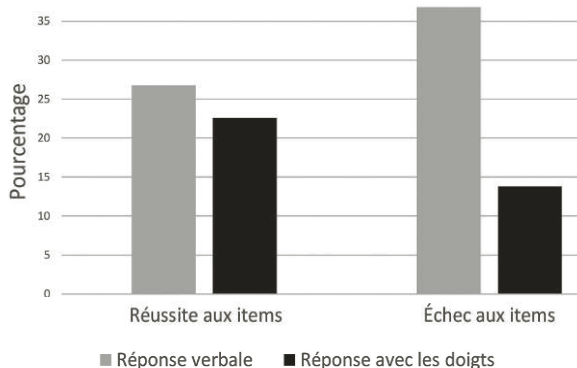


Figure 1. Répartition en pourcentage des procédures (verbale vs. doigts) lors de la réussite ou de l'échec aux items de calcul toutes tâches confondues

La figure 1 présente la répartition en pourcentage du type de procédure (verbale vs. doigts) en fonction de la réussite ou de l'échec aux items de calcul pour l'ensemble des tâches proposées. Il apparaît descriptivement que la procédure verbale est présente pour 26,8 % des items réussis et que le recours aux doigts est présent pour 22,6 % des items réussis. Les procédures utilisées lors des échecs sont plus fréquemment verbales (36,8 % en format verbal contre 13,8 % de recours aux doigts).

La figure 2 présente les taux de réussite et d'échec lorsque la réponse a été donnée à l'aide des doigts ou non. Environ la moitié des énoncés verbaux (53 %) et arithmétiques (51,5 %) sont réussis. La tâche d'addition lacunaire est moins fréquemment réussie (20 % de réussite). La procédure de résolution avec les doigts est observée au cours des trois types de tâches. Parmi les bonnes réponses produites, environ la moitié sont données avec les doigts pour les énoncés verbaux (24 %) et les énoncés arithmétiques (26 %). Seules 7 % des additions lacunaires sont résolues correctement à l'aide des doigts.

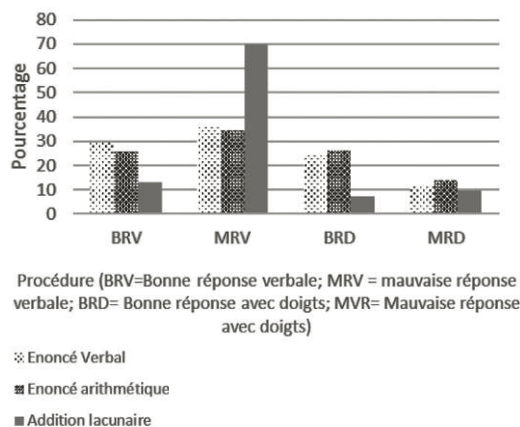


Figure 2. Pourcentage de réussite ou d'échec aux items de calcul en fonction de la modalité de réponse (verbale ou doigts)

Relation entre le recours spontané aux doigts et performances aux tâches numériques et de calcul

Au cours des tâches de calcul, 8 enfants n'ont jamais utilisé leurs doigts pour résoudre une tâche, et 30 les ont utilisés au moins une fois. Comme les conditions d'application de l'analyse de variance ne sont pas vérifiées par le test de Levene, le test non paramétrique de Wilcoxon a été réalisé pour comparer les performances des élèves qui utilisent leurs doigts lors des calculs au moins une fois spontanément versus ceux qui ne les utilisent jamais. La comparaison des performances moyennes en calcul montre un avantage pour les élèves qui utilisent leurs doigts au moins une fois lors des calculs par rapport à ceux qui ne les utilisent jamais ($W = 205$, $p = .002$). De façon cohérente, la comparaison des performances moyennes aux tâches numériques montre une meilleure performance des élèves qui ont utilisé au moins une fois leurs doigts lors des calculs ($W = 199$, $p = .003$).

Relation entre le recours spontané aux doigts, la motricité manuelle et les performances aux tâches numériques et de calcul

Nous avons comparé les performances en motricité manuelle des enfants qui utilisent leurs doigts au moins une fois au cours des calculs à ceux qui

ne les ont jamais utilisés. Il apparaît que les enfants qui utilisent leurs doigts tendent à imiter plus aisément des mouvements manuels ($W = 168$, $p = .08$) et à avoir une meilleure coordination ($W = 168.5$, $p = .053$). Ils ont aussi significativement une meilleure agilité manuelle ($W = 202.5$, $p = .003$). Cette relation n'est pas significative pour la dextérité ($W = 166.5$, $p = .098$).

Pour caractériser la relation entre les mesures de motricité manuelle (i.e., dextérité, agilité, imitation motrice manuelle) et celles de mathématiques (i.e., nombre et calcul), nous avons procédé à des comparaisons de modèles de régression à l'aide du critère BIC (Bayesian Information Criterion), en utilisant le package MuMIn (Bartoń, 2020). Deux comparaisons ont été réalisées : i) une comparaison de tous les sous-modèles d'un modèle complet expliquant la variance de la performance en calcul par les facteurs moteurs (i.e., dextérité, agilité, imitation motrice manuelle); ii) une comparaison de tous les sous-modèles d'un second modèle complet expliquant cette fois la variance de la performance aux tâches numériques (hors calcul) par ces mêmes facteurs moteurs.

Meilleur modèle de la performance en calcul

Le modèle retenu par l'analyse (Tableau 1) est celui qui conserve uniquement le facteur dextérité (BIC = 249.6, $F(1,36) = 11.19$, $R^2 = .22$, $p = .002$). Les conditions ont été vérifiées par un test de Shapiro ($W(36) = .97$, $p = .38$). La variable motrice prédictive des performances en calcul est la dextérité.

Variable	B	SE	IC 95 %	
			LL	UL
Constante	-3.33	4.08	-11.62	4.95
Dextérité	0.714**	0.21	0.28	1.15

Tableau 1. Coefficients du meilleur modèle de la performance en calcul en fonction des facteurs moteurs

Note. * indique $p < .05$. ** indique $p < .01$.

*** indique $p < .001$

Meilleur modèle de la performance aux tâches numériques

Concernant les habiletés numériques, la comparaison de modèles (Tableau 2) est en faveur d'un modèle retenant le facteur agilité et le facteur dextérité ($F(2,35) = 12.40, p < .001, R^2 = .38$). Les conditions ont été vérifiées par un test de Shapiro ($W(36) = .97, p = .31$). Les variables motrices prédictives des performances aux tâches numériques sont donc l'agilité et la dextérité.

Variable	B	SE	IC 95 %	
			LL	UL
Constante	5.94***	1.25	3.41	8.48
Agilité	0.13**	0.04	0.05	0.21
Dextérité	0.17**	0.06	0.05	0.30

Tableau 2. Coefficients du meilleur modèle de la performance aux tâches numériques (hors calcul) en fonction des facteurs moteurs agilité et dextérité

Note. * indique $p < .05$. ** indique $p < .01$.
*** indique $p < .001$

Relation entre les stratégies graphiques au dessin de la main et performances aux tâches mathématiques

Parmi, les 38 dessins de main recueillis, 13 dessins sont non planifiés sans le bon nombre de doigts (S0), 8 représentent le bon nombre de doigts mais ne sont pas planifiés (S1), 5 ne représentent pas le bon nombre de doigts mais sont planifiés (S2) et 12 représentent les 5 doigts et sont planifiés (S3). Après vérification des conditions d'application par le test de Levene, une analyse de variance avec pour variable dépendante le score nombre et comme facteur inter-sujets la stratégie graphique a été réalisée. L'analyse est significative ($F(3,34) = 3,73; p = .02 \eta^2 = .24$) avec un effet de taille large. Au seuil de .05, les tests post-hoc de Tuckey indiquent que les élèves qui ont réalisé un dessin complet et planifié ont significativement de meilleures performances aux habiletés numériques. La même démarche a été adoptée pour le score de calcul. L'analyse de variance est significative ($F(3,34) = 5,52; p = .003 \eta^2 = .32$) avec également un effet de taille large. Au seuil de .05, les tests

post-hoc de Tuckey indiquent que les enfants qui ont produit un dessin de la main planifié et complet ont des scores de calcul significativement meilleurs à ceux des trois autres groupes. Moins d'un tiers des participants correspond à ce profil.

DISCUSSION

Cette étude avait pour objectif de caractériser les relations entre certaines performances en mathématiques et les habiletés motrices d'élèves avec DI légère à modérée mais aussi de décrire le recours spontané aux doigts face à des problèmes arithmétiques ou à énoncés verbaux. Mieux connaître les processus d'apprentissage des élèves avec DI et identifier les situations d'enseignement qui permettent de mettre les élèves en réussite constituent un enjeu majeur d'un système scolaire inclusif (Buntix *et al.*, 2016). La littérature récente conduit à penser que le recours aux doigts en mathématiques est bénéfique chez les jeunes élèves au développement typique, qu'il est prédicteur de la réussite ultérieure en résolution de problème (Jordan *et al.*, 2008) et que son enseignement facilite la résolution de problème au cycle 1 (Bonneton-Botté *et al.*, 2022). Sur le plan théorique, la nature de cette relation entre motricité manuelle, recours aux doigts et performance en calcul reste à préciser. Le développement de la motricité et par conséquent la capacité de recourir aux doigts chez certains enfants pourrait refléter l'efficacité cognitive globale (Dupont-Boime et Thevenot, 2018; Poletti *et al.*, 2022). Selon cette approche, les enfants plus efficaces sur le plan moteur et cognitif seraient plus rapidement susceptibles de découvrir cette procédure et seraient aussi plus rapidement susceptibles de se passer d'aides externes. D'autres hypothèses explicatives avancées convoquent soit la théorie du redéploiement neuronal (i.e., un bon développement précoce des aires motrices permettrait un bon développement ultérieur des aires dédiées au sens du nombre) soit la théorie incarnée et située du nombre qui avance qu'une bonne dextérité facilite un encodage sensori-moteur des 10 premiers nombres utiles au calcul (Asakawa *et al.*, 2014; 2017; Lakoff et Nunez, 2000). Comme indiqué dans notre objectif, cette étude ne visait pas à préciser les raisons théoriques qui fondent les relations entre motricité manuelle et performance en mathématiques.

Il s'agissait plutôt, dans une approche inclusive de caractériser aux mieux ces relations chez 38 élèves présentant une DI légère à modérée et âgés en moyenne de 10 ans et 4 mois avant conception d'un dispositif d'enseignement.

Notre première hypothèse envisageait que les élèves avec DI présentant un niveau de fin de cycle 1 en mathématiques auraient un usage spontané des doigts en résolution de problème. Notre observation confirme cette hypothèse. Sur les 38 élèves que nous avons rencontrés, 30 ont utilisé les doigts au moins une fois au cours des 20 items de résolution de problème. Si l'on considère les trois tâches proposées (énoncé verbal, arithmétique ou addition lacunaire), 49,4 % des items ont été réussis. Parmi ces réussites, la procédure verbale est présente pour 26,8 % des items et le recours aux doigts représente 22,6 % des items. L'examen des procédures utilisées lors des échecs indique que les procédures se présentent plutôt sous format verbal (36,8 %) et moins fréquemment avec les doigts (13,8 %). Une analyse par type de tâche ne montre pas de différence majeure entre les procédures utilisées (verbale vs. doigts) pour les énoncés verbaux et arithmétiques. En revanche, le recours aux doigts est moins fréquent pour résoudre correctement des additions lacunaires (12,8 % de réussite en réponse verbale pour 7,2 % d'items réussis avec les doigts). Ces observations confirment et précisent celles de quelques chercheurs (Baroody, 1999; Sermier-Dessemontet *et al.*, 2020). Ce premier constat conduit à se demander si le recours aux doigts s'accompagne de meilleures performances aux tâches numériques et aux problèmes (Hypothèse 2). Les analyses indiquent en effet que les élèves qui utilisent les doigts lors des calculs ont de meilleures performances aux habiletés numériques et de calcul. Ce constat a été également établi chez les élèves au développement typique (Bonneton-Botté *et al.*, 2022; Dupont-Boime et Thevenot, 2018; Jordan, Kaplan, Ramineni et Locuniak, 2008; Poletti *et al.*, 2022). L'utilisation des doigts pourrait faciliter le passage des représentations analogiques des quantités aux représentations symboliques numériques et permettrait d'effectuer des calculs sur ces représentations (Siegler et Shrager, 1984). Si les systèmes sensorimoteurs jouent un rôle dans la construction d'une cognition mathématique alors la motricité manuelle doit être suffisamment développée et fonctionnelle pour soutenir l'apprentissage. La motricité manuelle

est en effet apparue dans la littérature comme un facteur prédictif du recours aux doigts et des performances en mathématiques (Asakawa et Sugimura, 2014; Bonneton-Botté *et al.*, 2022; Pitchford *et al.*, 2016; Suggate *et al.*, 2017). Nous avons supposé que cette relation pourrait être observée de la même façon pour des élèves avec DI (hypothèse 3). Pour étudier cette relation, nous nous sommes intéressés à différentes composantes de la motricité manuelle (*i.e.*, la dextérité, l'agilité, la coordination bimanuelle, la capacité à imiter des mouvements de main) et à la représentation mentale de la main à travers le dessin. Une première analyse strictement fondée sur le recours aux doigts a permis de montrer que les 8 enfants qui n'utilisent jamais les doigts ont une moins bonne agilité, une moindre capacité d'imitation de gestes manuels et une moins bonne coordination motrice. Ce résultat conduit à prévoir, dans la conception d'un futur dispositif, des activités de soutien de ces dimensions du développement moteur pour des élèves qui auraient des besoins spécifiques.

Une seconde analyse fondée sur les modèles de régression s'est intéressée aux relations entre les tâches motrices et les performances en mathématique. Elle révèle pour les habiletés numériques, que l'agilité et la dextérité sont des variables prédictives. Pour la tâche de calcul, seule la composante de dextérité est apparue comme une variable prédictive. Le fait que l'agilité (*i.e.* une épreuve consiste à poser aussi précisément et rapidement que possible chaque doigt sur le pouce pendant 10 secondes) soit prédictive des habiletés numériques est un résultat original qui pourrait souligner le rôle de la manipulation du matériel dans les tâches mathématiques. En effet, deux de nos trois tâches utilisées pour mesurer les habiletés numériques demandaient à l'enfant de prendre des jetons parmi plusieurs et par conséquent de réaliser une pince pouce-index. Cette manipulation pourrait constituer une charge extrinsèque importante lorsqu'ils sont engagés dans une tâche numérique (Sweller, Ayres et Kalyuga, 2011). La dextérité est un prédictif des performances aux tâches numériques et de calcul. Ce résultat est conforme à d'autres résultats obtenus chez des publics tout venant (Asakawa *et al.*, 2014; 2017; Bonneton-Botté *et al.*, 2022). Si notre contribution ne permet pas d'expliquer les raisons théoriques de ce lien, ce résultat devrait encourager les praticiens à considérer l'importance en classe des activités de

motricité fine chez des enfants présentant une DI légère à modérée. Le dispositif d'enseignement qui sera conçu dans le prolongement de cette étude aura à démontrer le bénéfice de ce type d'activité sur les performances en mathématiques pour ces élèves.

Finalement, et conformément aux résultats observés chez de jeunes enfants typiques (Bonneton-Botté *et al.*, 2015), nos résultats confirment que la qualité de la représentation de la main considérée à travers la planification du dessin et la présence des 5 doigts est associée significativement à de meilleures performances aux habiletés numériques et de calcul. Le dessin de la main, à condition qu'il ne soit pas entraîné, peut constituer une tâche intéressante pour les enseignants car facile à mettre en œuvre et renseignant sur la nécessité de soutenir le développement des représentations de cette partie du corps.

Cette étude présente quelques limites. En premier lieu, il ne nous a pas été possible d'accéder aux scores WISC des sujets de l'étude. Cette donnée aurait permis d'investiguer la relation entre le développement moteur, l'efficacité cognitive globale et performances en mathématiques. En second lieu, nous avons choisi lors du recueil de noter les réussites et les échecs des élèves aux calculs et non de les filmer. À l'instar de Dupont-Boime et Thevenot (2018) une analyse des procédures aurait permis d'adopter une approche qualitative plus fine des procédures adoptées par les élèves afin d'établir des liens entre les caractéristiques motrices des élèves et les stratégies choisies pour résoudre les calculs.

En conclusion, l'objectif de cette étude était de caractériser la place des doigts et de la motricité manuelle chez les élèves avec DI en mathématiques afin d'envisager la pertinence d'un dispositif d'enseignement qui permettrait de soutenir la découverte et l'efficacité de procédures de résolution adaptées et facilitant la conceptualisation du nombre et la modélisation en résolution de problème. Les enfants rencontrés dans cette étude sont assez nombreux (30 sur 38) à recourir spontanément aux doigts lorsqu'ils ont à résoudre des calculs lors de petits problèmes verbaux et arithmétiques. Ceux qui utilisent les doigts ont de meilleures performances aux tâches numériques et de calcul. L'étude des différentes composantes de la motricité manuelle investiguées indique aussi que les enfants qui recourent aux doigts tendent à mieux imiter des mouvements de mains. Ils présentent aussi une meilleure coordination

bimanuelle et une meilleure agilité manuelle. Ils sont aussi capables de représenter une main à travers le dessin de façon concise et planifiée.

L'étude de la relation entre la motricité manuelle et les performances en mathématiques indique que conformément à la littérature sur les enfants au développement typique, la dextérité apparaît comme une composante particulièrement déterminante puisqu'elle est significativement prédictive des performances aux tâches numériques et de calcul. Ces résultats apportent des éléments nouveaux quant aux procédures utilisées par des élèves avec un TDI léger à modéré présentant un niveau de fin de cycle 1 en mathématiques. À l'instar d'enfants au développement typique de même niveau scolaire, la modélisation des problèmes sur les doigts est présente et conduit plus fréquemment à des réussites qu'à des échecs. Le recours aux doigts lors des petits calculs peut présenter plusieurs avantages. Premièrement, il facilite la conceptualisation du nombre en rendant visible les différentes décompositions du nombre dix (par visualisation des doigts levés et les doigts baissés) et en mettant à disposition de l'enfant une aide externe constamment disponible (à condition que sa motricité manuelle le lui permette) ; deuxièmement il pourrait permettre d'alléger la charge en mémoire de travail lorsque la situation est complexe (Poletti *et al.*, 2022). Troisièmement, dans une perspective incarnée, il pourrait constituer un moyen de construire et de renforcer les traces sensori-motrices des dix premiers nombres et par conséquent de faciliter l'accès à la sémantique des nombres nécessaire aux premiers calculs (Di Luca et Pesenti, 2010). Ces constats permettent d'envisager l'intérêt d'expérimenter un dispositif d'enseignement à l'usage des doigts dont les principes d'action seraient le renforcement de la motricité manuelle des enfants avec DI associé à un enseignement explicite autorisant cette procédure. Les dispositifs d'apprentissage fondés sur l'approche incarnée de la connaissance récemment expérimentés pour des enfants au développement typique pourraient offrir une perspective intéressante pour des enfants avec DI, à condition que leur développement moteur soit soutenu dans le cadre de ces mêmes dispositifs et que leurs besoins moteurs soient considérés de façon différenciée lors des situations d'enseignement.

BIBLIOGRAPHIE

- Asakawa, A., Murakami, T. et Sugimura, S. (2017). Effect of fine motor skills training on arithmetical ability in children. *European Journal of Developmental Psychology*, 16(3), 290-301. <https://doi.org/10.1080/17405629.2017.1385454>.
- Asakawa, A. et Sugimura, S. (2014). Developmental trajectory in the relationship between calculation skill and finger dexterity: A longitudinal study. *Japanese Psychological Research*, 56(2), 189-200. <https://doi.org/10.1111/jpr.12041>.
- Baroody, A. J. (1999). The Development of Basic Counting, Number, and Arithmetic Knowledge among Children Classified as Mentally Handicapped. *International Review of Research in Mental Retardation*, 22, 51-103. [https://doi.org/10.1016/s0074-7750\(08\)60131-7](https://doi.org/10.1016/s0074-7750(08)60131-7).
- Bartoń, K. (2020). package MuMIn: Multi-Model Inference (1.43.17) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn> (consulté le 20 juin 2024).
- Bonneton-Botté, N., Hili, H., De La Haye, F. et Noël, Y. (2015). Dessin de la main et habiletés numériques chez des enfants d'âge préscolaire. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, 47(3), 207-215. <https://doi.org/10.1037/a0039037>.
- Brankaer, C., Ghesquière, P. et De Smedt, B. (2011). Numerical magnitude processing in children with mild intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2853-2859. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.05.020>.
- Buntix, W., Cans, C., Colleaux, L., Courbois, Y., Debbané, M., Desportes, V. et Plaisance, E. (2016). Déficiences intellectuelles. [Rapport de recherche] Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). Éditions EDP Sciences.
- Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. Mac Millan.
- Caramia, S., Gill, A., Ohl, A. et Schelly, D. (2020). Fine motor activities in elementary school children: a replication study. *The American Journal of Occupational Therapy*, 74(2), 7402345010p1-7402345010p7. <https://doi.org/10.5014/ajot.2020.035014>.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-n](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-n).
- Di Luca, S. et Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: more than just another symbolic code. *Frontiers in Psychology*, 2, 272. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00272>.
- Dupont-Boime, J. et Thevenot, C. (2017). High working memory capacity favours the use of finger counting in six-year-old children. *Journal of Cognitive Psychology*, 30(1), 35-42. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1396990>.
- Fischer, U., Suggate, S. P. et Stoeger, H. (2020). The Implicit Contribution of Fine Motor Skills to Mathematical Insight in Early Childhood. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01143>.
- Garrote, A., Moser Opitz, E. et Ratz, C. (2015). Mathematische Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern mit dem Förderschwerpunkt geistige Entwicklung. Eine Querschnittstudie. *Empirische Sonderpädagogik*, 7(1), 24-40.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C. et Locuniak, M. N. (2008). Development of number combination skill in the early school years: when do fingers help? *Developmental Science*, 11(5), 662-668. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00715.x>.
- Gelman, R. et Meck, E. (1983). Preschoolers' counting: Principles before skill. *Cognition*, 13(3), 343-359.
- Grégoire, J., Noël, M. et Van Nieuwenhoven, C. (2004). Tedi-Math. *Harcourt*.
- Guedin, N., Thevenot, C. et Fayol, M. (2018). Des doigts et des nombres [fingers and numbers]. *Psychologie Française*, 63(4), 379-399. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2017.07.001>.
- Lakoff, G. et Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics come from: How the embodied mind brings mathematics into being*. Basic Books.
- Luo, Z., Jose, P. E., Huntsinger, C. S. et Pigott, T. D. (2007). Fine motor skills and mathematics achievement in East Asian American and European American kindergartners and first graders. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(4), 595-614. <https://doi.org/10.1348/026151007X185329>.
- Marinthe, C., Fayol, M. et Barrouillet, P. (2001). Gnosies digitales et développement des performances arithmétiques [Digital Gnosies and development of arithmetic performance]. Dans A. Van Hout, C. Meljac et J. P. Fischer (dir.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 239-254). Masson.
- Pitchford, N. J., Papini, C., Outhwaite, L. A. et Gulliford, A. (2016). Fine Motor Skills Predict Maths Ability Better than They Predict Reading Ability in the Early Primary School Years. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00783>.
- Poletti, C., Krenger, M., Dupont-Boime, J. et Thevenot, C. (2022). The Evolution of Finger Counting between Kindergarten and Grade 2. *Children*, 9(2), 132. <https://doi.org/10.3390/children9020132>.
- Reeve, R. et Humberstone, J. (2011). Five-to 7-year-olds' finger gnosia and calculation abilities. *Frontiers in Psychology*, 2, 359. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00359>.
- Sermier Dessemontet, R., Moser Opitz, E. et Schnepel, S. (2019). The Profiles and Patterns of Progress in Numerical Skills of Elementary School Students with Mild and Moderate Intellectual Disability. *International Journal of Disability, Development and*

- Education, 67(4), 409-423. <https://doi.org/10.1080/1034912x.2019.1608915>.
- Siegler, R. S. et Shrager, J. (1984). Strategies choices in addition and subtraction: how do children know what to do? Dans C. Sophian (dir.), *Origins in cognitive skills* (pp. 229-293). Lawrence Erlbaum Associates.
- Suggate, S., Stoeger, H. et Fischer, U. (2017). Finger-Based Numerical Skills Link Fine Motor Skills to Numerical Development in Preschoolers. *Perceptual and motor skills*, 124(6), 1085-1106. <https://doi.org/10.1177/0031512517727405>.
- Sweller, J., Ayres, P. et Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>.
- Rintala, P. et Loovis, E. M. (2013). Measuring Motor Skills in Finnish Children with Intellectual Disabilities. *Perceptual and Motor Skills*, 116(1), 294-303. <https://doi.org/10.2466/25.10.pms.116.1.294-303>.
- Thevenot, C., Castel, C., Danjon, J., Renaud, O., Ballaz, C., Baggioni, L. et Fluss, J. (2014). Numerical Abilities in Children With Congenital Hemiplegia: An Investigation of the Role of Finger Use in Number Processing. *Developmental Neuropsychology*, 39(2), 88-100. <https://doi.org/10.1080/87565641.2013.860979>.
- Thevenot, C., Barrouillet, P., Castel, C. et Uittenhove, K. (2016). Ten-year-old children strategies in mental addition: A counting model account. *Cognition*, 146, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.003>.
- Vaivre-Douret, L. (2010). *Évaluation de la motricité gnoso-praxique distale (EMG) : adaptation du test d'imitation de gestes de Bergès-Lézine*. Pearson.