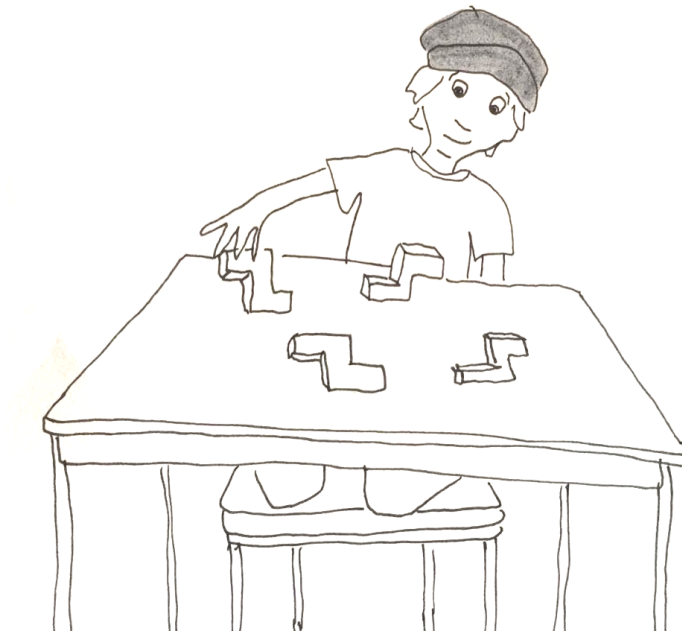


Le rôle des gestes chez des élèves avec une déficience intellectuelle dans la réalisation, la conceptualisation et l'explicitation d'une tâche de rotation mentale

Résultats de trois revues systématiques de littérature
et d'une recherche empirique



Noémie Lacombe
Gressy, Suisse, 2022

THÈSE DE DOCTORAT

Présentée à la Faculté des lettres et des sciences humaines de l'Université de Fribourg (CH)

Approuvée par la Faculté des lettres et des sciences humaines sur proposition des professeurs

Dr Geneviève Petitpierre

Dr Thierry Dias

Dr Luis Radford

Fribourg, le 15 juin 2022

Le Doyen Prof. Dr Dominik Schöbi

Cet ouvrage est publié sous une licence
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC-BY-NC)



<https://doi.org/10.51363/unifr.lth.2022.004>

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement les personnes suivantes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de thèse.

Tout d’abord, un tout grand merci à mes co-directeurs de thèse : Madame Geneviève Petitpierre, Professeur au Département de Pédagogie Spécialisée de l’Université de Fribourg et Monsieur Thierry Dias, Professeur à la Haute École Pédagogique du canton de Vaud pour votre accompagnement bienveillant tout au long de ces années. Votre disponibilité, votre enthousiasme et votre soutien lors des phases plus déifiantes pour moi ont été très précieux. Merci pour vos relectures rigoureuses, vos conseils, vos propositions d’amélioration et votre soutien dans l’élaboration des dispositifs empiriques.

Un grand merci à Mme Myriam Squillaci, Professeur à l’Université de Fribourg pour tes vifs encouragements à m’engager dans cette voie doctorale. Merci pour ta présence, pour ton intérêt, pour ta confiance, pour tous les moments d’échange autour de ma thèse et pour tes nombreuses et fines relectures.

Un merci particulier à mes relectrices, Corinne, Rachel, Céline, Daniela, Yannick et Marie pour vos relectures pointues, vos commentaires et vos corrections.

Un tout grand merci à vous les élèves ! Vous avez participé avec enthousiasme et motivation aux différentes tâches proposées. Merci pour vos sourires, pour votre dynamisme et votre envie d’apprendre et de m’expliquer ce que vous aviez compris. Ce travail est pour vous, il souhaite apporter à vos enseignants un regard un peu différent sur vos apprentissages, un regard qui tienne davantage compte de vos compétences exprimées au travers de vos gestes.

Merci à tous les membres du jury de thèse, Pr. Dr Geneviève Petitpierre, Pr. Dr Thierry Dias, Pr. Dr Luis Radford, Pr. Dr Myriam Squillaci, Pr. Dr Christoph Müller d’avoir évalué mon travail. Un merci particulier au Pr. Dr Luis Radford d’avoir accepté d’être rapporteur de ma thèse. Merci pour nos échanges lors du symposium autour de l’algèbre à Genève.

Un merci particulier à toute l’équipe de Pédagogie Spécialisée pour votre soutien, votre écoute, pour tous les moments de debriefing si précieux. Merci à Catherine, à Juliane, à Céline, à Daniela, à Yannick, à Marie B., à Rachel, à Valérie, à Mireille et à Denis. Un tout grand merci à Marie H. d’avoir pris tout ce temps pour effectuer le double codage de mes données. Merci pour tes questions et tes remarques pertinentes qui m’ont permis d’affiner le codage.

Merci à Verena pour tes conseils statistiques. Merci pour le temps offert à m’expliquer l’utilisation des différents tests et à me conseiller.

Merci également à Cloé, ancienne étudiante qui a effectué les premiers codages avec moi sur une partie des vidéos lors de l'élaboration de la grille d'analyse.

Merci aussi à toute l'équipe de l'UER didactique des mathématiques de la HEP Lausanne. Merci de m'avoir intégrée dans les séminaires des doctorants, pour vos questions, vos précieux conseils et votre bienveillance. Je me suis sentie particulièrement accueillie dans votre équipe.

Je tiens à remercier également les autorités du Département de l'Instruction, de la Culture et du Sport du canton de Fribourg ainsi que les autorités scolaires du canton de Vaud (DGEO) qui ont avalisé ce projet ainsi que tous les directeurs des institutions et des écoles fribourgeoises et vaudoises qui ont donné leur accord. Merci pour votre intérêt et pour les échanges autour de ce travail.

Un merci particulier aux enseignants qui ont accepté d'ouvrir leur classe, de prendre du temps et de me « prêter » leurs élèves pour participer à la recherche. Un grand merci également à tous les parents des élèves qui ont donné leur accord pour que leur enfant soit filmé. Votre confiance m'a permis de réaliser ce travail.

Un grand merci à Silvana, ma cousine pour les dessins tout en finesse qui illustrent les différents chapitres du travail et y apportent une touche chaleureuse. Merci pour tout le temps consacré à leur réalisation.

Un merci chaleureux à ma famille, ma belle-famille et à mes proches pour votre présence et votre intérêt tout au long de ce processus. Merci de vous être souvent occupés de mes enfants pour me libérer du temps. Merci à mes parents pour votre soutien, merci papa pour ton aide précieuse sur Excel, merci beau-papa pour les toutes dernières corrections. Merci à mes sœurs et à mon frère pour leurs encouragements à aller au bout de ce travail. Un merci tout particulier à mes trois enfants d'avoir accepté que maman travaille même le dimanche « mais pourtant c'est congé maman, le dimanche ? ». Finalement, merci à toi, Paul, pour ton soutien tout au long de ces années. Ta compréhension, ton écoute et ta patience envers mes longues soirées de travail m'ont permis d'arriver au bout du processus.

RÉSUMÉ

Cette thèse analyse le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez des élèves avec une déficience intellectuelle (DI). La partie théorique définit les gestes et leurs rôles dans les apprentissages, puis présente les étapes d'acquisition des habiletés de rotation mentale chez les enfants typiques et les enfants avec une DI. Le cadre théorique permet l'élaboration de deux questions de recherche principales : a. Quel est le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale ? b. Quel est le rôle des gestes chez des élèves avec une DI ? Ces deux questions font l'objet de deux revues systématiques de littérature distinctes qui permettent l'édification d'hypothèses de recherche.

La seconde partie restitue les résultats d'une étude empirique mesurant les effets des gestes dans une tâche de rotation mentale pour un échantillon de 20 élèves avec une DI et de 40 élèves appariés respectivement sur le niveau visuo-spatial ($n = 20$) et sur le niveau de langage oral ($n = 20$). S'appuyant sur les résultats des deux revues de littérature, cinq questions de recherche ont émergé : 1. À quelle fréquence les élèves avec une DI utilisent-ils les gestes par rapport aux élèves typiques ? 2. Quels sont les types de gestes utilisés par les élèves avec une DI par rapport aux élèves typiques ? 3. Quelles sont les modalités d'expression des gestes et du discours utilisées par les élèves avec une DI par rapport aux élèves typiques ? 4. Quelles sont les fonctions des gestes utilisées par les élèves avec une DI, par rapport à celles utilisées par les élèves typiques ? 5. Comment les concepts sont-ils exprimés au travers des gestes chez les élèves avec une DI ?

Les résultats mettent premièrement en évidence que les élèves avec une DI font significativement plus de gestes par rapport au nombre de mots prononcés en comparaison avec leurs pairs typiques. Deuxièmement, le niveau d'intelligence fluide, le niveau de langage oral, le niveau visuo-spatial et le niveau psychomoteur sont positivement corrélés au nombre de gestes iconiques produits et négativement corrélés aux gestes actions. D'ailleurs, le niveau de langage oral et le niveau psychomoteur sont des facteurs prédictifs positifs du nombre de gestes iconiques utilisés et des facteurs prédictifs négatifs du nombre de gestes actions effectués. Les gestes iconiques sont également des facteurs prédictifs de la réussite dans une tâche de rotation mentale. Troisièmement, les élèves avec une DI utilisent significativement plus la modalité d'expression « gestes seuls » que le discours seul. Finalement, tous les élèves réussissent significativement mieux les tâches spatiales présentées avec du matériel tridimensionnel en comparaison avec les mêmes tâches présentées dans un format 2D et leurs gestes effectués dans le but de préciser leur langage verbal sont corrélés à la réussite de la tâche. Ce résultat signifie qu'un environnement matériel et la prise en compte des gestes comme modalité de réponse effective offrent une réelle opportunité pour tous les élèves d'acquérir et de montrer des compétences acquises.

MOTS-CLÉS

Gestes, conceptualisation, apprentissage, rotation mentale, déficience intellectuelle, école.

SUMMARY

This thesis analyzes the role of gestures in a mental rotation task in students with intellectual disabilities (ID). The theoretical section defines gestures and their roles in learning, and then presents the stages of acquisition of mental rotation skills in typically developing children and in students with ID. The theoretical framework allows the development of two main research questions: a. What is the role of gestures in a mental rotation task? b. What is the role of gestures in students with ID? These two questions are the subject of two separate systematic reviews of the literature which were used to generate certain research hypotheses.

The second section reports the results of an empirical study measuring the effects of gestures in a mental rotation task in a sample of 20 students with ID and 40 students matched on visuo-spatial level ($n = 20$) and oral language level ($n = 20$) respectively. Based on the results of the two literature reviews, five research questions are motivated by the approach : 1. How often do students with ID use gestures compared to typically developing students? 2. What types of gestures are used by students with ID compared to typically developing children? 3. What gesture and speech modalities are used by students with ID compared to typically developing children? 4. What are the functions of gestures used by students with ID compared to typically developing children? 5. How are concepts expressed through gestures in students with ID?

The results show that a. Students with ID use significantly more gestures in relation to the number of words spoken than their typically peers. b. Fluid intelligence level, oral language level, visuo-spatial level, and psychomotor level are positively correlated with the number of iconic gestures produced and negatively correlated with action gestures. Moreover, oral language level and psychomotor level are positive predictors of the number of iconic gestures used, and negative predictors of the number of action gestures made. Iconic gestures are also positive predictors of success in a mental rotation task. c. Students with ID use the expression modality "gestures alone" significantly more than "speech alone". Finally, all students were significantly more successful on spatial tasks presented with three-dimensional materials compared to the same tasks presented on a two-dimensional format, and their gestures made in order to clarify their verbal speech were correlated with task success. This result means that the possibility for students to demonstrate acquired skills can be increased by use of a material environment and the consideration of gestures as a valid response modality.

KEYWORDS

Gestures, conceptualization, learning, mental rotation, intellectual disability, school

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Dissertation wird die Rolle von Gesten in einer Aufgabe zur mentalen Rotation bei Schülerinnen und Schülern mit intellektueller Beeinträchtigung (IB) analysiert. Im theoretischen Teil werden Gesten und ihre Rolle im Lernprozess definiert und anschliessend die Phasen des Erwerbs von Fähigkeiten zur mentalen Rotation bei typisch entwickelten Kindern und bei Schülern mit IB dargestellt. Der theoretische Rahmen ermöglicht die Ausarbeitung von zwei Hauptforschungsfragen: a. Welche Rolle spielen Gesten in einer Aufgabe zur mentalen Rotation? b. Welche Rolle spielen Gesten bei Schülern mit IB? Diese beiden Fragen sind Gegenstand zweier getrennter systematischer Literaturübersichten, die die Bildung von Forschungshypothesen ermöglichen.

Der zweite Teil gibt die Ergebnisse einer empirischen Studie wieder, in der die Auswirkungen von Gesten in einer mentalen Rotationsaufgabe in einer Stichprobe von 20 Schülerinnen und Schülern mit IB und 40 Schülerinnen und Schülern, die nach visuell-räumlichem Niveau ($n = 20$) bzw. nach mündlichem Sprachniveau ($n = 20$) gemacht wurden, gemessen wurden. Basierend auf den Ergebnissen der beiden Literaturübersichten wurden fünf Forschungsfragen gestellt: 1. Wie häufig verwenden Schülerinnen und Schüler mit IB im Vergleich zu typischen Schülerinnen und Schülern Gesten? 2. Welche Arten von Gesten verwenden Schülerinnen und Schüler mit IB im Vergleich zu typischen Schülern? 3. Welche Ausdrucksweisen von Gesten und Sprache verwenden Schülerinnen und Schüler mit IB im Vergleich zu typischen Schülerinnen und Schülern? 4. Welche Funktionen von Gesten verwenden Schülerinnen und Schüler mit IB im Vergleich zu typischen Schülerinnen und Schülern? 5. Wie werden Konzepte bei Schülerinnen und Schülern mit IB mithilfe von Gesten ausgedrückt?

Die Ergebnisse heben hervor, dass a. Schülerinnen und Schüler mit IB im Vergleich zu ihren typisch entwickelten Peers signifikant mehr Gesten im Verhältnis zur Anzahl der gesprochenen Wörter machen. b. Das Niveau der fluiden Intelligenz, das Niveau der gesprochenen Sprache, das visuo-spatiale Niveau und das psychomotorische Niveau korrelieren positiv mit der Anzahl der produzierten ikonischen Gesten und negativ mit den Aktionsgesten. Ausserdem sind das Niveau der Lautsprache und das psychomotorische Niveau positive Prädiktoren für die Anzahl der verwendeten ikonischen Gesten und negative Prädiktoren für die Anzahl der ausgeführten Aktionsgesten. Ikonische Gesten sind auch Prädiktoren für den Erfolg bei einer Aufgabe zur mentalen Rotation. c. Schülerinnen und Schüler mit IB verwenden die Ausdrucksmodalität "Gesten allein" signifikant häufiger als das Sprechen allein. Schliesslich waren alle Schülerinnen und Schüler bei räumlichen Aufgaben, die mit dreidimensionalem Material präsentiert wurden, signifikant erfolgreicher als bei denselben Aufgaben, die in einem 2D-Format präsentiert wurden, und ihre Gesten, die sie zur Präzisierung ihrer verbalen Äusserungen ausführten, korrelierten mit dem Erfolg der Aufgabe. Dieses Ergebnis bedeutet, dass eine Materialumgebung und die Berücksichtigung von Gesten als gültige Antwortmodalität die Möglichkeit erhöhen, erworbene Fähigkeiten zu zeigen.

SCHLÜSSELWÖRTER

Gesten, Konzeptualisierung, Lernen, geistige Rotation, geistige Behinderung, Schule.

VALORISATION

Articles publiés

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2021). Can gestures give us access to thought? A systematic literature review on the role of co-thought and co-speech gestures in children with intellectual disabilities. *Journal of Non-Verbal Behaviour*, 1-18. 10.1007/s10919-022-00396-4

Lacombe, N., Petitpierre, G., & Dias, T. (2020). Observer les gestes pour analyser les habiletés spatiales des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue Suisse de Pédagogie Spécialisée* (2), 47-53.

Lacombe, N., Dias, T., Petitpierre, G. (2020). Construction d'une batterie de tâches spatiales en 3D pour favoriser l'expression gestuelle des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue de mathématiques pour l'école*, 81-92.

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2021). Effets de l'observation des gestes dans une tâche de rotation mentale chez les élèves ayant une déficience intellectuelle. Actes de la COPIRELEM, Chambéry.

Articles en préparation

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2022). Turn it, gesture it, imagine it! The role of gestures in mental rotation skills: a systematic literature review.

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2022). Roles and effects of gestures in a mental rotation task in students with intellectual disabilities.

Contribution orale dans un congrès

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2021). Observer les gestes pour analyser les habiletés spatiales des élèves avec une déficience intellectuelle. Congrès de l'Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (COPIRELEM), Chambéry.

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2021). The role of spontaneous gestures as a support of students with intellectual disabilities's spatial thinking. International Association for the Scientific Study of Intellectual and Developmental Disabilities (IASSID), online.

Lacombe, N., Petitpierre, G., Dias, T. (2019). Exploration du rôle et de l'implication des gestes chez des élèves avec une déficience intellectuelle. Congrès de l'Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (COPIRELEM), Lausanne.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	21
2. LE RÔLE DES GESTES DANS UNE TÂCHE DE ROTATION MENTALE CHEZ LES ÉLÈVES TYPIQUES	27
2.1 LE RÔLE DES GESTES CHEZ LES ÉLÈVES TYPIQUES	29
2.1.1 Gestes et conceptualisation des connaissances mathématiques.....	29
2.1.2 Nombre de gestes.....	32
2.1.3 Types de gestes	34
2.1.4 Utilisation de la double modalité (geste et discours)	35
2.1.5 Fonctions générales des gestes	37
2.1.6 Fonctions liées au langage	38
2.1.7 Fonctions des gestes dans la cognition spatiale.....	40
2.1.8 Que retenir ?.....	44
2.2 LA ROTATION MENTALE CHEZ LES ÉLÈVES TYPIQUES	45
2.2.1 Développement de la rotation mentale chez l'enfant	45
2.2.2 Traitement cognitif de la rotation mentale.....	47
2.2.3 Effets du système moteur dans la rotation mentale	49
2.2.4 Effets des gestes et du discours dans la rotation mentale	49
2.2.5 Que retenir ?.....	50
2.3 REVUE SYSTÉMATIQUE DE LITTÉRATURE : LE RÔLE DES GESTES DANS LA ROTATION MENTALE CHEZ LES ÉLÈVES TYPIQUES	52
2.3.1 Méthode.....	52
2.3.2 Présentation des études	55
2.3.3 Modalités d'intervention favorisant la rotation mentale	60
2.3.4 Implication des gestes et du discours dans la rotation mentale.....	63
2.3.5 Implication du système moteur dans la rotation mentale	65
2.3.6 Que retenir ?.....	66
3. LE RÔLE DES GESTES CHEZ LES ÉLÈVES AVEC UNE DÉFICIENCE INTELLECTUELLE.....	69
3.1 DÉVELOPPEMENT SPATIAL ET LANGAGIER DES ÉLÈVES AVEC UNE DÉFICIENCE INTELLECTUELLE	71
3.1.1 Développement du langage et des gestes chez les élèves avec une DI	73
3.1.2 Développement des habiletés spatiales chez les élèves avec une DI.....	75
3.1.3 Revue systématique de littérature sur la rotation mentale chez les élèves avec une DI	76
3.1.4 Que retenir ?.....	81
3.2 REVUE SYSTÉMATIQUE DE LITTÉRATURE : LE RÔLE DES GESTES CHEZ DES ÉLÈVES AVEC UNE DÉFICIENCE INTELLECTUELLE	82
3.2.1 Méthode.....	82
3.2.2 Présentation des études	86
3.2.3 Nombre de gestes utilisés chez les élèves avec une DI	88
3.2.4 Types de gestes utilisés chez les élèves avec une DI.....	90

3.2.5 Modalités d'expression utilisées chez les élèves avec une DI	92
3.2.6 Fonctions des gestes chez les élèves avec une DI	94
3.2.7 Que retenir ?.....	96
4. PROBLÉMATIQUE : LE RÔLE DES GESTES DANS UNE TÂCHE DE ROTATION MENTALE CHEZ LES ÉLÈVES AVEC UNE DÉFICIENCE INTELLECTUELLE.....	97
4.1 QUESTIONS DE RECHERCHE	99
4.2 HYPOTHÈSES DE RECHERCHE	100
5. MÉTHODE	101
5.1 SETTING EXPÉRIMENTAL.....	103
5.2 PARTICIPANTS.....	105
5.2.1 Procédure de recrutement des participants	105
5.2.2 Critères d'inclusion	108
5.2.3 Caractéristiques sociodémographiques.....	110
5.3 CHOIX DES INSTRUMENTS DE MESURE.....	111
5.3.1 Tests utilisés pour la sélection des participants.....	111
5.3.2 Tests utilisés pour mesurer les variables indépendantes.....	112
5.3.3 Tests utilisés pour mesurer les variables dépendantes.....	113
5.3.4 Appariement des groupes	115
5.3.5 Procédure de passation	116
5.3.6 Fidélité procédurale.....	116
5.4 CODAGE DES DONNÉES	118
5.4.1 Codage du nombre et des types de mots	119
5.4.2 Codage du nombre de gestes	119
5.4.3 Codage des types de gestes.....	119
5.4.4 Codage des modalités d'expression gestes-discours	124
5.4.5 Codage des fonctions liées au langage.....	127
5.4.6 Codage des fonctions liées à l'espace.....	130
5.4.7 Fidélité inter-juges.....	135
5.5 ANALYSES STATISTIQUES	138
5.5.1 Analyses statistiques préliminaires	138
5.5.2 Distribution normale	138
5.5.3 Vérification des hypothèses.....	138
5.5.4 Vérification des variables perturbatrices.....	141
6. RÉSULTATS	143
6.1 NOMBRE DE MOTS ET DE GESTES UTILISÉS	145
6.1.1 Nombre de mots et gestes utilisés par les élèves avec une DI et typiques	145

6.1.2 Nombre de gestes utilisés selon le niveau visuo-spatial.....	150
6.1.3 Nombre de gestes selon le niveau de langage oral.....	153
6.1.4 Nombre de gestes selon le niveau psychomoteur.....	154
6.1.5 Nombre de gestes selon le niveau de complexité de la tâche.....	155
6.1.6 Scores de réussite des élèves avec une DI.....	157
6.2 TYPES DE GESTES.....	158
6.2.1 Utilisation des gestes de pointage.....	158
6.2.2 Utilisation des gestes iconiques et des gestes actions.....	160
6.2.3 Gestes iconiques et réussite de la tâche.....	161
6.2.4 Gestes et discours dynamiques face à la réussite de la tâche.....	163
6.3 MODALITÉS D'EXPRESSION GESTES-DISOURS.....	164
6.3.1 Utilisation de la modalité gestes seuls et discours seul.....	164
6.3.2 Les stratégies exprimées par la parole seule face à la réussite de la tâche.....	167
6.4 FONCTIONS DES GESTES.....	168
6.4.1 La fonction de précision.....	168
6.4.2 Les fonctions spatiales des gestes.....	170
6.5 PROCESSUS DE CONCEPTUALISATION AU TRAVERS DES GESTES.....	172
6.5.1 Comparaison entre le niveau de réussite des tâches de rotation mentale en 3D et en 2D.....	172
6.5.2 Observation des niveaux de rotation mentale selon le modèle de Chu et Kita (2008).....	177
6.6. QUE RETENIR DES RÉSULTATS ?.....	179
7. DISCUSSION.....	183
7.1 LE RÔLE DES GESTES DANS UNE TÂCHE DE ROTATION MENTALE CHEZ LES ÉLÈVES AVEC UNE DI.....	185
7.1.1 Nombre de gestes.....	185
7.1.2 Types de gestes utilisés.....	191
7.1.3 Modalités d'expression utilisées.....	194
7.1.4 Fonctions des gestes.....	196
7.1.5 Processus de conceptualisation au travers des gestes.....	199
7.1.6 Que retenir ?.....	200
7.2 LES MOYENS D'ÉVALUATION ET D'APPRENTISSAGE DANS LE DOMAINE SPATIAL TRIDIMENSIONNEL.....	201
7.2.1 Propositions de moyens d'évaluation de la rotation mentale.....	201
7.2.2 Propositions de séquences d'enseignement-apprentissage.....	206
7.2.3 Que retenir ?.....	208
8. CONCLUSION.....	209
9. BIBLIOGRAPHIE.....	217
10. ANNEXES.....	239

RÉPERTOIRES

Tables des figures

Figure 1 Processus d'objectivation des connaissances : schéma adapté de Radford (2002).....	30
Figure 2 Continuum des gestes (Kendon, 1988).....	33
Figure 3 Modèle de production des gestes et du langage verbal selon Kita et Özyürek (2003)	36
Figure 4 Construction du modèle théorique (types, modalités et fonctions liées au langage des gestes) : figure schématisée par l'auteure	39
Figure 5 Les quatre fonctions des gestes dans le domaine spatial : figure schématisée par l'auteure.....	40
Figure 6 Exercice de rotation mentale dans l'étude de Chu et Kita (2011).....	42
Figure 7 Modèle théorique (types, modalités, fonctions des gestes) : figure schématisée par l'auteure	44
Figure 8 Illustration hypothétique d'une courbe en U du développement des capacités de rotation mentale chez les enfants.....	46
Figure 9 Cinq étapes du traitement de la rotation mentale : figure schématisée par l'auteure.....	47
Figure 10 Identification, traitement et jugement de parité dans la rotation mentale (Zander et al., 2016).....	47
Figure 11 Trois niveaux de développement de l'habileté de rotation mentale : figure schématisée par l'auteure.	48
Figure 12 Traitement de l'information dans une tâche de rotation mentale et le rôle des gestes dans celui-ci : figure schématisée par l'auteure.....	51
Figure 13 Flowchart de sélection des articles pour la revue « gestes et rotation mentale »	54
Figure 14 Années de publication des études de la revue « gestes et rotation mentale »	55
Figure 15 Taille de l'échantillon de la revue « gestes et rotation mentale »	56
Figure 16 Âges des échantillons de la revue « gestes et rotation mentale ».....	56
Figure 17 Tâche de rotation mentale de Levine et al. (1999).....	58
Figure 18 Tâche de rotation mentale adaptée dans une application « Rotate it » (Zander et al., 2016)	58
Figure 19 Flowchart résumant la sélection des articles de la revue « rotation chez les élèves avec une DI ».....	77
Figure 20 Flowchart résumant la sélection des articles de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »	84
Figure 21 Années de publication des recherches de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »	86
Figure 22 Type de population des études de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »	86
Figure 23 Âge des élèves de l'échantillon de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »	87
Figure 24 Fonctions des gestes chez les élèves avec une DI : figure schématisée par l'auteure.....	95
Figure 25 Procédure de recrutement des participants avec une DI.....	105
Figure 26 Premier exemple de gestes de pointage	120
Figure 27 Deuxième exemple de pointage.....	120
Figure 28 Premier exemple de gestes iconiques	121
Figure 29 Second exemple de gestes iconiques	121
Figure 30 Troisième exemple de gestes iconiques	122
Figure 31 Exemple de gestes métaphoriques	122

Figure 32 Premier exemple d'un geste action.....	123
Figure 33 Second exemple d'un geste action.....	123
Figure 34 Premier exemple de la modalité « gestes seuls ».....	124
Figure 35 Second exemple de la modalité « gestes seuls ».....	125
Figure 36 Troisième exemple de « gestes seuls ».....	125
Figure 37 Premier exemple de modalité « bimodale ».....	126
Figure 38 Second exemple de modalité « bimodale ».....	126
Figure 39 Premier exemple de gestes illustrant la fonction de redondance.....	128
Figure 40 Second exemple de gestes illustrant la fonction de redondance.....	128
Figure 41 Premier exemple de gestes précisant le langage verbal	129
Figure 42 Second exemple de gestes précisant le langage verbal.....	129
Figure 43 Exemple de gestes illustrant la fonction de « supplément »	130
Figure 44 Exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : activer	131
Figure 45 Exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : manipuler	131
Figure 46 Premier exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : organiser	132
Figure 47 Deuxième exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : organiser.....	133
Figure 48 Exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : explorer	134
Figure 49 Nombre de gestes par mot pour chaque paire appariée.....	146
Figure 50 Nombre de gestes iconiques et de gestes actions selon le niveau visuo-spatial.....	152
Figure 51 Types de gestes analysés dans les résultats de la recherche empirique	158
Figure 52 Pourcentages respectifs des différents types de gestes utilisés par les trois groupes	159
Figure 53 Modalités d'expression analysées dans les résultats de la recherche empirique	164
Figure 54 Répartition des trois modalités dans le groupe des élèves avec une DI.....	166
Figure 55 Différence dans l'utilisation des trois modalités dans les deux groupes d'élèves contrôles.....	166
Figure 56 Fonctions analysées dans les résultats de la recherche empirique.....	168
Figure 57 Scores de réussite aux tâches de rotation mentale en 3D et en 2D des élèves avec une DI.....	172
Figure 58 Première illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes	174
Figure 59 Deuxième illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes	175
Figure 60 Troisième illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes	175
Figure 61 Quatrième illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes.....	176
Figure 62 Illustration des différents niveaux de rotation mentale de Chu et Kita (2008) observés dans la présente recherche	177
Figure 63 Synthèse des différences d'utilisation des types de gestes à l'intérieur des groupes.....	180
Figure 64 Synthèse des différences d'utilisation des modalités d'expression à l'intérieur des groupes.....	181

<i>Figure 65</i> Modèle complété suite aux connaissances dégagées par notre recherche.....	200
<i>Figure 66</i> Tâche d'évaluation en 3D proposée dans l'étude de Hawes et al. (2015)	201
<i>Figure 67</i> Tâches permettant d'entraîner la rotation mentale d'après le modèle de Chu et Kita (2008)	207

Table des tableaux

<i>Tableau 1</i> Les cinq types de comportements non verbaux.....	32
<i>Tableau 2</i> Les trois types de gestes figuratifs d'après McNeill (1992) : tableau schématisé par l'auteure	35
<i>Tableau 3</i> Critères d'inclusion et d'exclusion des articles de la revue « gestes et rotation mentale ».....	53
<i>Tableau 4</i> Effets de différentes conditions d'intervention sur la réussite d'une tâche de rotation mentale.....	60
<i>Tableau 5</i> Rôle des gestes et du langage dans une tâche de rotation mentale	63
<i>Tableau 6</i> Implication du système moteur dans une tâche de rotation mentale	65
<i>Tableau 7</i> Tâches utilisées dans les études de la revue sur la rotation mentale chez les élèves avec une DI	79
<i>Tableau 8</i> La rotation mentale chez les élèves avec une DI : résultats de la revue systématique	80
<i>Tableau 9</i> Critères d'inclusion et d'exclusion des articles de la revue « gestes chez les élèves avec une D »I.....	83
<i>Tableau 10</i> Nombre de gestes utilisés par les élèves avec une DI et les élèves typiques.....	88
<i>Tableau 11</i> Les types de gestes utilisés chez les élèves avec une DI en comparaison aux élèves typiques	90
<i>Tableau 12</i> Modalités d'expression utilisées par les élèves avec une DI et les élèves typiques	92
<i>Tableau 13</i> Synthèse des questions et hypothèses de recherche	100
<i>Tableau 14</i> Déroulement et calendrier de l'étude.....	104
<i>Tableau 15</i> Distribution des participants avec une DI par établissement et par canton	106
<i>Tableau 16</i> Données socio-démographiques des groupes ayant participé à la phase expérimentale.....	110
<i>Tableau 17</i> Tâches de la batterie mesurant l'habileté de rotation mentale	114
<i>Tableau 18</i> Résultats des trois groupes d'élèves aux tests standardisés.....	115
<i>Tableau 19</i> Exemple de la grille de codage pour la fidélité procédurale	117
<i>Tableau 20</i> Calcul de la fidélité procédurale par participant	117
<i>Tableau 21</i> Calcul de la fidélité procédurale par variable	118
<i>Tableau 22</i> Taux d'accord inter-juges par catégories et global	135
<i>Tableau 23</i> Synthèse du taux d'accord inter-juges par variables.....	136
<i>Tableau 24</i> Synthèse du taux d'accord inter-juges par participant.....	136
<i>Tableau 25</i> Corrélations entre les deux codeurs de la fidélité inter-juges.....	137
<i>Tableau 26</i> Vérification des hypothèses de recherche	138
<i>Tableau 27</i> Nombre moyen de mots et de gestes utilisés par les élèves des trois groupes.....	145
<i>Tableau 28</i> Illustration d'une réponse verbale et gestuelle d'un élève avec une DI	147
<i>Tableau 29</i> Illustration d'une réponse verbale et gestuelle d'un élève contrôle TDVS	148
<i>Tableau 30</i> Nombre de mots spatiaux utilisés par les trois groupes d'élèves	149
<i>Tableau 31</i> Corrélations entre les gestes et les trois variables mesurant le niveau visuo-spatial.....	150
<i>Tableau 32</i> Différence entre le nombre de gestes utilisés par type et le niveau visuo-spatial des élèves.....	151
<i>Tableau 33</i> Corrélations entre le nombre de gestes et le niveau de langage oral.....	153

Tableau 34 Corrélations entre le nombre de gestes et le niveau psychomoteur	154
Tableau 35 Nombre d'occurrences des différents types de gestes selon le niveau de complexité de la tâche	155
Tableau 36 Nombre de mots utilisés et niveau de complexité de la tâche	156
Tableau 37 Score de réussite aux tâches de rotation mentale en 2D et en 3D dans chacun des trois groupes	157
Tableau 38 Nombre d'occurrences des types de gestes utilisés par les trois groupes	158
Tableau 39 Corrélations entre le niveau de comportement adaptatif et le raisonnement analogique par rapport aux différents types de gestes utilisés	160
Tableau 40 Corrélations entre les différents types de gestes et la réussite de la tâche de rotation mentale	161
Tableau 41 Utilisation des gestes et du discours statique versus dynamique selon les trois groupes	163
Tableau 42 Modalités d'expressions gestes-discours selon les trois groupes	164
Tableau 43 Corrélations entre les modalités d'expressions et différentes variables	165
Tableau 44 Fonctions des gestes précisant le langage selon les trois groupes	168
Tableau 45 Utilisation des fonctions spatiales des gestes selon les trois groupes	170
Tableau 46 Synthèse de la variabilité entre les groupes	179
Tableau 47 Synthèse des corrélations	182
Tableau 48 Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la première question de recherche...	190
Tableau 49 Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la deuxième question de recherche..	193
Tableau 50 Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la troisième question de recherche ..	195
Tableau 51 Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la troisième question de recherche ..	198
Tableau 52 Proposition de grille pour observer les gestes dans une tâche de rotation mentale	203

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- DI = déficience intellectuelle
- TDVS = groupe contrôle sur le niveau visuo-spatial (typical development children visuo-spatial)
- TDL = groupe contrôle sur le niveau de langage oral (typical development children language)
- TD = élèves au développement typique (typical development)
- MA = âge mental (mental age)
- CA = âge chronologique (chronological age)
- LA = âge verbal (language age)
- 3D = tridimensionnel
- 2D = bidimensionnel
- Pnt = gestes de pointage
- Ico = gestes iconiques

1. Introduction



La présence de gestes spontanés dans la communication et l'apprentissage est attestée par maintes recherches (Kita et al., 2017; Wakefield et al., 2019). Les gestes, intimement liés à la pensée de tout être humain ont été observés dans toutes les cultures, à tous les âges et dans toute une variété de tâches (Hostetter et al., 2007; Feyereisen & deLannoy, 1991). Ils sont également effectués lorsque personne n'est là pour les voir, comme c'est le cas lors d'un échange téléphonique (Tellier, 2009). À ce propos, les personnes aveugles de naissance utilisent des gestes qui sont étonnamment proches de ceux produits par les voyants lorsqu'ils discutent entre eux (Iverson & Goldin-Meadow, 1998). Ce même phénomène est aussi observable chez les personnes atteintes d'une surdité, qui utilisent des gestes en plus de la langue des signes (Goldin-Meadow, Shield et al., 2012). Les gestes ne facilitent ainsi pas seulement la communication, mais exercent également un rôle dans la formation de la pensée (Goldin-Meadow, 2003).

Dans les apprentissages, les gestes soutiennent aussi bien la représentation et la conceptualisation que l'expression des représentations abstraites chez les élèves (Kita et al., 2017; Wakefield, Congdon et al., 2019). À ce propos, la littérature met en évidence trois fonctions principales des gestes. La première fonction est la récupération lexicale (*Lexical Retrieval hypothesis LR*), à savoir faciliter la recherche des mots en mémoire. La deuxième fonction (*Packaging hypothesis*) est de favoriser la conceptualisation et l'organisation de l'information (Alibali et al., 2000). La troisième est de réduire la charge cognitive notamment lors de tâches complexes et/ou qui sollicitent l'exécution de plusieurs étapes consécutives (Goldin-Meadow & Wagner, 2005).

Les recherches précisent que les individus utilisent deux fois plus de gestes pour parler d'espace que pour raconter une histoire ou décrire leur journée (Lavergne & Kimura, 1987). En effet, les gestes fournissent des informations spatiales rapides, précises et simultanées : situer un emplacement particulier, une direction, ou encore des distances entre plusieurs objets. Ces informations sont plus difficiles, voire chronophages, à transmettre via le langage verbal qui décrit ces mêmes relations de manière séquentielle, relative et moins précise (Sauter et al., 2012; Newcombe & Huttenlocher, 2007). Citons ici l'étude de Bergman et Kopp (2006) mentionnant que 51,38% des informations spatiales sont communiquées uniquement au travers des gestes. Ce résultat met en exergue l'impérieuse nécessité de considérer les gestes des individus pour appréhender les informations communiquées, aussi bien dans la vie quotidienne que dans le milieu scolaire. À l'école, Calero et al. (2019) ont mis en évidence que les enfants expriment leur compréhension des concepts géométriques et spatiaux plus précocement par les gestes que par le langage. Les stratégies exprimées par les gestes sont d'ailleurs des facteurs prédictifs de la performance spatiale (Miller et al., 2020). Bien que l'importance des gestes dans les processus de conceptualisation ait été attestée par de nombreuses recherches, leur prise en compte dans les dispositifs d'évaluation des compétences géométriques et spatiales des élèves demeure rare. Ce constat, relevé

notamment par les chercheurs du domaine (par exemple Calero et al., 2019; Mastrogioiuseppe & Lee, 2017), invite à reconsidérer l'approche évaluative des apprentissages dans le domaine géométrique et spatial, en redonnant aux gestes leur place légitime dans les processus cognitifs des élèves. En effet, une évaluation fondée uniquement sur la performance, sur la réponse et les explications verbales, omet, pour Calero et al. (2019), le rôle et les fonctions des gestes, voies d'accès incontournables aux processus de mentalisation des élèves typiques.

En ce qui concerne les élèves avec une déficience intellectuelle (DI), les recherches sur le rôle des gestes dans les apprentissages sont rares. Les quelques études du domaine relèvent toutefois trois éléments à considérer : premièrement, les enfants avec une DI accompagnent leur langage oral de plus de gestes que les enfants typiques. Deuxièmement, ils produisent davantage de gestes dits « iconiques » par exemple, dire « j'ai tourné la forme » et indiquer le sens de rotation avec la main permettant aux enseignants initiés d'avoir accès à leurs processus de conceptualisation et de compréhension. Troisièmement, ils s'appuient davantage sur les gestes que les enfants typiques pour transmettre du sens lorsqu'ils communiquent. Sachant que les élèves avec une DI ont souvent des difficultés à exprimer verbalement leur pensée (INSERM, 2016), l'étude des gestes s'avère centrale, car elle permet sinon une meilleure évaluation, du moins une appréciation plus fine de l'état des connaissances d'un enfant dans un domaine particulier (Stefanini et al., 2008; Mastrogioiuseppe & Lee, 2017). Si l'importance des gestes est attestée chez les élèves avec une DI, les études sur leurs effets dans le domaine spatial notamment, font clairement défaut. La méta-analyse de Browder et al. (2008) relève que seules 3% des recherches incluant des élèves avec une DI étudient le domaine spatial et géométrique, alors que ces compétences exercent un rôle clé dans la vie quotidienne de tout un chacun (Davis, 2015). Elles sont même considérées comme prédisant la réussite future des élèves en mathématiques, en sciences, en technologie ou encore en ingénierie (Davis, 2015; Mix & Cheng, 2012). La plupart des interventions destinées aux élèves avec une DI ciblent les habiletés mathématiques de base (numératie) au détriment des notions mathématiques plus complexes, comme par exemple la mesure ou la géométrie tridimensionnelle, également nécessaires pour accéder à l'indépendance (Browder et al., 2012; Jitendra et al., 2016). L'expertise collective de l'INSERM (2016, p.35), fondée sur près de 2500 documents, souligne que les effets dits « plateaux » observés chez les élèves avec une DI proviennent plus souvent d'un manque d'offres d'apprentissage que de limitations liées à la déficience intellectuelle.

En lien avec ces différents constats, le premier objectif de cette thèse vise à faire un état des lieux d'une part de l'utilisation et d'autre part du rôle des gestes dans la construction et l'expression des habiletés spatiales (rotation mentale) chez les élèves avec une DI. Le second objectif vise l'édification de moyens innovants d'évaluation et d'apprentissage dans le domaine spatial tridimensionnel, afin de favoriser l'observation des gestes produits par les enfants. Pour atteindre ces objectifs, le travail est construit en deux parties, l'une théorique, l'autre empirique. Après l'introduction (chapitre 1), le chapitre 2 présente le rôle des gestes dans des tâches de rotation mentale chez les élèves typiques, afin de mettre en évidence leur rôle dans

les processus de conceptualisation. Ce chapitre inclut une revue systématique de littérature sur la manière dont les élèves typiques utilisent les gestes dans une tâche de rotation mentale. Le chapitre 3 se centre sur le rôle des gestes chez des élèves avec une DI en décrivant leur fonctionnement cognitif (langage et cognition spatiale). Ce dernier contient deux revues systématiques de littérature, l'une sur la rotation mentale chez les élèves avec un DI et la deuxième sur la manière dont les gestes sont utilisés par les élèves avec une DI. Cette première partie permet l'édification de questions et d'hypothèses de recherche qui sont présentées dans le chapitre 4 et qui introduisent la deuxième partie empirique de ce travail. Celle-ci contient le chapitre 5 qui présente la méthodologie utilisée dans la recherche, la procédure d'échantillonnage, l'échantillon, ainsi que la batterie de tâches spatiales tridimensionnelles créée pour la recherche. Le chapitre 6 analyse les résultats, le chapitre 7 ouvre la discussion en comparant les résultats aux données théoriques issues des trois revues systématiques. Le chapitre huit offre une conclusion à la thèse, aborde ses forces et ses limites, puis propose des perspectives de recherches, ainsi que des perspectives pratiques en matière d'évaluation des compétences spatiales pour les enseignants.

2. Le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez les élèves typiques



Les résultats des recherches actuelles montrent que les gestes sont particulièrement fréquents lorsque les personnes parlent d'espace, en particulier pour modifier, déplacer ou créer mentalement des objets (Trafton et al., 2006). Dans les tâches de rotation mentale, Göksun et al. (2013) soulignent que les gestes combinés à la parole révèlent les représentations mentales de l'individu et offrent un accès privilégié pour comprendre les stratégies choisies pour réaliser la tâche. Toutefois, la prise en compte des gestes dans les processus d'apprentissage et de conceptualisation fait l'objet de controverses dans la littérature. En effet, les premières recherches en psychologie les considéraient davantage comme une porte d'entrée ou de sortie du processus de traitement de l'information, mais pas comme de véritables outils au service des apprentissages (Wilson, 2002). Afin de retracer l'évolution des connaissances sur le rôle des gestes dans les apprentissages, ce chapitre décrira les processus de conceptualisation en mathématiques ainsi que l'utilisation des gestes par les élèves en structurant les données autour du modèle de McNeill (1992). Le chapitre suivant ciblera les gestes liés aux tâches de rotation mentale en présentant le développement de cette habileté chez l'enfant.

2.1 Le rôle des gestes chez les élèves typiques

La littérature scientifique met en évidence trois rôles clés des gestes dans les processus de conceptualisation en mathématiques. Premièrement, les gestes peuvent représenter un objet mathématique abstrait. Deuxièmement, ils participent à la construction des concepts mathématiques et troisièmement les gestes permettent de communiquer à autrui la compréhension d'un concept. Ces trois éléments sont au coeur de ce premier chapitre.

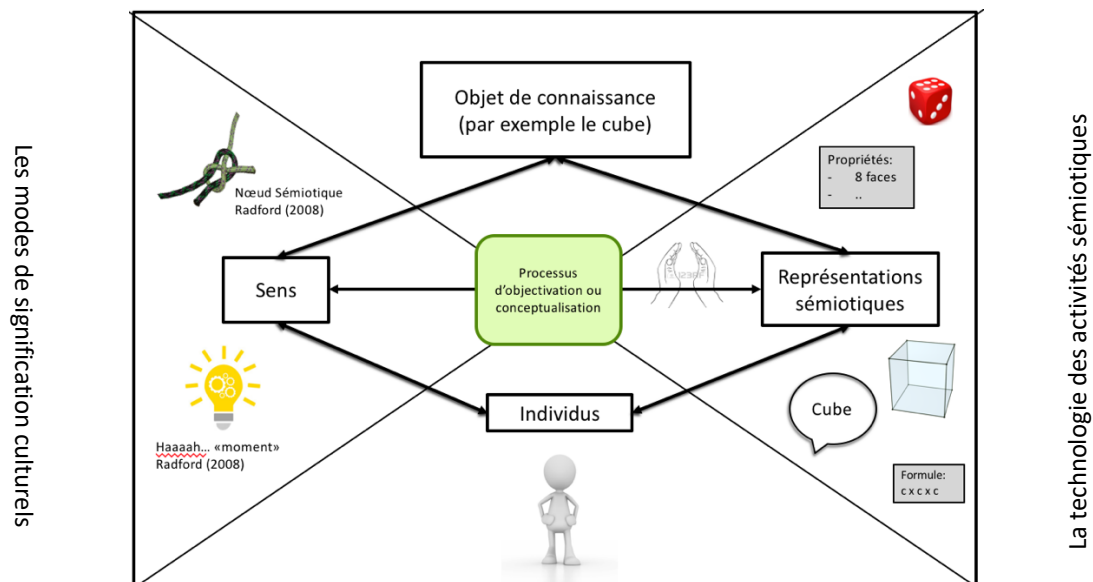
2.1.1 Gestes et conceptualisation des connaissances mathématiques

Les processus de conceptualisation en mathématiques sont analysés dans différents champs de recherche comme l'épistémologie, la sémiotique, l'anthropologie, la didactique des mathématiques et la psychologie (D'Amore, 2001; Duval, 2006; Presmeg et al., 2016; Vergnaud, 2011a). Définir ce que recouvre le terme « concept » dans le domaine des mathématiques se heurte à une réelle complexité, car l'appréhension conceptuelle des objets mathématiques, par essence abstraits, ne peut se faire qu'au moyen de représentations sémiotiques (D'Amore, 2001). Prémisses indispensables à la construction d'un concept, les moyens sémiotiques d'objectivation, par exemple les mots ou les expressions, les gestes, les écrits, les symboles mathématiques, les dessins ou les objets concrets (D'Amore, 2001; Presmeg et al., 2016; Arzarello et al., 2009) permettent de proposer une ou plusieurs représentation(s) d'un objet mathématique à l'élève. À titre d'exemple, un cube peut être représenté aussi bien par un objet, un dessin, une formule, un geste ou encore une description verbale. Selon Duval (1995), il ne peut y avoir de compréhension mathématique si l'on ne distingue pas un objet mathématique abstrait de sa représentation.

Si, dans les travaux de recherche actuels, les gestes sont reconnus comme partie intégrante des représentations sémiotiques possibles d'un objet mathématique, cela n'a pas toujours été le cas. Par le passé, la considération de la pensée comme une activité mentale pure et immatérielle prévalait et les gestes n'étaient pas considérés comme ayant une portée cognitive pertinente (Radford, 2009). Cette vision réductrice de l'apprentissage a été contredite par différents chercheurs du domaine psycho-développemental. Citons Piaget (1923) qui a mis en évidence l'importance des actions sensori-motrices dans les prémisses de l'intelligence ou encore Vygotsky (1993, 1997) qui a montré l'importance des actions dans le développement de la parole et de la pensée. Afin de représenter ces différents apports dans le processus de conceptualisation, Radford (2009) propose le modèle de « cognition sensible » (*sensuous cognition*).

Figure 1

Processus d'objectivation des connaissances : schéma adapté de Radford (2002)¹



Dans ce modèle (illustré dans la figure 1), la « texture de la pensée n'est pas réduite à celle d'idées impalpables, mais comporte une part discursive et gestuelle en lien avec les actions réalisées à l'aide d'objets propres à la culture » (Radford, 2009, p.111). Un objet mathématique abstrait peut être représenté et donc perçu par un individu uniquement au travers de moyens sémiotiques d'objectivation. Toutefois, la simple perception ou utilisation de ces moyens sémiotiques ne suffit pas à la conceptualisation, l'individu doit pouvoir y mettre du sens. Pour Radford (2002) l'individu et l'objet de connaissance ne sont pas directement reliés, car l'individu ne peut avoir accès à l'objet que par une représentation sémiotique.

¹ Schématisé à partir de "The Seen, the Spoken and the Written : A Semiotic Approach to the Problem of Objectification of Mathematical Knowledge", par Radford, L., 2002, *For the Learning of Mathematics*, 22(2), p.16

Selon Duval (2006), le processus de conceptualisation passe non seulement par l'acquisition d'une ou plusieurs représentations sémiotiques, mais aussi par des transformations au sein des registres de ces dernières. L'élève peut effectuer soit une transformation à l'intérieur d'un même registre (par exemple, un nouveau calcul dans le même système de représentation des nombres), soit la conversion d'une représentation produite dans un autre registre de représentation (par exemple, passer d'un geste ou d'une action à une formulation verbale). Dans cette deuxième configuration, la conceptualisation est la plus apparente, car les différents registres de représentations n'offrant pas les mêmes possibilités de traitement, l'élève devra choisir la représentation la plus appropriée (Duval, 2007). L'une des clés de la conceptualisation est donc de parvenir à coordonner ces différents registres pour passer de l'un à l'autre (Duval, 2006). À titre d'illustration, Vergnaud (2002) compare les différentes représentations requises par la construction d'un concept à un iceberg, la partie émergée représentant la mise en mots et les signes mathématiques utilisés pour représenter le concept, et la partie immergée (la plus grande partie) étant l'action et l'expérience nécessaires à sa construction. Afin d'explicitier ce processus, Vergnaud (1990, p.145) a édifié la théorie dite des « champs conceptuels » qui fournit un cadre et des principes dans l'étude de l'apprentissage des compétences complexes.

Selon cet auteur (op.cit), un concept est un triplet de trois ensembles :

- 1) l'ensemble des situations qui donnent du sens au concept (le référent),
- 2) l'ensemble des invariants sur lesquels repose l'opérationnalité des schèmes (le signifié),
- 3) l'ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (le signifiant).

À titre d'exemple, Vergnaud (2011b) propose une situation de dénombrement de cinq objets, dans laquelle l'élève dit « un, deux, trois, quatre, cinq » en pointant successivement les différents objets. Pour Vergnaud (2011b), la réussite de cet exercice mobilise au moins trois registres sémiotiques distincts : celui des gestes du doigt et de la main pour pointer les objets un à un, celui du regard qui suit les objets et celui de la parole pour prononcer les mots-nombres. La formulation correcte du mot-nombre « cinq » (comme désignation de la collection complète), à savoir le cardinal de la collection, permet d'observer l'acquisition du concept de cardinalité. S'il recommence à compter pour répondre à nouveau à la question du « combien », il sera possible d'observer en actes que l'élève n'a pas encore construit le concept (dans ce cas le mot cinq réfère à l'objet compté en cinquième et non pas au cardinal).

Ces exemples montrent l'importance des gestes dans la construction et la communication d'un concept mathématique, car « les enfants expriment par leur activité en situation des connaissances qu'ils sont incapables d'exprimer verbalement » (Vergnaud, 2011b, p.37). À ce propos, plusieurs auteurs montrent que l'expression multimodale des concepts par l'enfant permet à l'observateur d'appréhender le processus réflexif singulier de chaque élève (Kim et

al., 2011; Roth & Thom, 2009). À titre d'illustration, Radford suggère: « les élèves peignent leur propre expérience mathématique (...) qui peut être considérée comme une peinture vivante composée de signes dont le contenu exprime leur expérience mathématique incarnée (2002, p.20) ».

L'exemple du processus de conceptualisation « objet mathématique abstrait du cube » offre une synthèse des trois rôles des gestes dans la conceptualisation : lorsqu'un élève imite la forme d'un cube avec ses mains, il se réfère à la première fonction de représentation sémiotique. Lorsqu'il pointe ses faces ou ses arêtes, afin de les compter, il construit les « concepts-en-acte » de face ou d'arête. Lorsqu'il décrit à autrui les propriétés du cube qu'il a conceptualisées, ses gestes appuient la troisième fonction.

2.1.2 Nombre de gestes

La recherche atteste de l'utilisation des gestes à différents moments du processus de conceptualisation, distinguant les gestes qui sont dits « co-verbaux » de ceux dits « co-réflexifs ». Les gestes co-verbaux sont définis comme des mouvements spontanés ou dirigés des mains, des bras ou du corps, fournissant des informations souvent complémentaires au langage verbal de la personne (Church & Goldin-Meadow, 1986; Kita et al., 2017; McNeill, 1992). Si les premières recherches se sont centrées sur le rôle des gestes « co-verbaux », de plus en plus d'études s'intéressent aux « co-thought gestures », gestes co-réflexifs ou de pensée conjointe, produits pendant que l'individu pense et analyse une tâche, confirmant l'influence des gestes sur les processus cognitifs, les apprentissages, les représentations mentales et la résolution de problèmes. Parmi les premiers auteurs à catégoriser les gestes, Ekman et Friesen, (1969) proposent une typologie (tableau 1) qui distingue cinq comportements non verbaux produits, conjointement à la parole.

Tableau 1

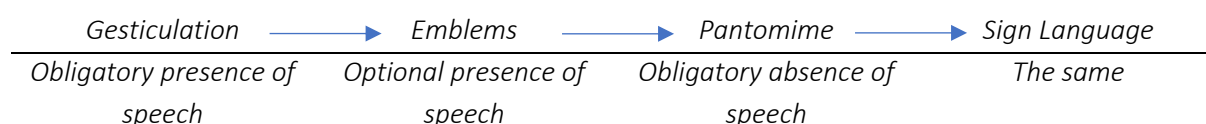
Les cinq types de comportements non verbaux

« Affect displays »	Ensemble de mouvements du visage qui transmettent des informations émotionnelles (le bonheur, la surprise, la peur, la tristesse, la colère, le dégoût et l'intérêt).
« Regulators »	Ensemble de comportements non verbaux liés à la conversation et à la stimulation de l'échange. Exemples : regard, sourire, hochement de tête pour dire mm-hmm.
« Adaptators »	Ensemble de gestes n'ayant pas pour but de communiquer, mais de se réguler soi-même, de gérer ses propres émotions. Exemples : toucher ses cheveux, toucher des objets.
« Emblems »	Ensemble de gestes conventionnels correspondant à un groupe ou à une culture particulière. Ces gestes ont une traduction verbale directe (peuvent être remplacé par un mot). Exemples : pouce levé pour dire « ok », index sur la bouche pour dire « silence ».
« Illustrators »	Ensemble de gestes directement liés à la parole, servant à illustrer ce qui se dit verbalement. Exemple : geste de pointage indiquant une direction.

La catégorie « *Illustrators* » s'intéresse en particulier aux gestes servant à illustrer ce qui se dit verbalement. Elle recouvre les gestes co-verbaux de McNeill (1992) ou les « gesticulations » de Kendon (1988) définies dans son continuum des gestes (figure 2). Dans ses recherches, ce dernier a observé que les « gesticulations » sont accompagnées de la parole, alors que les signes constituent une langue à part entière, non accompagnée par du langage verbal. Dans ces deux premiers modèles, les gestes facilitent aussi bien la compréhension de l'auditeur que la communication du locuteur ; toutefois les auteurs n'ont pas mis en évidence leur influence sur la pensée.

Figure 2

Continuum des gestes (Kendon, 1988)²



Plus récemment, des études (par exemple Alibali, 2005; Goldin-Meadow, 2003; Kita et al., 2017) révèlent que les gestes influencent également les représentations et les processus qui ont lieu dans l'esprit de celui qui les exécute. À titre d'exemple, même les interlocuteurs aveugles congénitaux utilisent des gestes pour communiquer entre eux, alors qu'ils n'en ont jamais vus (Iverson & Goldin-Meadow, 1998). Dans leur cas, les gestes ne sont pas destinés à mieux communiquer ou à mieux se faire comprendre, mais bien à soutenir et organiser leur discours et leur pensée (Gordon & Ramani, 2021). Ainsi, gestes, langage et pensée sont les différentes facettes d'un même processus mental (McNeill, 1992). À la question de savoir pourquoi les gestes favorisent les apprentissages, Goldin-Meadow (2015) répond que l'utilisation simultanée des deux modalités (gestes et discours) renforce les représentations que l'élève se fait d'un problème et l'aide à imaginer plus de solutions. Cette même constatation a été faite chez des élèves sourds qui, en plus de recourir au langage des signes pour communiquer leur réponse, font des gestes à une fréquence équivalente à celle des élèves typiques pour soutenir leur explication, par exemple d'une addition lacunaire (Goldin-Meadow et al., 2012). Ces éléments théoriques témoignent du rôle des gestes dans les processus cognitifs des élèves, et confirment la nécessité de mieux connaître les différents types de gestes utilisés ainsi que les significations qu'ils peuvent comporter.

² Reproduit à partir de "How gestures can become like words" par Kendon, A., 1988, In *Cross-cultural perspectives in nonverbal communication*, Hogrefe & Huber Publishers, p. 131-141.

2.1.3 Types de gestes

Il existe un large consensus dans la littérature scientifique sur la classification des gestes autour du modèle théorique de McNeill (1992) qui différencie quatre types de gestes.

1. *Les gestes iconiques*. Ces gestes comportent une relation étroite avec le contenu sémantique exprimé par la parole (par exemple dire « j'ai tourné la clé » et indiquer le sens de rotation avec la main). Ils illustrent des concepts ou des actions concrètes (McNeill, 2005) et se réfèrent ainsi à un objet, un événement ou une action particulière. À ce propos, Goldin-Meadow et al. (2001, p.516) donnent l'exemple d'une personne qui accompagne sa phrase « j'ai couru jusqu'en haut » en faisant un geste en forme de spirale avec l'index. Dans ce cas, c'est uniquement grâce au geste que l'interlocuteur pourra se représenter un escalier en spirale. La compréhension des gestes iconiques est ainsi étroitement liée au message verbal : un geste rotatif peut représenter une danseuse faisant des pirouettes, mais aussi le sens d'ouverture d'un pot de confiture, selon le contenu des propos (Goldin-Meadow, 2003).

2. *Les gestes métaphoriques*. Apparentés aux gestes iconiques, ils se réfèrent à un concept ou un objet abstrait (par exemple dire « c'est les mêmes » et ouvrir sa main droite et sa main gauche pour signifier l'égalité). Le fait qu'ils soient métaphoriques est lié au discours utilisant des métaphores ou à une conceptualisation de savoir.




3. *Les gestes de pointage*. Ils indiquent ou pointent des objets concrets ou abstraits (par exemple dire « je suis allé là-bas » et pointer du doigt pour montrer la direction). Le plus commun est l'index pointé dans une direction, même si ceux-ci peuvent aussi être effectués également avec la tête, le nez, le coude, les pieds ou en manipulant des objets comme un stylo ou la souris de l'ordinateur (McNeill, 2005).

4. *Les battements* sont des gestes qui rythment le discours sans signification propre (par exemple parler et produire des gestes de haut en bas ou de l'avant ou de l'arrière pour accentuer certains propos). Le geste n'a donc pas de signification en soi, mais permet de mettre l'accent sur une partie du discours. McNeill les compare à l'utilisation d'un surligneur dans un texte (2005, p.40).

Les trois premières catégories font référence à des gestes figuratifs (tableau 2), à savoir des gestes qui transmettent un contenu en décrivant par exemple : une action, un mouvement, une forme ou en indiquant un emplacement ou une trajectoire (Kita et al., 2017). Ceux-ci sont l'objet d'étude de la présente recherche.

Tableau 2

Les trois types de gestes figuratifs d'après McNeill (1992) : tableau schématisé par l'auteure

Gestes iconiques	Gestes métaphoriques	Gestes déictiques
		
La parole dit « <i>il faudrait la tourner comme ça</i> » Le geste explicite le « comme ça » en montrant la rotation qu'il faudrait effectuer	La parole dit « <i>c'est pareil</i> ». Le geste illustre le concept abstrait de « même, pareil » par l'ouverture de la main droite puis de la main gauche en signe d'égalité.	La parole dit « <i>ça</i> », le geste permet de préciser le « ça »

Finalement, d'après Kendon (2004), les différents types de gestes ont des caractéristiques s'apparentant à celles du langage verbal comme une sémantique propre et une syntaxe. Cet auteur parle d'ailleurs de « phrases gestuelles » qui se déclinent en trois phases : une première phase de préparation dans laquelle la main est positionnée dans l'espace où va se dérouler le geste ; une deuxième phase où le(s) geste(s) désiré(s) est/sont effectué(s) ; une troisième phase dite « de récupération », où l'individu va repositionner sa main et/ou son bras au repos.

Les différents types de gestes étant définis, la question de leur utilisation et de leur développement en lien avec le langage verbal se pose.

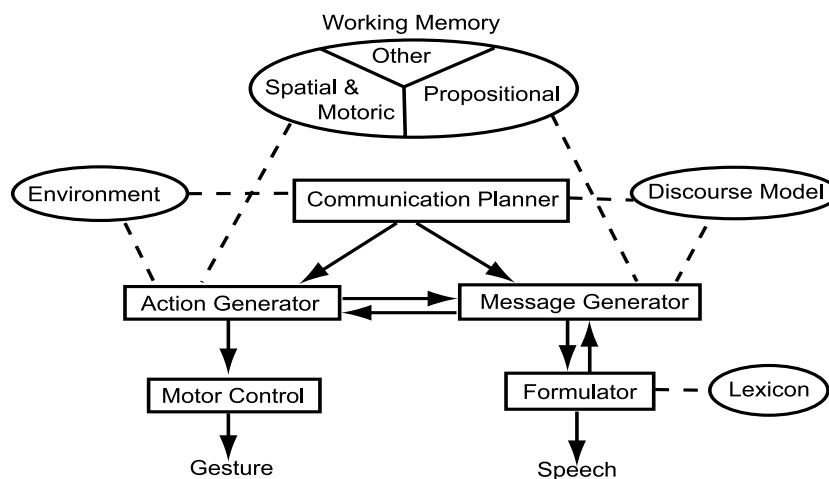
2.1.4 Utilisation de la double modalité (geste et discours)

En s'intéressant au développement du langage et des gestes dans la petite enfance, Bates et Dick (2002) montrent que les gestes apparaissent vers l'âge de 10 mois. À cet âge, Butcher et Goldin-Meadow (2000) relèvent que les enfants utilisent à la fois des gestes et des mots contenant du sens, mais communiquent soit avec l'une soit avec l'autre de ces modalités. C'est entre 14 et 23 mois que les combinaisons entre les gestes et le discours deviennent plus fréquentes (au moins 80% des communications de l'enfant contiennent un geste). Les gestes de pointage sont les premiers à apparaître en combinaison avec le discours : par exemple, l'enfant va montrer un chien et dire « chien ». De la troisième année jusqu'à la cinquième, McNeill (1992) observe que l'utilisation des gestes iconiques s'accroît significativement et Colletta (2009) souligne que les gestes métaphoriques et les battements apparaissent après l'âge de 5 ans. Dans le développement du langage verbal, plusieurs recherches s'accordent sur deux éléments : les gestes de pointage sont des facteurs prédictifs de l'apparition des mots (Capirci & Volterra, 2008; Capone & McGregor, 2004) et l'utilisation des gestes décroît au fur et à mesure que le langage verbal s'enrichit (Özçalışkan & Goldin-Meadow, 2009). Toutefois, même s'ils sont moins nombreux, les gestes continuent d'être réalisés par les enfants et les

adultes, en particulier lorsque les contenus conceptuels sont complexes (Trafton et al., 2006). En réponse à une question ou lors de la résolution d'une tâche, cette utilisation des gestes se fait d'après trois modalités différentes (Mastrogiuseppe & Lee, 2017; Stefanini et al., 2007). Les locuteurs produisent : soit des gestes unimodaux, appelés aussi « gestes seuls » qui correspondent aux réponses produites sous forme gestuelle uniquement ; soit des gestes et du discours en même temps nommée « production bimodale » ; soit enfin du « discours seul », qui contient uniquement des mots. En analysant le processus de production des gestes et du langage verbal, McNeill (1992) postule que les gestes et la parole ne constituent pas deux systèmes différents, mais bien un ensemble unifié. Selon ce constat, Kita et Özyürek (2003) ont mis en place un modèle (figure 3) expliquant les liens qui unissent les gestes et le langage.

Figure 3

Modèle de production des gestes et du langage verbal selon Kita et Özyürek (2003)³



Selon ce modèle, le planificateur de la communication (*communication planner*) décide quelle(s) modalité(s) d'expression est/sont la/les plus adaptée(s) à la situation de communication et actionne : soit le générateur d'action (pour produire des gestes ou des actions seuls) ; soit le générateur de parole (pour produire uniquement des mots) ; soit les deux. Lorsque la personne s'exprime de manière bimodale, le générateur de parole et le générateur d'actions communiquent entre eux en temps réel, ce qui permet au contenu gestuel d'être façonné en même temps que le message verbal. À titre d'exemple, Hostetter et Alibali (2019) ont mis en évidence que lorsque l'individu parle, le cortex moteur et pré-moteur s'activent, ce qui permet à la personne d'illustrer par des gestes le contenu de son discours. Pour témoigner de cette interdépendance, McNeil (1992) donne l'exemple d'une tâche dans laquelle des locuteurs racontent un dessin animé. Dans un premier temps, ceux-ci parlent dans

³ Tiré de : « What does cross-linguistic variation in semantic coordination of speech and gesture reveal? : Evidence for an interface representation of spatial thinking and speaking », par Kita, S., et Özyürek, A., 2003, *Journal of Memory and Language*, 48(1), p. 28.

un micro et entendent leur voix amplifiée dans les haut-parleurs. Dans un deuxième temps, l'amplification de leur voix dans les haut-parleurs est légèrement retardée (0.2 seconde), ils entendent donc leur voix en écho. À ce moment, les locuteurs augmentent significativement le nombre de gestes produits tout en conservant la cohérence des gestes avec les mots prononcés. Pour McNeill (1992), cet exemple démontre que lorsque l'individu rencontre des difficultés pour s'exprimer, le planificateur de communication augmente la production gestuelle pour garder une cohérence avec le langage verbal produit.

Les liens entre le discours et les gestes étant établis, le sous-chapitre suivant présente les fonctions générales des gestes.

2.1.5 Fonctions générales des gestes

La littérature met en évidence trois fonctions principales des gestes. La première étudiée est la récupération lexicale (*Lexical Retrieval hypothesis LR*) qui favorise la recherche lexicale des mots en mémoire (Krauss & Hadar, 1999). Cette fonction des gestes est observée dans divers contextes, par exemple lorsque la personne hésite, fait une pause et cherche le mot souhaité (Butterworth & Beattie, 1978). Elle est également sollicitée par les locuteurs qui ont des troubles du langage pour remplacer le mot désiré (Lavelli & Majorano, 2016). Ces deux exemples relatent que les gestes sont utilisés pour retrouver des mots en mémoire en particulier lorsque le locuteur ne parvient pas à exprimer verbalement ce qu'il souhaite.

La deuxième fonction des gestes (*Packaging hypothesis*) est de favoriser la conceptualisation et l'organisation de l'information (Alibali et al., 2000 ; Alibali, 2005). Plusieurs auteurs soulignent que plus le niveau de difficulté de la tâche augmente, plus les élèves produisent des gestes pour organiser leur discours (par exemple Healy & Fernandes, 2011; de Ruiter, 1998). Les gestes soutiennent ainsi le processus de raisonnement. À titre d'exemple, Kim et al. (2011) rapportent que lorsque l'enseignant demande à des élèves de prédire la trajectoire d'objets se mouvant dans l'espace, les enfants la désignent par des gestes sans parler et ce, même lorsque personne n'observe ce qu'ils font. Les gestes sont donc réalisés pour eux-mêmes et représentent une aide à la conceptualisation. D'autres études ont d'ailleurs observé que les gestes peuvent même introduire de nouvelles stratégies dans la résolution de problèmes, faisant ressortir par ce biais les connaissances implicites ou émergentes de l'enfant (Goldin-Meadow et al., 2009).

La troisième fonction générale des gestes est de réduire la charge cognitive notamment lors de tâches complexes et/ou qui sollicitent l'exécution de plusieurs étapes consécutives (Goldin-Meadow & Wagner, 2005). À ce sujet, Reynolds et Reeve (2002, p.457) ont montré que les gestes offrent la possibilité « d'exprimer une compréhension d'un concept qui n'a pas été entièrement élaboré à ce moment-là ». Par exemple, la terminologie mathématique non maîtrisée peut être compensée par l'utilisation de gestes (Bikner-Ahsbahr, 2004). L'étude de Ng et Sinclair (2015) appuie ces constats chez des élèves de l'école élémentaire qui utilisent les gestes pour donner des informations sur la symétrie avant de pouvoir les donner verbalement.

2.1.6 Fonctions liées au langage

En étudiant les relations entre le discours et les gestes lorsque ceux-ci sont produits de manière conjointe (productions bimodales), la littérature décline les relations sémantiques qui les unissent en trois catégories (Wagner et al., 2014) : redondantes, complémentaires et supplémentaires. Les gestes redondants dits « *equivalent* » chez Iverson et al. (2003) donnent une information similaire au travers des gestes et du langage verbal (par exemple dire « ça fait un U » et montrer la forme d'un U avec ses doigts). Les gestes complémentaires dits « *complementary* » chez Iverson et al. (2003) précisent le langage verbal, le référent reste généralement le même (dans le geste et le discours), mais le geste permet d'explicitier le discours (par exemple dire « je l'ai tournée comme ça » et faire un geste montrant le sens de rotation. Pour finir, les gestes peuvent fournir des informations supplémentaires absentes du langage verbal : elles sont dites « *supplementation* » chez Mastrogiuseppe et Lee (2017) ou « *supplementary* » chez Vandereet et al. (2011) (par exemple « j'ai faim » et montrer du pain). Dans cet exemple, c'est uniquement au travers du geste que l'auditeur comprend que le locuteur souhaite du pain, aucune indication discursive ne permettrait de l'identifier.

Que retenir ?

En l'état, la littérature met en évidence quatre aspects liés aux gestes qui sont représentés dans la figure 4 :

Premièrement, les gestes se développent chez tous les enfants en interaction avec le langage verbal et prédisent les grandes étapes du développement langagier (par exemple l'apparition des combinaisons de deux mots).

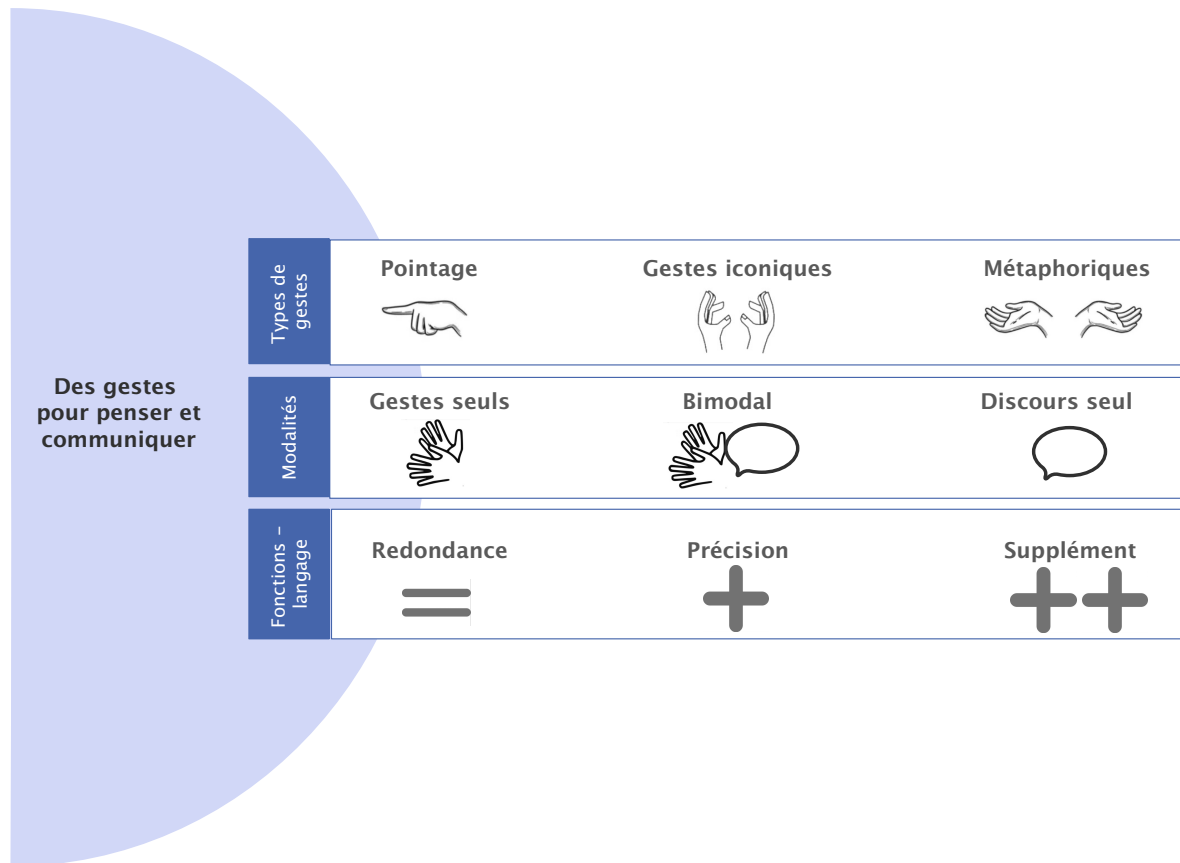
Deuxièmement, Il existe quatre types de gestes principaux étudiés chez les élèves typiques : les gestes iconiques, métaphoriques, déictiques (de pointage) et les battements. Les trois premiers sont dits « figuratifs », car ils transmettent un contenu (une signification), les battements n'ont pas de signification en soi, mais accentuent certains mots.

Troisièmement, les gestes favorisent la construction et l'organisation de la pensée tout comme l'expression de celle-ci. Pour communiquer, les individus utilisent donc parfois du discours seul (sans gestes), parfois des gestes et du discours (production bimodale) et parfois des gestes seuls.

Finalement, lorsque la relation sémantique entre les gestes et le discours est étudiée, trois fonctionnalités ressortent : les gestes peuvent être soit redondants, soit apporter une précision soit donner un supplément d'information absent du langage verbal.

Figure 4

*Construction du modèle théorique (types, modalités et fonctions liées au langage des gestes) :
figure schématisée par l'auteure*



2.1.7 Fonctions des gestes dans la cognition spatiale

Les chapitres précédents ont explicité les types, les modalités d'expression et les fonctions générales des gestes ; la présente section s'arrêtera sur leurs rôles spécifiques dans la construction et l'expression des habiletés spatiales. En effet, les gestes, plus nombreux lors d'échanges à contenu spatial, présentent quatre fonctions singulières (Kita et al., 2017). Selon ce modèle (figure 5) : les gestes activent, manipulent, organisent et explorent les représentations spatiales pour parler et penser. Ces quatre fonctions se basent sur l'une des propriétés des gestes, à savoir leur capacité à schématiser l'information (Alibali, 2005).

Figure 5

Les quatre fonctions des gestes dans le domaine spatial : figure schématisée par l'auteure



Selon Chu et Kita (2011), les quatre fonctions des gestes s'appliquent aussi bien aux gestes co-verbaux, aux gestes co-réflexifs ainsi qu'aux actions pratiques, car les actions pratiques et les gestes seraient générés par le même système, hypothèse qui a mené à la construction de la théorie du geste comme « cadre d'action simulée » dite « gestures as simulated action » (GSA) en anglais (Hostetter & Alibali, 2019 ; Kita & Özyürek, 2003). Selon Kita et al. (2017), en observant les actions de la personne tout comme en examinant ses gestes, il est possible de voir si l'individu les utilise pour activer des représentations spatiales, pour les manipuler, pour explorer des possibilités de réponses ou encore pour organiser son discours explicatif.

a. Le geste active des informations spatiales préexistantes et nouvelles

Cette première fonction du modèle illustre le fait que les gestes permettent à la fois à l'individu de maintenir l'activation de ses représentations spatiales (Wesp et al., 2001), pour éviter une dégradation lors de la prise de parole ou de l'élaboration de la pensée, mais également pour en activer de nouvelles qui vont à leur tour modifier la pensée et/ou la parole. À ce sujet, de Ruiter (1998) a observé, lorsqu'il demande à des conférenciers de décrire des images composées de formes et de lignes qui restent visibles pendant la description (groupe 1) ou qui s'effacent (groupe 2), que les orateurs placés dans la deuxième condition produisent plus de gestes que ceux placés dans la première. Cette différence suggère que les gestes permettent de maintenir les images complexes en mémoire, afin de pouvoir les décrire. Cette découverte est confirmée par Alibali et al. (2011) dans le problème dit des engrenages. Dans cette tâche, les personnes autorisées à faire des gestes utilisent des simulations de mouvements spatiaux, alors que ceux qui en sont empêchés s'appuient sur des stratégies logiques mémorisées qui n'activent pas de représentations spatiales. Ce même phénomène est aussi visible lorsque les gens parlent d'idées abstraites (Beaudoin-Ryan & Goldin-Meadow, 2014). Dans leur recherche, les élèves ont dû résoudre un dilemme moral. Répartis en trois groupes (G1 : encouragés à faire des gestes ; G2 : empêchés de faire des gestes ; G3 : autorisés à faire des gestes), les résultats montrent que les G1 et G3 expriment significativement plus de points de vue différents, alors que le G2 considère moins de perspectives différentes. Ces données mettent en exergue que les gestes augmentent la capacité à considérer différents points de vue en activant plus de représentations différentes.

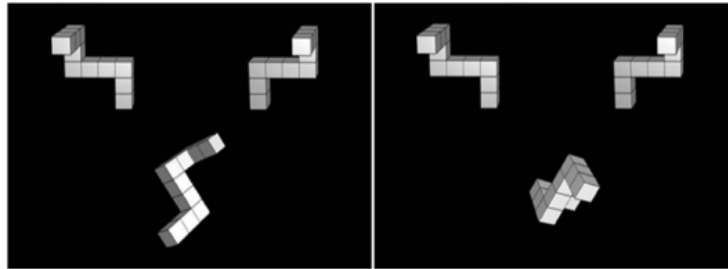
b. Le geste manipule les informations spatiales

Dans cette deuxième fonction, les gestes sont utilisés pour manipuler des informations spatiales, c'est-à-dire les réarranger, les tourner ou encore les inverser mentalement (Kita et al., 2017). Comme les personnes utilisent une action pour manipuler un objet, les gestes permettent de manipuler les représentations mentales ; toutefois le geste possède des facultés supplémentaires qui facilitent le transfert et la généralisation. Indépendant des contraintes physiques des objets, le geste peut ainsi facilement représenter des transformations spatiales difficilement réalisables avec un objet matériel (tourner une armoire dans un sens précis) (Goldin-Meadow, 2015). À ce sujet, Chu et Kita (2011) ont réalisé une expérience intéressante : ils ont demandé à trois groupes d'étudiants de résoudre deux séries de problèmes de rotation mentale sans parler (cf. figure 6), et ce sous trois conditions différentes : groupe 1 : encouragés à faire des gestes ; groupe 2 : empêchés de faire des gestes ; groupe 3 : aucune indication spécifique. Les résultats montrent que les étudiants du groupe 1 résolvent correctement un nombre significativement plus important de problèmes. Fait parlant, dans la deuxième phase de la recherche, tous les participants sont empêchés de faire des gestes, mais malgré cette nouvelle condition, les participants du groupe 1 résolvent à nouveau un nombre

significativement plus élevé de problèmes correctement. En plus de leur rôle immédiat, les gestes ont donc des effets durables sur la manipulation des informations spatiales.

Figure 6

Exercice de rotation mentale dans l'étude de Chu et Kita (2011)⁴



c. Le geste organise et groupe les informations spatiales

Dans la troisième fonction du modèle de Chu et Kita (2011), les gestes soutiennent l'organisation et le regroupement des informations spatiales pour les mobiliser dans d'autres opérations cognitives. Selon Kita (2000), en présence d'informations complexes à traiter ou à communiquer, l'énoncé seul est souvent insuffisant pour permettre l'expression de la pensée, le geste soutient alors le processus mental en découpant l'information en plus petites unités et en l'organisant pour faciliter son expression. Ainsi, le geste prend en charge une partie des informations à communiquer. Cette observation est constatée à la fois lorsque les individus font eux-mêmes des gestes, mais également lorsqu'ils observent les gestes d'autres personnes. En effet, chez l'Homme, les représentations cérébrales de la main et de la bouche se chevauchent sur de larges zones du réseau frontopariétal, là où se situent les neurones miroirs (Rizzolatti & Arbib, 1998). Cela a pour conséquence, par exemple, que l'aire de Broca (langage) s'active non seulement pendant la parole, mais aussi pendant l'exécution, l'imitation ou l'observation des mouvements. À titre d'illustration, Goldin-Meadow et al. (2009) mettent en évidence que si le discours et les gestes de l'enseignant transmettent une stratégie identique, alors les élèves obtiennent des résultats significativement meilleurs dans une équation mathématique ($2 + 3 + 7 = ___ + 7$). À l'inverse, si l'enseignant produit une explication verbale correcte, mais avec des gestes discordants ou erronés, la performance des élèves est impactée négativement. Ainsi, l'expression gestuelle d'une stratégie correcte, en plus du langage verbal, aide les participants à saisir les informations pertinentes du problème et à organiser le concept (par exemple d'addition lacunaire).

⁴ Tiré de: "The nature of gestures' beneficial role in spatial problem solving", par Chu, M., et Kita, S., 2011, *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(1), p.104.

Le geste explore différentes possibilités

Finalement, les gestes sont utiles pour explorer différentes possibilités, différentes stratégies en se centrant sur certaines informations cibles d'un problème ou d'une tâche. Cette fonction a été observée notamment dans les phénomènes de « *mismatches* » (non-concordance) entre le geste et la parole. Dans leur recherche, Church et Goldin-Meadow (1986) ont montré que les élèves produisent parfois la même explication dans le discours et dans les gestes, mais transmettent d'autres fois des procédures différentes dans les deux modalités (*mismatches*). Ces *mismatches* comportent une signification cognitive et représentent un moment de transition dans l'acquisition d'un concept. Lorsque les élèves sont en conflit cognitif, il est courant qu'ils produisent une explication dans le discours et une autre dans les gestes, car ils considèrent plusieurs hypothèses en même temps. D'après les recherches du domaine, les élèves produisant des *mismatches* sont ceux qui bénéficient le plus de la séquence d'apprentissage, car ils se trouvent prêts à acquérir un nouveau concept (Goldin-Meadow et al., 1993 ; Perry et al., 1988). L'exploration d'un plus grand nombre d'hypothèses au travers des gestes se retrouve dans l'étude de Kirk et Lewis (2016) pour lesquels le nombre de gestes est corrélé aux nombres d'idées différentes envisagées par l'individu. De manière intéressante, cette fonction a également été observée chez les élèves en difficulté dans la résolution d'un problème (Broaders et al., 2007) : lorsque le chercheur demande aux enfants qui ne parviennent pas à résoudre des additions de faire des gestes, ceux-ci proposent de nouvelles stratégies correctes exprimées uniquement dans les gestes. Leurs résultats témoignent de l'importance des gestes en tant que mode de transmission d'idées implicites ou en émergence qui ne peuvent s'exprimer ou transparaitre dans le langage verbal. La fonction d'exploration regroupe également les tentatives de réponses infructueuses produites par les locuteurs. En effet, Chu et Kita (2008) constatent que lors d'explications verbales, les individus arrêtent parfois leurs gestes en cours de réalisation, marquent une légère pause et commencent un nouveau geste, comme s'ils changeaient d'avis sur les informations qu'ils souhaitent exprimer. Ces interruptions de gestes sont particulièrement observées dans la résolution de problèmes complexes, montrant ainsi que les personnes utilisent les gestes pour tester différentes possibilités avant de les verbaliser. D'ailleurs, certaines idées testées dans les gestes ne sont finalement pas exprimées par le discours (Alibali et al., 2000).

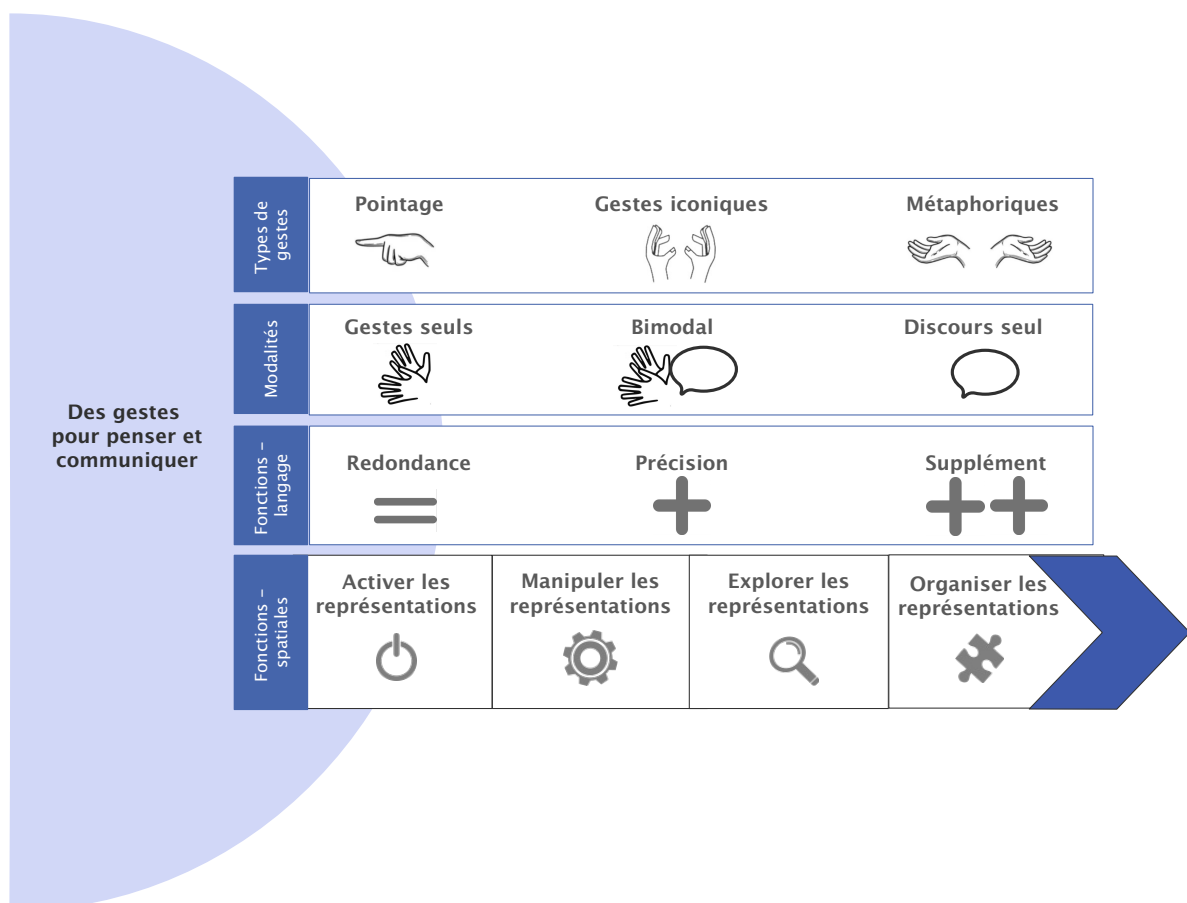
Pour clore ce sous-chapitre ciblant les quatre fonctions des gestes dans le traitement des représentations spatiales, il s'agit encore de mentionner les travaux de Kita et al. (2017) qui mettent en évidence que ces fonctions peuvent être utilisées simultanément par le locuteur. Par exemple, lorsqu'un orateur parle et fait des gestes à propos d'un objet qui n'est plus présent, ce geste peut à la fois activer la représentation mentale de l'objet et manipuler celui-ci pour faire, par exemple une rotation mentale.

2.1.8 Que retenir ?

La figure 7 résume les idées principales développées dans le chapitre sur le rôle des gestes. Elle fait apparaître les quatre types de gestes du modèle de McNeill (1992), les trois modalités d'expression possibles, les trois fonctions des gestes liées au discours et finalement les quatre fonctions liées à l'espace. Ces données résument le fait qu'un élève peut par exemple, activer une représentation spatiale grâce à un geste iconique qui combiné à la parole (modalité « bimodale ») permettra de préciser le discours. La temporalité (représentée par la flèche) est à prendre en compte pour les fonctions spatiales, car l'élève peut par exemple faire des gestes en premier lieu pour activer des représentations, puis pour les manipuler ou les explorer et finalement pour organiser son discours ou son raisonnement.

Figure 7

Modèle théorique (types, modalités, fonctions des gestes) : figure schématisée par l'auteure



Les types de gestes, les modalités d'expression et les fonctions des gestes ayant été établis, le chapitre suivant analysera leur rôle dans le développement de la rotation mentale chez les élèves typiques.

2.2 La rotation mentale chez les élèves typiques

L'habileté de rotation mentale fait partie de la cognition spatiale définie comme « la représentation interne ou cognitive de la structure, des entités et des relations de l'espace ; en d'autres termes, la réflexion et la reconstruction intériorisées de l'espace dans la pensée » (Hart & Moore, 1973, p.248). Les compétences spatiales sont à la fois essentielles à la vie de tous les jours (se déplacer dans et autour de sa maison, chercher un objet, aller au travail ou à l'école, etc.), et constituent de solides facteurs prédictifs de la réussite future des élèves dans des domaines divers comme en mathématiques, en sciences, en technologie et en ingénierie (Davis, 2015), et ce, quel que soit leur niveau de développement (Clements & Battista, 1992). Plusieurs recherches montrent leur rôle spécifique dans le développement de la cognition numérique, en particulier dans la compréhension du système positionnel des nombres et de la bande numérique (Crollen & Noël, 2017; Karagiannakis & Noël, 2020).

Selon Newcombe et al. (2013), il existe deux ensembles distincts d'aptitudes spatiales : d'un côté les processus inter-objets (interobject representations), appelés aussi « between objects » dans la classification d'Uttal et al. (2013) qui permettent le codage de l'emplacement des objets, l'orientation et la navigation dans un espace. De l'autre côté les processus intra-objet (intraobject representation) appelé « within object » chez Newcombe et al. (2013) dans lesquels l'individu prête attention à la structure de l'objet, par exemple en faisant des transformations ou des rotations mentales. Différentes recherches amènent des preuves que ces deux ensembles sont distincts par leurs bases neuronales différenciées (Wraga et al., 2005). À ce sujet, Hegarty et Waller (2004) ont révélé que certaines personnes réussissent dans des tâches de rotation mentale, alors qu'elles peuvent échouer dans les tâches de prise de perspective. Le choix d'analyser, dans cette thèse, uniquement la compétence de rotation mentale, se base sur cette distinction importante effectuée par Uttal et al. (2013). Considérée comme l'une des habiletés humaines les plus impressionnantes (Jacobs, 2003), la rotation mentale permet la gestion des processus internes complexes en visualisant des objets et en les transformant par la pensée.

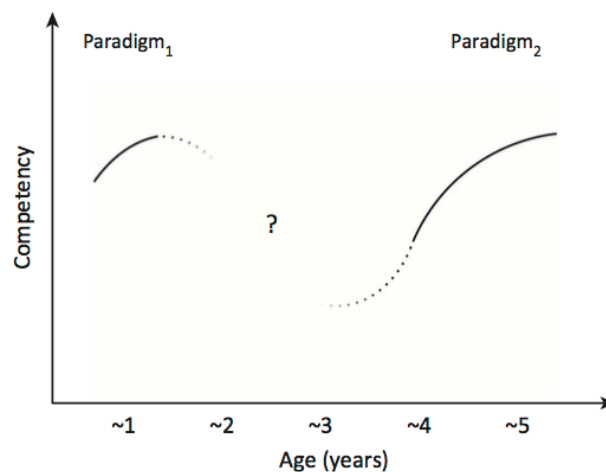
2.2.1 Développement de la rotation mentale chez l'enfant

Trois approches principales éclairent le développement de la rotation mentale. Tout d'abord, l'approche constructiviste de Piaget et Inhelder (1967) postule que les compétences spatiales se développent à partir des actions que l'apprenant exerce sur l'environnement physique. Puis l'approche vygotskienne considère qu'elles se développent grâce aux interactions sociales, à l'apport linguistique et à l'utilisation des outils culturels. Finalement, l'approche nativiste relève avant tout la part innée des compétences de rotation mentale chez le bébé. Réunissant les idées principales de ces trois approches, Newcombe et Huttenlocher (2007) ont élaboré la théorie de la combinaison adaptative pour expliquer l'origine et le développement de la cognition spatiale. Cette théorie postule que les bébés possèdent des compétences innées de départ, mais qu'ils réalisent ensuite des progrès par l'exploration, l'expérience visuelle et

manuelle ainsi que par les interactions sociales de l'enfant avec son entourage. À ce propos, Frick et al. (2014) relèvent, dans leur synthèse de littérature sur le développement des capacités de rotation mentale chez les enfants, que les bébés possèdent des capacités innées sophistiquées de rotation mentale, qui s'estompent ensuite jusqu'à ne plus être observables à l'âge de 4 ans chez de nombreux enfants (Krüger & Krist, 2009). Ce constat a amené ces auteurs à envisager une courbe d'apprentissage de la rotation mentale sous forme de U, laquelle illustre les capacités précoces des bébés dans cette compétence, leur estompage temporaire, puis leur réacquisition ultérieure.

Figure 8

Illustration hypothétique d'une courbe en U du développement des capacités de rotation mentale chez les enfants⁵



Perner et Roessler (2012) expliquent le point d'interrogation illustré dans la figure 8 en soulignant que les réponses correctes des bébés sont observées dans un contexte de réponses spontanées et immédiates, ce qui suggère que leurs connaissances implicites ne sont disponibles que très brièvement après la présentation du stimulus. Lorsque l'enfant plus âgé doit réaliser et expliciter une rotation mentale, ses connaissances initiales sont trop éphémères pour permettre de guider ses réponses. L'enfant devra ainsi se réapproprier ses capacités de rotation mentale par la manipulation des objets réels, afin de pouvoir effectuer des tâches plus complexes (Funk et al., 2005). Needham et al. (2002) corroborent cette hypothèse en montrant que l'exploration manuelle est particulièrement bénéfique pour les jeunes enfants (3-4 ans), car elle conduit à des représentations mentales de l'objet et de ses mouvements rotatifs plus stables dans le temps.

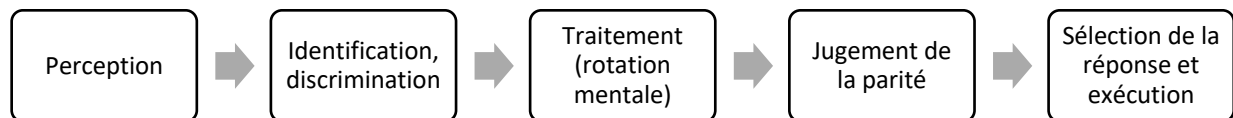
⁵ Tiré de "Development of mental transformation abilities", par Frick, A., Möhring, W., & Newcombe, N. S. (2014), *Trends in Cognitive Sciences*, 18(10), p.538.

2.2.2 Traitement cognitif de la rotation mentale

Afin d'analyser le traitement cognitif de la rotation mentale, les chercheurs présentent généralement aux enfants deux stimuli (des formes sur papier ou sur ordinateur) dessinés en deux ou en trois dimensions. Le premier stimulus est présenté en position classique (souvent à la verticale), alors que le second est tourné d'un certain nombre de degrés par rapport à la verticale. L'individu doit réaliser une rotation mentale pour décider si le deuxième stimulus est identique ou différent du premier (par exemple en miroir). Shepard et Cooper (1982), puis plus récemment Heil et Rolke (2002) ont distingué cinq étapes de traitement cognitif dans la rotation mentale, présentées dans la figure 9 : la perception, la discrimination, le traitement, le jugement de la parité et la réponse.

Figure 9

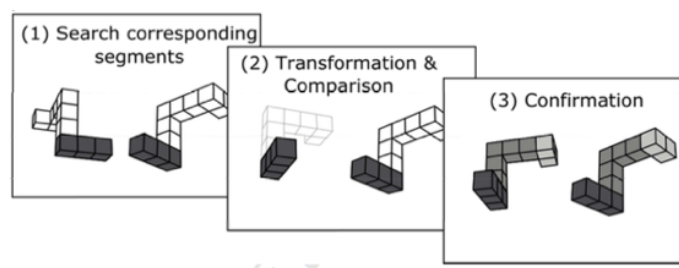
Cinq étapes du traitement de la rotation mentale : figure schématisée par l'auteure



Durant les deux premières étapes, phase appelée « encodage » par Lamm et al. (2007), la personne voit apparaître (perçoit) le stimulus et en reconnaît les contours et son orientation. L'individu fait ensuite pivoter le stimulus grâce à ses représentations mentales et compare le nouveau stimulus obtenu à la référence affichée pour juger de leur parité ou de leur disparité. Il va ensuite formuler sa réponse. Dans leur recherche, Zander et al. (2016) illustrent de manière visuelle les trois étapes au centre du processus de rotation mentale (cf. figure 10), à savoir l'identification de (deux) segments correspondant l'un à l'autre puis la rotation mentale et finalement le jugement de parité qui va confirmer ou infirmer leur similitude.

Figure 10

Identification, traitement et jugement de parité dans la rotation mentale (Zander et al., 2016)⁶



⁶ Tiré de "Rotate it!—Effects of touch-based gestures on elementary school students' solving of mental rotation tasks", par Zander, S., Wetzel, S., et Bertel, S., 2016, *Computers & Education*, 103, p. 18

Lors de l'analyse du traitement cognitif de la rotation mentale, Chu et Kita (2008) ont repéré trois étapes distinctes dans l'acquisition de cette compétence (cf. figure 11). Dans le premier niveau, appelé « niveau de base », l'individu réalise de vraies rotations sur des objets. Les auteurs relèvent qu'à ce stade, l'individu est restreint par les contraintes physiques des formes à manipuler ainsi que par les limitations des mouvements possibles de la main. Le deuxième niveau (intermédiaire) est identifié lorsque les individus effectuent des gestes pour simuler les mouvements de rotation mentale. À ce stade, seules les limitations des mouvements de la main persistent, les contraintes physiques ne sont plus un obstacle à la rotation. Dans ce niveau, Chu et Kita (2008) ont constaté que deux types de gestes sont alors utilisés : les gestes statiques qui représentent l'objet, ses caractéristiques ou sa saisie par la main et qui apparaissent dans un premier temps ; puis les gestes dynamiques qui simulent le mouvement ou la direction de l'objet. Finalement, dans le troisième niveau dit « avancé » les individus parviennent à effectuer la rotation uniquement dans la tête. À ce niveau, il n'y a plus de limitations physiques ou anatomiques, car le traitement visuo-spatial devient internalisé.

Figure 11

Trois niveaux de développement de l'habileté de rotation mentale : figure schématisée par l'auteure



Chu et Kita (2008) ont observé le passage progressif entre ces trois stades au cours de quatre expériences menées chez des adultes. Au fur et à mesure des essais, les individus font moins de gestes et leur discours intègre les éléments de la rotation mentale. Ce continuum se retrouve dans plusieurs autres études comme celle de Funk et al. (2005) qui montre que les effets de l'action sur la cognition diminuent progressivement au cours du développement. Wexler et al. (1998) ont également constaté que l'influence de la rotation manuelle sur la rotation mentale est apparente lors de la première moitié de l'expérience, mais plus dans la seconde lorsque la rotation mentale s'internalise.

2.2.3 Effets du système moteur dans la rotation mentale

Selon Lamm et al. (2007), lors de la rotation mentale, le cortex prémoteur dorsolatéral qui correspond à l'attention visuo-spatiale et à l'anticipation du mouvement est activé. Wohlschlager et Wohlschlager (1998) et Zacks (2008) confirment que les rotations manuelles et les rotations mentales partagent des processus communs au niveau de leur traitement mental et montrent les zones motrices du cerveau qui sont activées lors des rotations mentales, en particulier l'aire motrice supérieure qui est associée au contrôle moteur, mais également à la simulation motrice. Cela signifie que les personnes qui font tourner mentalement une forme réalisent une simulation de la rotation réelle de la forme (Ping et al., 2011). Le système moteur est ainsi également impliqué dans l'acquisition et l'entraînement de l'habileté de rotation mentale. Aussi est-il permis d'affirmer que la rotation mentale dépend des mêmes processus visuo-moteurs que ceux simulés lors d'une rotation réelle.

Un autre élément confirme que lors d'une rotation mentale, la personne simule la rotation réelle : le temps mis par le sujet pour décider si les stimuli perçus sont similaires ou différents (par exemple en miroir) augmente de manière proportionnelle à l'angle de rotation. Plus l'angle de rotation est grand, plus la personne met du temps pour effectuer la rotation mentale (Heil & Rolke, 2002). Ces observations laissent supposer que le stimulus est mentalement « tourné » par l'individu (comme dans une rotation réelle) de manière continue pour l'aligner avec l'orientation d'origine (représentée en mémoire). Ainsi comme dans une rotation réelle, plus l'angle de rotation est élevé, plus l'engagement temporel de la rotation mentale est élevé.

2.2.4 Effets des gestes et du discours dans la rotation mentale

Afin de formuler sa réponse lors de la dernière étape du modèle de Heil et Rolke (2002), l'élève va généralement employer le langage verbal. Pourtant, selon Newcombe et al. (2013), le langage n'est pas toujours la forme la plus adaptée pour exprimer des connaissances spatiales, car le langage décrit les relations spatiales de manière linéaire et sérielle, alors que les connaissances spatiales sont multiples et présentes de manière simultanée dans la pensée. De plus, le langage spatial se limite à un lexique simple et peu étendu en termes de mots. Par exemple, afin de désigner l'emplacement ou la direction des objets, seule une centaine de prépositions spatiales sont disponibles en langue française, une différence significative par rapport aux dizaines de milliers de mots disponibles pour désigner et caractériser des objets (Landau & Jackendoff, 1993). Selon Hostetter et al. (2007, p.316), lorsque l'individu décrit une représentation spatiale « le système cognitif doit exercer un effort mental sur deux fronts : l'effort (...) pour la production de la parole et l'effort requis pour analyser les images mentales dans des parties spécifiques codées lors de la conceptualisation ». L'une des façons de gérer cette double demande est de faire des gestes, car ceux-ci permettent d'exprimer une partie des représentations spatiales plus aisément. À titre d'exemple, Elia et al. (2014) montrent que

même de jeunes enfants, ceux-ci utilisent spontanément des gestes tout au long d'une activité de construction, afin de rendre apparents les aspects spatiaux.

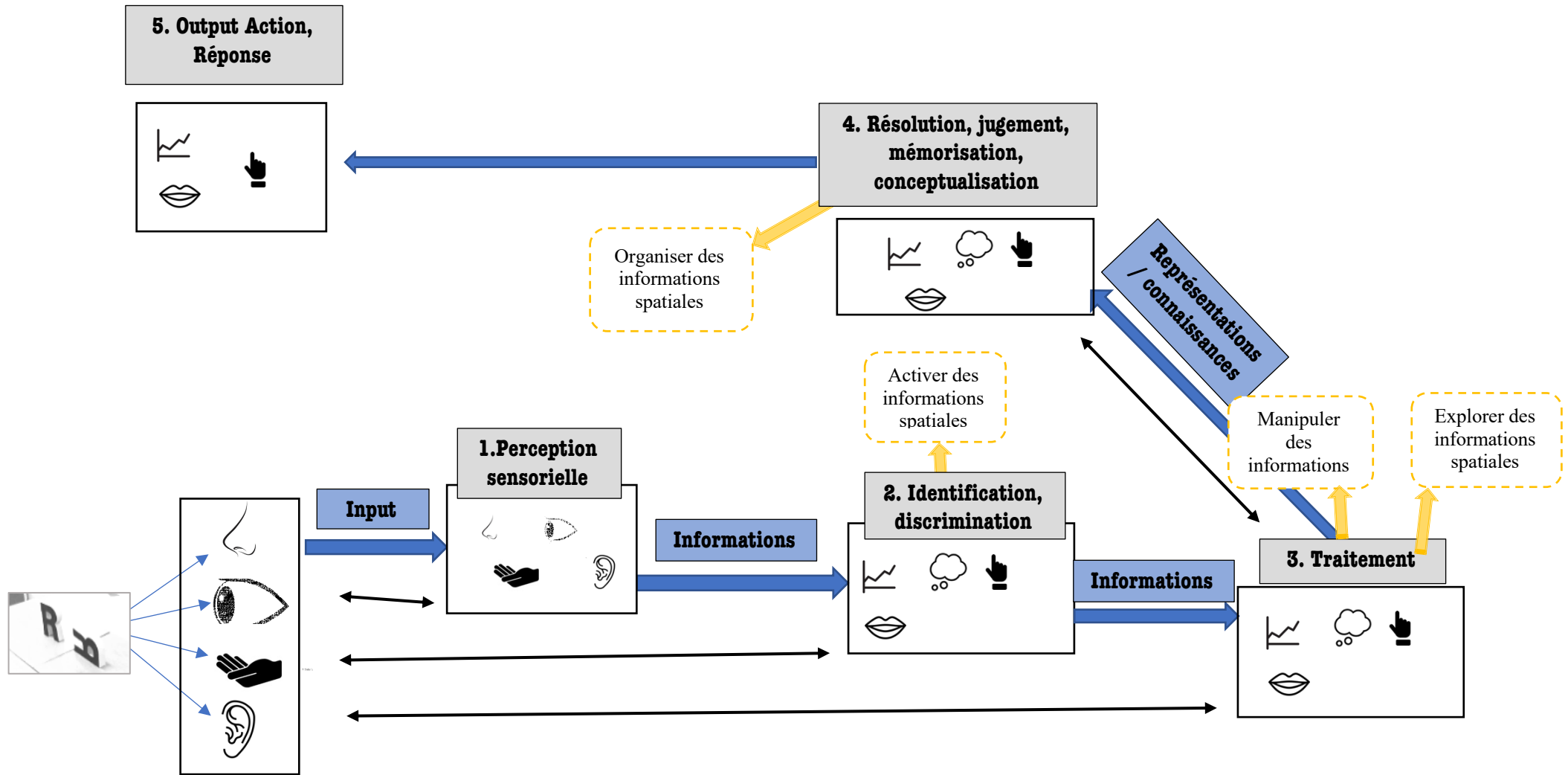
2.2.5 Que retenir ?

La figure 12 propose une synthèse du cadre théorique en intégrant le rôle des gestes dans les cinq grandes étapes du traitement cognitif de la rotation mentale.

Dans la première étape du schéma ci-dessus, les stimuli (ici les deux lettres R) vont être perçus principalement par la vue, le toucher et le discours de l'expérimentateur. Cet *input* est transmis aux récepteurs sensoriels qui vont ensuite envoyer l'information reçue au cortex pour qu'elle soit identifiée, reconnue et discriminée. Dans le cas de la rotation mentale, l'élève va reconnaître qu'il y a deux formes placées dans deux orientations différentes. À ce moment, il va devoir activer des représentations en mémoire. Par exemple, s'il connaît la lettre R, il va pouvoir identifier la forme qui lui est présentée. Il peut également se servir d'autres moyens que le langage pour identifier et discriminer les formes, en utilisant des gestes qui imitent la forme de l'objet. S'il a besoin d'informations supplémentaires pour pouvoir identifier correctement le stimulus, il peut à ce moment-là retourner prendre des informations sur l'objet (en le touchant, en le faisant pivoter). C'est le modèle de traitement avec des boucles de retour décrit par Thorpe (1998). La troisième étape est celle du traitement des informations ici la simulation de la rotation mentale. À ce moment-là, l'élève peut recourir à différents moyens sémiotiques comme le langage ou les gestes pour manipuler spatialement la forme et pour explorer différentes orientations ou rotations possibles. Cette étape de traitement va lui permettre de se faire une représentation mentale de l'objet tourné pour déterminer s'il est identique ou différent de l'autre stimulus. Les gestes lui permettront d'organiser principalement son discours, afin de transmettre la réponse. Bien entendu, ce processus de traitement est très rapide et les étapes se réalisent presque simultanément avec des allers et retours entre le stimulus et les solutions simulées. Mais il est intéressant de connaître ces différentes étapes et ces processus dans le traitement de l'information, dans le but de construire des tâches qui tiennent compte de ces différents temps et d'avoir des outils pour les analyser.

Figure 12

Traitement de l'information dans une tâche de rotation mentale et le rôle des gestes dans celui-ci : figure schématisée par l'auteure



Pour conclure : au cours des derniers sous-chapitres, deux concepts principaux ont été analysés ; premièrement le rôle des gestes, du langage et du système moteur dans les processus de conceptualisation et deuxièmement le développement de l'habileté de rotation mentale. Ces deux parties ont permis d'identifier des points de convergence. Toutefois si l'on combine les deux concepts clés (rôle des gestes, du langage et du système moteur dans la rotation mentale) le manque de synthèse de recherche est apparent. Aussi, le besoin d'une revue systématique de littérature se dessine-t-il de manière à formuler des hypothèses sur l'utilisation des gestes dans une tâche de rotation mentale chez des élèves de 4 à 18 ans.

2.3 Revue systématique de littérature : le rôle des gestes dans la rotation mentale chez les élèves typiques

Ce chapitre présente la revue systématique menée sur le rôle des gestes dans l'acquisition et l'entraînement de la rotation mentale chez des élèves typiques de 4 à 18 ans. La revue vise à répondre à trois questions de recherche.

- Comment les gestes et le discours sont-ils utilisés dans l'expression de l'habileté de rotation mentale chez les élèves âgés de 4 à 18 ans ?
- Quelles sont les modalités d'intervention favorisant l'acquisition de la rotation mentale ?
- Quels sont les liens entre la rotation mentale, l'utilisation de gestes et les capacités motrices ?

2.3.1 Méthode

La méthode adopte les recommandations *PRISMA statement* (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Moher et al., 2009). L'équation de recherche introduite dans les bases de données est la suivante : **Gesture*** OR co-thought gesture* OR co-speech gesture* OR iconic gesture*) AND (**spatial cognition** OR spatial rotation OR mental rotation OR spatial concept* OR mental simulation) AND (child* OR pupil* OR kid* OR boy OR girl OR student*) NOT brain NOT psychic NOT hemispheric NOT neurophysiological NOT hippocamp* NOT parietal NOT bilateral). Les mots-clés ont été identifiés dans le titre, le résumé et les mots-clés des articles recensés dans Web of Science et dans EBSCOhost. La recherche a été effectuée en juillet 2021 et recense tous les articles publiés jusqu'en 2021. La recherche dans Web of Science, banque de données « Web of Science Core Collection », a permis d'identifier 97 articles. La seconde recherche sur EBSCOhost, bases de données ERIC, Medline, Child Development & Adolescent Studies a permis de trouver 200 articles. Seuls les articles publiés dans des revues « peer review » ont été retenus. Parmi ces 297 articles, 18 doublons ont été supprimés, 279 articles ont été retenus.

Une première sélection sur la base du titre et du résumé a été réalisée en appliquant les trois premiers critères du tableau 3 : a. la recherche mesure soit le nombre de gestes spontanés, les

types de gestes ou les fonctions des gestes ; b. la recherche mesure les habiletés de rotation mentale ; c. la population de l'étude est âgée de 4 à 18 ans. La seconde sélection en lecture intégrale a pris en compte les trois premiers critères et y a inclus un quatrième concernant la méthodologie de l'étude. Le critère ajouté stipule que le design doit être expérimental (excluant les revues de littérature). L'équation de recherche entrée dans les deux moteurs de recherche avait déjà permis d'exclure un grand nombre d'articles grâce au « NOT ». Le mot « NOT » a été ajouté, car lors d'une première recherche exploratoire, il était apparu qu'un très grand nombre d'articles trouvés dans les bases de données concernait des analyses en neurosciences décrivant uniquement les zones du cerveau activées lors de tâches spatiales. Cet aspect ne faisant pas partie des objectifs de cette revue, il a été exclu dès le départ, c'est pourquoi il n'est pas mentionné dans les critères de sélection ci-dessous. Le critère ayant exclu le plus d'articles est le second. En effet, peu d'études portent spécifiquement sur l'habileté de rotation mentale, un grand nombre s'intéressent aux habiletés spatiales en général ou au repérage dans l'espace (objet ou carte). Le critère 3 a également exclu de nombreuses études, car bien qu'ayant précisé dans l'équation de recherche que l'étude empirique devait avoir été menée avec des enfants, un très grand nombre de recherches incluait un échantillon adulte.

Tableau 3

Critères d'inclusion et d'exclusion des articles de la revue « gestes et rotation mentale »

Première sélection	Variable dépendante	La recherche mesure « le nombre de gestes spontanés », « les types de gestes » ou « les fonctions des gestes » produits par le participant (critère 1) <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : gestes mesurés suite à une intervention (AAC*), langage des signes, gestes de contacts, tout autre type de gestes, observation des gestes d'un enseignant ou d'un expérimentateur ($n = 40$) La recherche mesure les habiletés de rotation mentale (critère 2) <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion (habileté d'orientation spatiale, carte mentale, description du fonctionnement spatial des différentes aires du cerveau) ($n = 140$)
	Population	Les participants de l'étude sont des enfants de 4-18 ans typiques (critère 3) <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : déficience intellectuelle, autisme, troubles du langage, troubles visuospatiaux, schizophrénie, tout autre trouble. Adultes typiques ($n = 87$)
Deuxième sélection	Design	L'article présente une étude empirique : comparaison de groupes, étude de cas, étude exploratoire, étude qualitative, étude longitudinale (critère 4) <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : revue de littérature ($n = 2$) - Exclusion : données manquantes ($n = 1$)

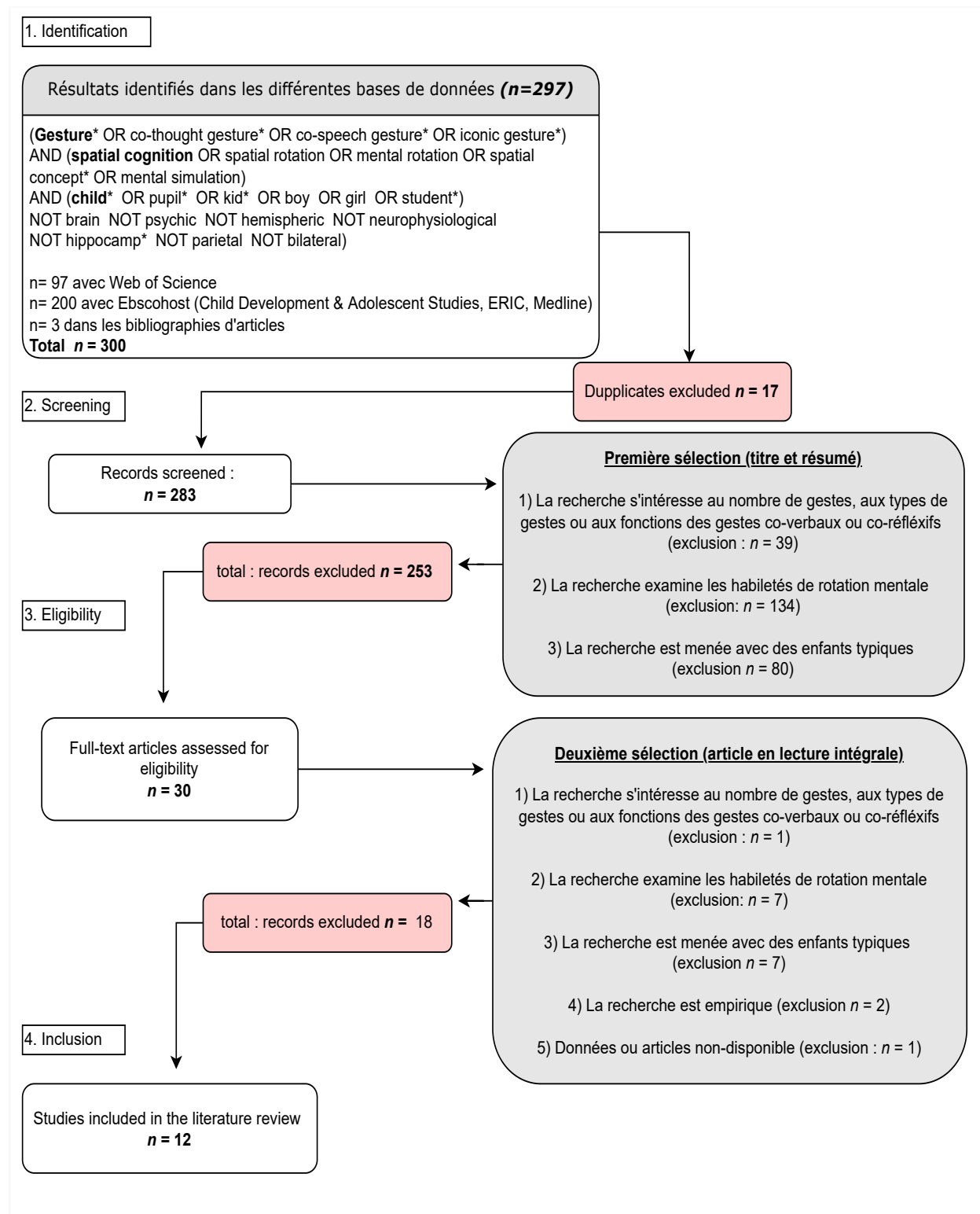
Note : *AAC = Augmentative et Alternative Communication

À la fin de la première sélection, 253 études ont été supprimées à partir du titre et du résumé des articles (le détail est explicité dans le tableau 3 de critères et dans le flowchart figure 13). Trente articles ont été conservés pour la deuxième étape de sélection. Sur les 30 articles, 18 ont été supprimés lors de la lecture intégrale des textes et 12 articles ont été inclus dans la revue de littérature. L'une des études (Wakefield, Foley, et al., 2019) présente les résultats de

deux échantillons différents avec des conditions d'entraînement légèrement différentes également, ils seront donc présentés séparément dans les tableaux.

Figure 13

Flowchart de sélection des articles pour la revue « gestes et rotation mentale »



Procédure de codage des articles

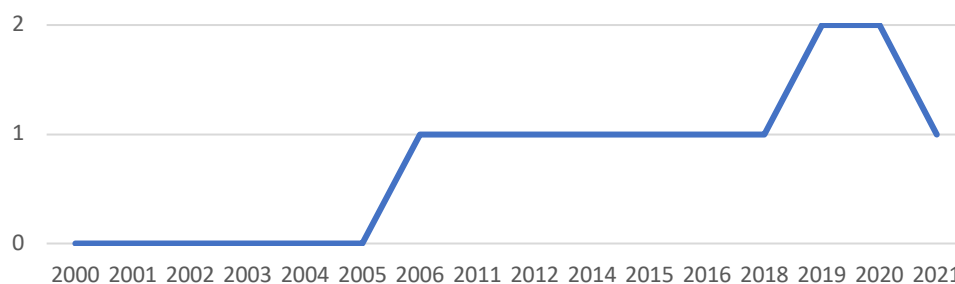
Les articles ont été codés de façon descriptive à l'aide d'une feuille Excel prenant en considération (1) l'auteur et le pays dans lequel l'étude s'est déroulée (2) les participants (nombre, âge, genre) (3) le but de la recherche (4) le design ainsi que (5) la (les) tâche(s) soumise(s) aux participants. Finalement (6) les résultats et les interprétations proposées par les auteurs. À la suite de ce codage, trois types d'études ont pu être mises en évidence : les études ayant proposé une intervention (5/12), les études avec un groupe expérimental sans intervention (à l'intérieur duquel plusieurs groupes ont parfois été différenciés) (6/12) et une étude à cas unique.

2.3.2 Présentation des études

Bien que 12 articles aient été sélectionnés, ceux-ci font état de 13 résultats menés auprès de 13 échantillons différents, l'étude de Wakefield, Foley, et al. (2019) comportant deux échantillons différents. Le total de l'analyse a donc retenu les résultats issus de 13 échantillons.

Figure 14

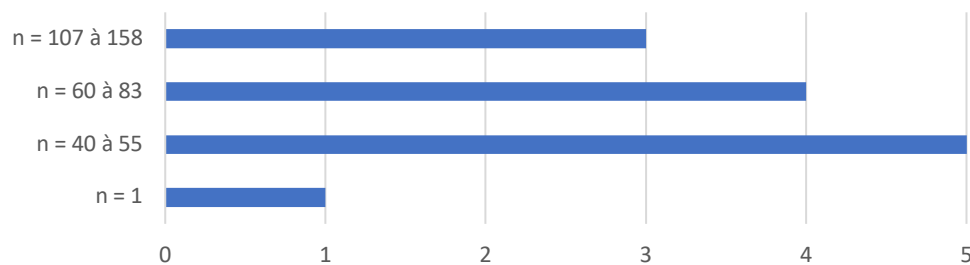
Années de publication des études de la revue « gestes et rotation mentale »



Années de publication : Douze études sur treize ont été publiées ces 10 dernières années (figure 14) et parmi elles, sept études ont été publiées ces 5 dernières années. L'étude la moins récente date de 2006, ce qui témoigne de l'intérêt scientifique croissant pour cette thématique actuelle.

Figure 15

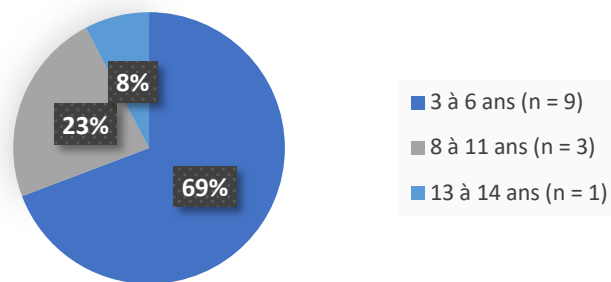
Taille de l'échantillon de la revue « gestes et rotation mentale »



Taille de l'échantillon : La taille des 13 échantillons, illustrée dans la figure 15, se situe entre 1 participant (Elia et al., 2014) et 158 participants (Goldin-Meadow, Levine et al., 2012). Le total de l'échantillon est de 927 enfants. Cinq études comprennent un échantillon de 40-55 enfants (Clingan-Siverly et al., 2021; Jansen et al., 2015; Miller et al., 2020; Zander et al., 2016, 2020). Quatre études de 60-83 participants (Ehrlich et al., 2006; Jansen & Kellner, 2015; Ping et al., 2011; Wakefield, Foley et al., 2019) et trois études ont un échantillon plus grand que 100, respectivement 107 chez Wakefield, Foley et al. (2019), 114 chez Levine et al. (2018) et 158 chez Goldin-Meadow, Levine et al. (2012).

Figure 16

Âges des échantillons de la revue « gestes et rotation mentale »



Âges des échantillons : La figure 16 montre que les élèves typiques inclus dans les études ont un âge situé entre 3 et 14 ans. Neuf échantillons (69%) sur les 13 identifiés ont entre 3 et 6 ans (Clingan-Siverly et al., 2021; Ehrlich et al., 2006; Elia et al., 2014; Goldin-Meadow, Levine et al., 2012; Levine et al., 2018; Miller et al., 2020; Ping et al., 2011; Wakefield, Foley et al., 2019 (2x)). Trois études (23%) ont des échantillons de 8-11 ans (Jansen et al., 2015; Jansen & Kellner, 2015; Zander et al., 2016) et une étude (8%) comprend des enfants de 13-14 ans (Zander et al., 2020). L'une des études a comparé les performances d'enfants typiques aux performances d'enfants prématurés (Clingan-Siverly et al., 2021). Dans le cadre de cette revue, seuls les résultats concernant les enfants typiques ont été pris en considération.

Design : Six études sur les 13 ont un design de type « pré-test, intervention, post-test » afin de comparer les effets de différentes conditions d’entraînement sur la compétence de rotation mentale (Ehrlich et al., 2006; Goldin-Meadow, Levine et al., 2012; Levine et al., 2018; Ping et al., 2011; Wakefield, Foley et al., 2019 (2 études)). Toutes les études ont utilisé le pré-test pour créer des groupes d’intervention similaires testant différentes conditions. Parmi ces six études, trois ont utilisé un pré-test, une intervention et un seul post-test immédiatement après l’intervention, sans *follow-up* (Ehrlich et al., 2006; Goldin-Meadow, Levine et al., 2012; Ping et al., 2011), alors que les trois autres ont ajouté un post-test différé afin de mesurer les effets de l’intervention à long terme (Levine et al., 2018 ; Wakefield, Foley et al., 2019).

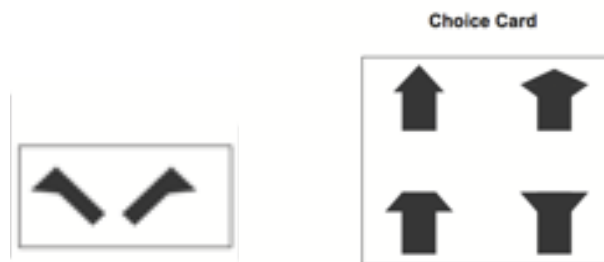
Les six autres études ont un groupe expérimental, afin de comparer différentes variables, mais sans effectuer d’intervention. Zander et al. (2016) et Zander et al. (2020) ont par exemple formé deux groupes dans chacune des trois classes interrogées. Les groupes A ont résolu une première tâche de rotation mentale sur papier, puis une seconde sur un I-Pad qui permet la manipulation des formes. Les groupes B ont commencé sur l’IPad puis sur papier-crayon. L’efficacité des deux approches (papier-crayon et application) sur la compétence de rotation mentale, la motivation et l’engagement ont été mesurés. Jansen et al. (2015) ont comparé la performance des filles et des garçons, ainsi que l’influence de la motricité dans un groupe expérimental. Jansen et Kellner (2015) questionnent le fait que la rotation motrice et la rotation mentale partagent des processus cognitifs communs. Clingan-Siverly et al. (2021) mesurent les aptitudes de rotation mentale, le langage spatial et les gestes utilisés dans un groupe expérimental d’enfants en interaction avec un parent et Miller et al. (2020) comparent la performance en rotation mentale des élèves, leur utilisation des gestes ainsi que leur capacité d’attention aux informations pertinentes de la tâche.

La dernière étude (1/13) a un design à cas unique avec une seule participante et décrit de manière plus qualitative les types de gestes produits pour décrire des formes lors de transformations spatiales (Elia et al., 2014).

Mesures des résultats (tâches utilisées) : Cinq études (Ehrlich et al., 2006; Goldin-Meadow, Levine et al., 2012; Levine et al., 2018; Miller et al., 2020; Ping et al., 2011) sur les 13 utilisent la tâche de rotation mentale de Levine et al. (1999) (figure 17) : celle-ci utilise des cartes contenant deux pièces identiques qui doivent être tournées pour constituer une nouvelle forme. Une première carte est présentée à l’élève. À droite de la carte présentée, figure une carte de choix qui contient plusieurs formes assemblées et parmi lesquelles l’élève doit choisir celle qui correspond à la rotation des formes proposées sur la carte de gauche.

Figure 17

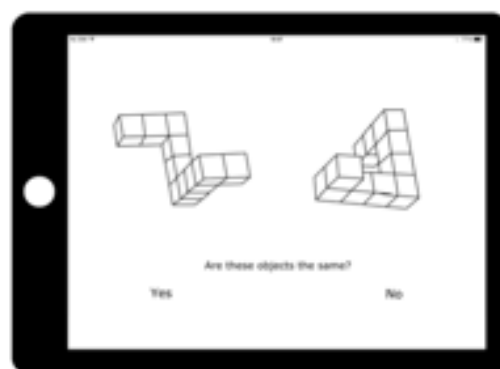
Tâche de rotation mentale de Levine et al. (1999)⁷



Trois autres études sur les 13 utilisent une tâche demandant aux élèves de faire pivoter des animaux pour les mettre dans la même position que le modèle, afin de déterminer s'ils sont identiques ou différents (Jansen & Kellner, 2015; Wakefield, Foley et al., 2019 (2x)). Deux études utilisent le test de rotation mentale en 3D de Vandenberg et Kuse (1978) adapté dans une application « Rotate it » pour Ipad (iOS 8) (Zander et al., 2016 et Zander et al., 2020). Dans cette tâche présentée dans la figure 18, un stimulus (forme en 3D constituée de petits cubes) est affiché sur le côté droit, et un autre stimulus de réponse est affiché sur le côté gauche. La personne doit décider si les deux stimuli sont identiques après avoir effectué une rotation mentale. Le stimulus peut être tourné sur l'application de manière tactile selon les trois axes (x, y et z).

Figure 18

Tâche de rotation mentale adaptée dans une application « Rotate it » (Zander et al., 2016)⁸



⁷ Tiré de "The importance of gesture in children's spatial reasoning", par Ehrlich, S. B., Levine, S. C., et Goldin-Meadow, S., 2006, *Developmental Psychology*, 42(6), p.1261.

⁸ Tiré de "Rotate it!—Effects of touch-based gestures on elementary school students' solving of mental rotation tasks", par Zander, S., Wetzel, S., et Bertel, S., 2016, *Computers & Education*, 103, p. 19.

Une étude sur les 13 (Jansen et al., 2015) utilise des tests psychométriques (M-MRT et F-MRT) de Ruthsatz et al. (2015) qui présentent des objets différents en fonction du genre (par exemple une brosse à cheveux pour les filles et un tournevis pour les garçons). Les participants doivent effectuer des rotations mentales de 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° et 335°. Une étude sur 13 (Clingan-Siverly et al., 2021) utilise un puzzle réel que les enfants réalisent en interaction avec un parent pour mesurer la rotation mentale des tous petits (3-5 ans) et une dernière (Elia et al., 2014) demande aux enfants d'effectuer puis de décrire des tours construites à l'aide de cubes à leur enseignante cachée derrière une paroi qui, elle, doit reconstruire la tour sur la base des indications des élèves.

Après avoir décrit les études, leurs résultats seront présentés et structurés autour de trois questions de recherche : a. quelles sont les modalités favorisant l'acquisition de la rotation mentale ? ; b. quels sont les liens entre les gestes et le discours ? ; c. quels sont les effets du système moteur sur la réalisation de la rotation mentale ?

2.3.3 Modalités d'intervention favorisant la rotation mentale

Six études sur les 13 ont comparé l'effet de différentes conditions d'intervention sur le développement de la rotation mentale des élèves. Les principales conclusions qui ressortent de ces études sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4

Effets de différentes conditions d'intervention sur la réussite d'une tâche de rotation mentale

Auteurs	Tâche et conditions d'intervention	Résultats
Wakefield, Foley et al. (2019) USA Participants N = 107 47 ♂ / 60 ♀ ▪ 4-6 ans	Tâche Animal ou véhicule à faire tourner Conditions a) Action sur l'objet b) Action sur l'image 2D c) Gestes de pointage d) Gestes iconiques e) Gestes sans lien avec la rotation (taper sur l'écran)	Performance des garçons $F(4, 3060) 3,58, p = .006$ geste ico > action sur l'objet $t(1306) 2.48, p = .013$ geste ico > action sur l'image $t(1250) 2,81, p = .005$ geste ico > geste pnt $t(1274) 2,96, p = .003$ geste ico > geste taper $t(1282) 3.37, p = .001$ Performance des filles $F(1, 3972) 70.101, p = .001$ Progrès significatif entre pré-test et post-test, mais pas de différence sign. entre les conditions
Wakefield, Foley et al. (2019) USA Participants N = 72 39 ♂ / 33 ♀ ▪ 3-6 ans	Tâche Animal ou véhicule à faire tourner Conditions a) Action sur l'image 2D b) Gestes iconiques c) Imaginer la rotation (sans gestes)	Performance des garçons 1 semaine après geste ico > action $t(3833) 5.90, p = .001$ imaginer > action $t(3445) 5.386, p = .001$ 4 semaines après pas de différence sign. avec le post-test d'une semaine après Performance des filles 1 semaine après geste ico > imaginer $t(3189) 3.20, p = .001$ action > imaginer $t(3116) 2.57, p = .01$ geste ico = action $p = .606$ 4 semaines après geste ico > imaginer $t(3189) 3.20, p = .001$ geste ico > action $t(3116) 2.57, p = .01$
Levine et al. (2018) USA N = 114 52 ♂ / 62 ♀ ▪ 5-6 ans	Tâche Tâche de rotation mentale de Levine et al. 1999 Conditions a) Action b) Gestes iconiques c) Gestes de pointage	Différence pré-test et post-test action : apprentissage sign. ($b = 0.72, SE = 0.16, Z = 4.49, p < .001$ $\exp(b) = 2.05$ geste ico : apprentissage sign ($b = 0.39, SE = 0.16, Z = 2.36, p = .02$, $\exp(b) = 1.48$ geste pnt : pas d'apprentissage ($b = 0.08, SE = 0.17, Z = 0.47, p > 0.63$, $\exp(b) = 0.92$) Différence post-test et retest action : pas d'apprentissage ($b = 0.27, SE = 0.16, Z = 1.66, p > .09$ $\exp(b) = 1.31$) geste ico: apprentissage sign. ($b = 0.42, SE = 0.16, Z = 2.58, p = .01$, $\exp(b) = 1.52$) geste pnt : pas d'apprentissage ($b = 0.32, SE = 0.18, Z = 1.72, p > 0.08$, $\exp(b) = 1.38$)

Ehrlich et al. (2006)	Tâche Tâche de rotation mentale de Levine et al. 1999	Différence pré-test et post-test Progression sign dans les trois conditions au post-test $F(1, 57) = 7.68, p < .01, d = .34$ (prétest : $M = 62.72\%, SE = 2.3\%$; post-test : $M = 68.78\%, SE = 2.3\%$)
USA	Conditions a) Imaginer la rotation b) Observer le mouvement c) Aucun entraînement (idem au pré-test)	filles imaginer > garçons imaginer $F(1, 19) = 8.69, p = .01, d = .31$. filles observer = garçons observer filles aucun entraînement = garçons aucun entraînement
N = 80 42 ♂ / 38 ♀ ▪ 5 ans		
Ping et al. (2011)	Tâche Tâche de rotation mentale de Levine et al. 1999	Performance geste ico > aucun entraînement $F(2, 56) = 3.85, p < 0.05$ action = aucun entraînement geste ico > action, mais n.s
USA	Conditions a) Gestes iconiques b) Action c) Aucun entraînement	Transfert sur une autre tâche geste ico > aucun entraînement $F(2, 56) = 8.18, p < 0.001$ action > aucun entraînement $F(2, 56) = 8.18, p < 0.001$
N = 63 31 ♂ / 32 ♀ ▪ 4 ans		
Goldin- Meadow, Levine et al. (2012)	Tâche Tâche de rotation mentale de Levine et al. 1999	faire des gestes > observer des gestes $F(1, 622) = 7.31, p < .01$ faire un geste ico > faire un geste pnt $F(1, 622) = 12.45, p < .000$
USA	Conditions Observer les gestes a1) Gestes iconiques a2) Gestes de pointage Faire des gestes b1) Gestes iconiques b2) Gestes de pointage	
N = 158 83 ♂ / 75 ♀ ▪ 6 ans		
Synthèse	Performance Les gestes iconiques sont la condition la plus efficace dans 5 études sur 5 L'action produit un apprentissage dans 2 études sur 4 Imaginer la rotation produit un apprentissage dans 2 études sur 2 Le geste de pointage ne produit pas d'apprentissage dans 3 études sur 3 Transfert sur une autre tâche Les gestes iconiques permettent le transfert dans 3 études sur 3 L'action (manipulation) permet le transfert dans 2 études sur 3	

Notes : geste ico = geste iconique ; geste pnt = geste de pointage ; sign = significatif ; ns = non significatif ; l'action = la manipulation de la forme ; ♂ = garçons ; ♀ = filles

Le tableau 4 montre que la condition la plus efficace pour développer des compétences en rotation mentale est l'utilisation de gestes iconiques (5/5). Pour les auteurs, si le geste iconique favorise l'acquisition de la rotation mentale c'est parce qu'il simule la visualisation mentale de la rotation d'un objet sans que l'individu ait accès au résultat visible de cette rotation. Aidés par les repères visuels fournis par leurs mains, visualiser mentalement un résultat devient une difficulté souhaitable, car elle conduit à un apprentissage plus profond (Wakefield, Foley et al., 2019). Cet accent sur la visualisation mentale comme étant une variable de performance se retrouve également dans l'étude de Zander et al. (2016) ; bien que ceux-ci n'aient pas étudié une intervention, ils montrent que la simulation de la rotation est plus efficace que l'action elle-même.

Les résultats indiquent également que la condition « action » (mesurée dans 4 études sur 6) produit un apprentissage (Levine et al., 2018 ; Ping et al., 2011; Wakefield, Foley et al., 2019). Pour les auteurs, la condition « action » est favorable aux apprentissages, car elle implique que l'élève fasse des mouvements utiles à la transformation mentale, au contraire par exemple des gestes de pointage qui n'activent pas de représentations mentales en lien avec la tâche de rotation. Dans l'étude de Levine et al. (2018), les élèves de la condition « action » montrent une amélioration des performances entre le pré-test et le post-test ainsi qu'entre le post-test et le retest (1 semaine après). Dans l'étude de Ping et al. (2011), la condition « action » améliore également les performances lors d'un test de transfert. Wakefield, Foley et al. (2019), relèvent cependant une nuance : l'utilisation de l'action réelle améliore les performances de rotation mentale, mais cette condition est principalement utile au début des apprentissages, car à partir d'un certain niveau de développement des compétences, l'utilisation des gestes iconiques est plus efficace que l'action réelle. En effet, les gestes engagent le système moteur tout comme l'action, mais ils apportent en plus la simulation du mouvement mental et ils sont libérés des contraintes physiques de la manipulation réelle (Wakefield, Foley et al., 2019).

La revue de littérature montre que les effets des différentes conditions évoluent différemment dans le temps. Levine et al. (2018) signalent que quatre semaines après l'intervention (phase retest), les élèves qui ont été placés dans la condition « gestes iconiques » ont encore amélioré leurs compétences. Ils continuent donc de progresser même en l'absence d'entraînement. En revanche, les enfants qui ont suivi l'entraînement avec l'action ne montrent pas de gain supplémentaire entre la fin de l'intervention et le test différé de quatre semaines. Pour les auteurs, ces résultats permettent d'envisager une intervention en deux temps : d'abord à l'aide d'actions concrètes puis à l'aide de gestes iconiques plus abstraits. La condition « action » permettrait aux jeunes enfants de progresser immédiatement après l'entraînement puis l'utilisation des gestes aiderait à consolider ces gains dans le temps. Cette approche serait à différencier également en fonction des compétences initiales des enfants, car pour Levine et al. (2018, p.18) « il pourrait être plus efficace d'utiliser l'entraînement à l'action avec les enfants qui ont de faibles niveaux en rotation mentale et de proposer le geste iconique aux enfants qui ont des niveaux plus élevés ».

Finalement, l'utilisation de gestes de pointage mesurée dans trois études sur six n'apporte aucun bénéfice dans l'acquisition de l'habileté de rotation mentale. Pour Levine et al. (2018), la raison de cette absence d'apprentissage réside dans le fait que les gestes de pointage ne simulent pas la rotation mentale, mais pointent des caractéristiques de la forme.

Ainsi, il est possible de répondre à la question de recherche de la manière suivante : permettre aux élèves de faire des gestes iconiques est la modalité d'intervention la plus efficace pour améliorer les compétences de rotation mentale, suivie par l'action et l'imagination de la rotation qui permettent également un gain significatif.

2.3.4 Implication des gestes et du discours dans la rotation mentale

La deuxième question s'intéressait aux types de gestes et de langage favorisant la réussite d'une tâche de rotation mentale. Les résultats des quatre études qui ont analysé ces liens sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5

Rôle des gestes et du langage dans une tâche de rotation mentale

Auteurs	Tâche et conditions d'intervention	Résultats
Ehrlich et al. (2006), USA N = 80 42 ♂ / 38 ♀ ▪ 5 ans	Tâche Tâche de rotation mentale de Levine et al. 1999	Le nombre de stratégies de mouvement exprimées par la parole et les gestes (4.99/8) > que par la parole seule (3.48/8) $t(62) 5,848, p = .001$ Le nombre de caractéristiques perceptives exprimées par la parole et les gestes (2.93/8) > que par la parole seule (2.30/8) $t(62) 5,27, p = .001$ - Réussite sign. corrélée aux stratégies de mouvement exprimées par la parole ou les gestes $r .272, p = .032$ - Réussite sign. corrélée aux stratégies de mouvement exprimées uniquement par les gestes $r .299, p = .018$ - Réussite négativement corrélée aux stratégies peu claires exprimées par la parole seule $r -.262, p = .040$
Miller et al. (2020), USA N = 55 30 ♂ / 25 ♀ ▪ 4;3-6;11ans	Tâche Tâche de rotation mentale de Levine et al. 1999 Tâche de rotation mentale (SA) de Huttenlocher & Levine, 1990)	La pertinence de la parole ($\chi^2 = 14.14, p < 0.001$) et la pertinence du geste ($\chi^2 = 7.31, p = 0.026$) prédisent chacune de manière significative la réussite La pertinence des gestes des enfants > la pertinence de la parole pour la tâche SA (Mdiff = -0.06, SDdiff = .29, rangediff = -.51 à .51) et la CMTT (Mdiff = -0.07, SDdiff = .20, rangediff = -.34 à .34)
Clingan-Siverly et al. (2021), USA N = 20 (typiques) ▪ 3-5 ans	Tâche Faire un puzzle avec un parent pendant 5 min	Le nombre de mots spatiaux est un facteur prédictif de la réussite $SE 2.46 (1.10) *p < 0.05$ Le nombre de gestes spatiaux est un facteur prédictif de la réussite $SE 4.63 (1.98) *p < 0.05$
Elia et al. (2014), Chypre N = 1 ♀ ▪ 5 ans	Tâche T1 construction d'une tour par l'élève T2 description de la tour à son enseignante qui ne la voit pas et qui doit la reconstruire	L'enfant a produit des gestes pendant toute la partie de l'activité dans laquelle il jouait le rôle de descripteur Les gestes de l'enfant, ainsi que son discours, ont agi comme des moyens sémiotiques d'objectivation Lorsque l'enfant décrit l'orientation de la forme, il produit des gestes iconiques. Lorsque l'enfant décrit l'emplacement des blocs, il produit des gestes déictiques.
Synthèse	Les stratégies exprimées par les gestes et les mots sont des facteurs prédictifs de la réussite (2/2) Les stratégies exprimées par les gestes uniquement sont des facteurs prédictifs de la réussite (3/3)	

Les résultats présentés dans le tableau 5 font apparaître quatre constats. Tout d'abord la pertinence du discours et la pertinence des gestes sont corrélées à la réussite de la tâche de rotation mentale (Ehrlich et al., 2006) ; celles-ci prédisent même chacune de manière significative la réussite de la tâche (Clingan-Siverly et al., 2021 ; Miller et al., 2020). Deuxièmement, le nombre de mots et le nombre de gestes ayant un contenu spatial sont deux facteurs prédictifs de la réussite dans une tâche de rotation mentale (Clingan-Siverly et al., 2021). Troisièmement, les gestes dynamiques (qui simulent un mouvement) sont significativement corrélés à la réussite de la tâche (Ehrlich et al., 2006). Finalement, la parole seule n'est pas corrélée à la réussite, mais les explications comportant au moins un geste le sont (Ehrlich et al., 2006 ; Clingan-Siverly et al., 2021). D'ailleurs, les enfants produisent souvent des indications de mouvement ou des caractéristiques perceptives dans les gestes sans les transcrire par la parole. À titre d'exemple, Ehrlich et al. (2006), relèvent que dans leur recherche, les enfants ont exprimé des stratégies par les gestes sur 4.99 problèmes sur 8 alors que ces stratégies sont exprimées uniquement sur 3.48 problèmes, si seule la parole est prise en compte. Cette différence est statistiquement significative, ce qui permet aux auteurs de mettre en avant que, si les gestes ne sont pas considérés par l'observateur, une part importante des stratégies exprimées par l'enfant est ignorée. Cette même observation est faite chez Miller et al. (2020), lesquels démontrent que la pertinence des gestes en lien avec la tâche des enfants est significativement plus élevée que la pertinence de la parole seule.

Le geste est donc, pour les enfants, un excellent moyen d'expression des stratégies de mouvement et des caractéristiques perceptives des objets. Elia et al. (2014), dans leur recherche à cas unique, relèvent également que les gestes sont utilisés par l'élève tout au long de la tâche de construction montrant les fortes interrelations entre la pensée spatiale et les gestes. Pour ces auteurs, la production de gestes permet de réduire l'effort cognitif de l'enfant dans une tâche spatiale complexe et apporte un soutien à la visualisation spatiale interne.

2.3.5 Implication du système moteur dans la rotation mentale

Finalement, la troisième question s'intéressait au rôle du système moteur dans la réussite d'une tâche de rotation mentale. Dans cette revue de littérature, deux recherches ont considéré leurs liens respectifs (tableau 6).

Tableau 6

Implication du système moteur dans une tâche de rotation mentale

Auteurs	Tâche et tests utilisés	Résultats
Jansen et al. (2015)	Tâche Tirés des tests psychométriques M-MRT et F-MRT de Ruthsatz et al. (2013). Faire tourner des objets stéréotypés filles-garçons	Taux d'exactitude Effet significatif de la "dextérité manuelle" sur le taux de précision des réponses, $F(1, 47) = 8.24, p < 0.01, \eta^2 \text{ partiel} = 0.149$.
	La dextérité manuelle est mesurée avec la version allemande du Movement Assessment Battery-2 for Children (M-ABC 2 ; Petermann 2009)	Vitesse de rotation Effet significatif de la "dextérité manuelle" sur la vitesse de rotation de l'élève $F(1, 47) = 4.20, p < 0.05, \eta^2 \text{ partiel} = 0.082$
Jansen & Kellner (2015)	Tâche adaptée de Frick et al. (2009). Animaux présentés sur l'écran, il faut déterminer si c'est le même ou non par une rotation mentale. Parallèlement, les enfants tournent un joystick soit dans un sens compatible, soit non compatible avec leur rotation mentale. La dextérité manuelle est mesurée avec la version allemande du Movement Assessment Battery-2 for Children, (M-ABC 2 ; Petermann 2009)	Différence entre rotation manuelle et mentale compatible ou non Dans le groupe d'âge le plus jeune (7-8 ans), le facteur "compatibilité" a révélé un effet principal significatif, $F(1,40) = 4.59, p < 0.05, \eta^2 \text{ partiel} = 0.10$.

Dans leur étude, Jansen et al. (2015) montrent que la dextérité manuelle (mesurée préalablement à la tâche de rotation mentale) est corrélée à la performance de rotation mentale, à la fois au niveau du taux d'exactitude des réponses et au niveau de la vitesse à laquelle les sujets effectuent la rotation. En proposant une tâche avec des illustrations d'objets réels (miroir, tournevis) à faire tourner et non des assemblages de cubes, ces auteurs ont observé de manière spécifique les liens entre la rotation réelle (puisque ces objets sont fréquemment manipulés dans vie courante par les participants) et la rotation mentale. Dans une seconde étude demandant au participant d'effectuer une rotation mentale parfois compatible (dans le même sens) et parfois incompatible avec une rotation manuelle (effectuée avec un joystick), Jansen et Kellner (2015) ont montré que les garçons de 7 à 8 ans sont négativement impactés par un mouvement incompatible avec la rotation mentale. En effet, leur vitesse de traitement diminue significativement lorsqu'ils doivent effectuer une rotation

manuelle contraire à la rotation mentale, ce qui tend à confirmer l'interdépendance entre la rotation manuelle et la rotation effectuée mentalement. Finalement, dans cette étude, le nombre d'erreurs a également augmenté chez tous les participants en fonction de la disparité angulaire. Cela confirme, pour les auteurs, que les enfants effectuent des simulations de rotations physiques mentalement en se référant à leur représentation mentale de l'objet.

2.3.6 Que retenir ?

Plusieurs constats ressortent de cette revue de littérature.

Premièrement, les résultats mettent en évidence **des liens entre les performances et les conditions d'entraînement** corroborant les différentes étapes du modèle de Chu et Kita (2008). L'action (manipulation réelle de l'objet) est efficace au début de l'apprentissage car elle permet à l'individu de construire une représentation des effets de la rotation sur un objet. Ce type d'encodage est toutefois limité dans le temps et dans le niveau de performance obtenu, car l'action n'entraîne pas spécifiquement la simulation mentale (puisque le résultat de la rotation est visible). Ainsi, la condition la plus efficace est celle demandant au participant de faire des gestes iconiques, car ces derniers vont amener l'enfant à simuler la rotation mentale en s'appuyant sur des repères visuels.

Deuxièmement cette revue met en évidence **l'importance de la prise en compte des gestes dans l'évaluation des stratégies**, car les gestes expriment des concepts spatiaux dont le langage ne fait pas état. En particulier, les gestes iconiques exprimant un mouvement sont associés à la performance de la rotation mentale. Les résultats de la revue ont mis en évidence que les gestes spatiaux et le langage spatial sont significativement corrélés à la réussite d'une tâche de rotation mentale, alors que les stratégies verbales isolées ne le sont pas. Ces résultats sont cohérents avec de nombreux résultats de recherche montrant que les gestes permettent de révéler une compréhension des concepts élaborés par les enfants avant que ceux-ci ne puissent les exprimer par des mots (Calero et al., 2019; Göksun et al., 2013). Calero et al. (2019) relèvent d'ailleurs que les gestes sont fortement associés à la compréhension progressive de la géométrie formelle par les enfants. Pour ces auteurs, cette constatation soulève une question cruciale : l'enseignement spatial et géométrique - et particulièrement l'évaluation des apprentissages spatiaux à l'école - devrait être revu afin d'inclure les gestes dans ce processus. En effet, une évaluation basée sur la réussite et le langage uniquement ne considère pas le pouvoir qu'a le geste de rendre accessibles les nouveaux concepts élaborés par l'enfant.

Finalement, cette revue montre que **le système moteur est impliqué dans les tâches de rotation mentale**, comme montré par les études d'imagerie cérébrale. Tout d'abord, la dextérité manuelle préalable de l'enfant est corrélée à la performance en rotation mentale. Deuxièmement, le système moteur est également impliqué dans la simulation mentale elle-même puisque les élèves mettent plus de temps et font plus d'erreurs lorsque l'angle de

rotation est grand (montrant ainsi qu'ils réalisent une simulation de la rotation réelle). Finalement, le rôle très important des gestes dans l'entraînement à la rotation mentale chez les enfants confirme l'interdépendance des aires simulant le mouvement avec les aires traitant des représentations spatiales.

Ces résultats posent des balises théoriques requises pour l'élaboration des questions et des hypothèses de recherche pour la partie expérimentale qui seront présentées dans le chapitre 4.

Après avoir relevé les effets des gestes dans des tâches de rotation mentale chez les élèves typiques, le prochain chapitre analyse le rôle des gestes chez les élèves avec une DI.

3. Le rôle des gestes chez les élèves avec une déficience intellectuelle



Il existe peu de recherches qui analysent le rôle des gestes sur les apprentissages des élèves avec une DI. Pourtant, « nommer des objets ou des événements par les gestes est une stratégie particulièrement efficace lorsque les capacités cognitives des enfants dépassent leurs compétences linguistiques productives » (Stefanini et al., 2008, p.215). Pour plusieurs élèves avec une DI, ce constat se vérifie. Le rapport de l'INSERM (2016, p.500) relève, en effet, que les élèves avec une déficience intellectuelle peuvent rencontrer « des difficultés notoires, entre autres sur le plan du parcours scolaire en raison de la fonction qu'exerce le langage sur le fonctionnement cognitif en tant qu'outil de la pensée et en tant que « véhicule » d'acquisition de concepts et de représentations ». Chez les élèves avec une DI, l'adoption d'une perspective multimodale pour analyser les apprentissages pourrait ainsi permettre de rendre visible un large éventail de productions gestuelles, qui restent sans signification si l'analyse est réduite à la communication verbale (Manghi Haquin et al., 2019).

3.1 Développement spatial et langagier des élèves avec une déficience intellectuelle

Afin de comprendre les enjeux de la prise en compte des gestes chez des élèves avec une DI, il est nécessaire de définir ce qui est entendu sous le concept de déficience intellectuelle, dit aussi troubles du développement intellectuel (TDI) dans la CIM-11. La deuxième partie du chapitre s'arrêtera sur le développement du langage et celui de la cognition spatiale chez différentes populations d'élèves avec une DI.

La déficience intellectuelle est définie par trois organisations : l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2008) dans sa Classification Internationale des maladies : CIM-10⁹, l'*American Association on Intellectual and Developmental Disabilities* (AAIDD) dans la 12^{ème} édition du manuel de définitions (2020) et finalement l'*American Psychiatric Association* (APA) dans le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (2013) (DSM-5).

Les trois organismes font reposer la définition théorique sur les trois critères suivants :

- Une limitation significative du fonctionnement intellectuel, par exemple dans le raisonnement, la résolution de problèmes, la pensée abstraite, la planification, l'apprentissage académique, l'apprentissage par l'expérience et la compréhension pratique. Ces limitations doivent être confirmées par des évaluations cliniques et des tests d'intelligence standardisés. Elles correspondent à un QI inférieur à la moyenne de la population générale de deux écarts-types (< 70).
- Des limitations significatives du comportement adaptatif, c'est-à-dire dans les habiletés conceptuelles (langage, lecture, écriture, argent, temps, mathématiques), sociales (par exemple interpersonnelles, responsabilité, naïveté) et pratiques (par exemple dans les activités quotidiennes, la sécurité, la santé ou les transports) entravant la possibilité de

⁹ la CIM-11 entrera en vigueur dès 2022

répondre aux exigences demandées par la société. Le critère de comportement adaptatif a été introduit pour limiter les faux-positifs notamment dus aux différences culturelles. Il permet de s'assurer que les difficultés sont globales et non uniquement localisées dans le contexte scolaire, où l'attente d'un raisonnement logico-mathématique est prédominante. En 1992, l'AAMR (*American Association on Mental Retardation*) définit le comportement adaptatif en dix domaines de compétences : la communication, les soins personnels, les habiletés domestiques et sociales, l'utilisation des ressources communautaires, l'autonomie, la santé, la sécurité, les aptitudes scolaires, les loisirs et le travail (Maurice & Piédalue, 2003). L'AAIDD (2010) propose une structure en trois domaines regroupant les 10 domaines de l'AAMR : les habiletés conceptuelles, les habiletés sociales et les habiletés pratiques.

- Ces limitations dans le fonctionnement cognitif et adaptatif apparaissent pendant la période développementale.

Sur le plan opérationnel, la mesure du quotient intellectuel d'un individu implique de comparer son niveau de performance à ceux d'individus de la même classe d'âge. Le seuil indicatif permettant de déterminer des limitations du fonctionnement intellectuel est désormais fixé à deux écarts-types (< 70) en dessous de la moyenne (de la population générale d'âge équivalent). Plusieurs échelles ont été conçues pour mesurer le QI et parmi celles-ci, les échelles de Wechsler sont les plus utilisées. Elles se déclinent en WPPSI-IV¹⁰ pour les élèves d'âge préscolaire, en WISC-IV pour les élèves d'âge scolaire et en WAIS-IV pour les adultes. Des tests non verbaux sont également utilisés, comme par exemple les Matrices progressives de Raven, le Leiter-R, le K-ABC II ou l'échelle non verbale de Wechsler (WNC). Les Matrices de Raven en particulier sont considérées comme un bon outil d'évaluation de l'intelligence fluide, à savoir la capacité à raisonner et à résoudre des problèmes indépendamment des connaissances acquises auparavant par la personne. C'est un outil intéressant à utiliser avec des personnes avec une DI en raison de la simplicité de leurs consignes, de la possibilité de mesurer des compétences de raisonnement sans recours au langage ainsi que du temps de passation relativement bref (Bello et al., 2008). Une nuance importante est à relever dans l'administration des épreuves de QI : les valeurs obtenues aux différents tests ont une marge d'erreur. Il est admis qu'un test de QI a seulement 90 à 95% de chance de mesurer le score réel du niveau intellectuel de la personne. De plus, le score peut varier selon le test utilisé (INSERM, 2016).

L'obligation de mesurer opérationnellement le critère de comportement adaptatif n'est intervenue que tardivement, à partir de 2002. Le seuil indicatif de limitations du comportement

¹⁰ WPPSI-IV= Echelle d'évaluation de l'intelligence de l'enfant de 2 à 6 ans; WISC-IV = Echelle d'évaluation de l'intelligence de l'enfant de 6 à 16 ans; WAIS-IV = Echelle d'évaluation de l'intelligence pour les adultes

adaptatif est lui aussi fixé à deux écarts-types (< 70) en-dessous de la moyenne (de la population générale d'âge équivalent). Les tests psychométriques récents pour évaluer le comportement adaptatif en français sont l'ABAS-II et la Vineland II. Ces outils mesurent le comportement adaptatif à tous les âges selon quatre domaines (communication, vie quotidienne, motricité et socialisation). Cette évaluation prend en compte les performances de la personne au quotidien. Elle doit être menée par des personnes qui connaissent bien l'enfant, par exemple ses parents, ses enseignants et/ou par les professionnels qui lui sont familiers. En prenant en compte la mesure du QI et celle du comportement adaptatif, la prévalence de la DI se situe autour de 1.14% (Maulik et al., 2011), alors qu'elle est de 2.3% si seule la mesure du QI est considérée (Leonard & Wen, 2002). Les études mettent en évidence que la DI touche davantage de garçons que de filles, avec un sex-ratio de 1.2 à 1.9 garçon pour une fille (David et al., 2014; Leonard & Wen, 2002). Parmi les facteurs de risque environnementaux, la prématurité, le retard de croissance intra-utérin et l'alcoolisation maternelle sont les causes les plus fréquentes de DI, toutefois 35 à 40% des déficiences intellectuelles ne sont pas expliquées et sont appelées idiopathiques (INSERM, 2016).

Finalement, une évaluation mesurant l'intensité des soutiens pour favoriser le fonctionnement de la personne peut être proposée. Cette intensité se mesure à l'aide d'échelles comme « l'Échelle d'intensité de soutien » (AAIDD, SIS-A) ou de la typologie proposée dans le DSM-5. Dans cette vision, la DI n'est plus considérée comme étant uniquement liée à une personne, mais comme une interaction entre des facteurs personnels et environnementaux. Le rôle facilitateur ou handicapant de l'environnement sur le fonctionnement de la personne est considéré.

3.1.1 Développement du langage et des gestes chez les élèves avec une DI

Les recherches indiquent que les composantes du langage phonologiques, lexicales, morphosyntaxiques et pragmatiques sont plus faibles chez les personnes avec une DI que chez les personnes typiques (INSERM, 2016, p.31). Selon le type de syndrome, les mêmes composantes du langage ne sont pas affectées de manière similaire. En effet, les élèves avec une trisomie 21 présentent des troubles morphosyntaxiques et phonologiques (Abbeduto et al., 2007,) alors que les élèves avec un syndrome de Williams présentent plus de troubles au niveau pragmatique (Mervis & Bacteria, 2007). Les résultats des recherches sur le développement du langage répertoriées dans la synthèse proposée par l'INSERM (2016) mettent en évidence un retard important dans le développement du langage chez les enfants avec une DI et un langage qui demeure incomplet même à l'âge adulte. D'autre part, les capacités d'expression sont souvent inférieures aux capacités de compréhension. Finalement les performances phonologiques sont en dessous des autres compétences langagières, notamment en raison des anomalies des organes responsables de la formulation des sons. Les études les plus importantes sur la construction du langage chez les élèves avec une DI ont été menées avec des élèves avec un syndrome de Down (SD). Voici donc quelques balises relevées

chez ces élèves. Les élèves avec un SD rencontrent de manière plus spécifique des difficultés au niveau du langage oral. Chez ces enfants, les premiers mots apparaissent vers l'âge de 2 ans, soit environ 1 année plus tard que chez les enfants typiques (Berglund et al., 2001). Ce retard augmente ensuite avec l'âge. Au niveau du vocabulaire, la méta-analyse de Næss et al. (2011) relève que le vocabulaire réceptif est relativement préservé et comparable à celui des enfants typiques de même âge mental, mais que le langage oral (vocabulaire expressif) est significativement inférieur. Un manque d'homogénéité entre les capacités linguistiques et les capacités cognitives a également été observé par plusieurs auteurs (par exemple Chapman & Hesketh, 2000). Les enfants atteints du SD peuvent ainsi présenter des capacités cognitives supérieures à celles qu'ils expriment au travers du langage.

Plusieurs recherches se sont également intéressées au développement de la communication non verbale des élèves avec une DI. Elles ont mis en évidence un retard concernant la communication gestuelle au cours de la petite enfance (Pirchio et al., 2003). Par exemple, dans le cas du syndrome de Williams, les gestes apparaissent tardivement et de manière limitée, notamment les gestes de pointage (Laing et al., 2002). Ce retard induit des difficultés, car l'utilisation des gestes est centrale dans le développement du langage parlé, notamment dans la transition entre les énoncés constitués d'un mot et ceux de deux ou plusieurs mots (Butcher & Goldin-Meadow, 2000). Une revue systématique de littérature chez les enfants avec un syndrome de Down confirme le retard d'acquisition (te Kaat- van den Os et al., 2015). En effet, bien que les enfants concernés produisent les mêmes gestes et passent par les mêmes stades de développement du langage que les enfants typiques, les étapes de développement sont considérablement retardées dans leur moment d'apparition. Une divergence de plus démontrée par l'étude longitudinale de Vandereet et al. (2011) concerne l'évolution des gestes dans le temps chez les élèves avec une DI. Comparé à celui des élèves typiques, chez qui le développement du langage est lié à une diminution des gestes, le nombre de gestes utilisés par les élèves avec une DI reste stable dans le temps. Finalement, chez les jeunes enfants avec une DI (0-4 ans), la majorité des combinaisons geste-mot observées est redondante, le geste et le mot offrant une information similaire. Les combinaisons complémentaires sont rares et les combinaisons supplémentaires ne sont pas observées (te Kaat- van den Os et al., 2015).

Ainsi, pour les élèves avec une DI, ces retards et ces particularités langagières ont des conséquences négatives importantes, aussi bien sur leur parcours scolaire que sur leur intégration sociale, le langage étant un fondement nécessaire à l'acquisition des concepts et à l'expression de la pensée.

3.1.2 Développement des habiletés spatiales chez les élèves avec une DI

Les recherches menées sur les habiletés spatiales chez les élèves avec une DI, ne sont actuellement pas très nombreuses. D'ailleurs Hord et Xin relèvent qu' « il existe un besoin important de recherches menées auprès d'étudiants avec une déficience intellectuelle (Mild Intellectual Disability) dans les domaines mathématiques tels que la géométrie et la mesure » (2015, p.118). Cette constatation rejoint celle de Browder et al. (2008) qui, dans leur méta-analyse d'études expérimentales et quasi-expérimentales publiées entre 1975 et 2005, relèvent que seuls 3% d'entre elles portent sur des contenus géométriques et spatiaux.

Dans le cadre de l'analyse du développement de la cognition spatiale chez les élèves avec une DI, plusieurs auteurs ont testé le modèle de Piaget (Piaget et al., 1948) en considérant les trois phases par lesquelles l'enfant passe pour construire une représentation spatiale, à savoir un cadre ou référentiel égocentrique, allocentrique, puis indépendant. Il ressort de ces études (par exemple Giuliani & Schenk, 2015) que les personnes avec une DI utilisent davantage la référence égocentrique. Les auteurs ont observé cela en analysant la manière dont les personnes avec DI explorent visuellement leur environnement. Ils ont constaté qu'elles se centrent davantage sur les propriétés intrinsèques des objets comme leur taille ou leur couleur plutôt que sur leur position dans l'espace. Giuliani et al. (2011) ont ainsi relevé leurs difficultés à abstraire les différentes entrées sensorielles pour considérer l'objet dans son ensemble en montrant que les personnes avec une DI explorent chaque changement de position, de taille ou de couleur comme s'il s'agissait d'un objet nouveau, sans réussir à abstraire les caractéristiques de l'objet pour identifier rapidement qu'il s'agit d'un même objet.

Malgré l'augmentation des recherches sur la cognition chez les élèves avec une DI, peu d'entre elles s'intéressent aux capacités d'abstraction et à l'imagerie mentale visuo-spatiale (Courbois et al., 2007). Quelques recherches ont montré chez les personnes avec une DI une limitation de la mémoire à court terme verbale et visuo-spatiale (Rinaldi et al., 2002). De plus, si un entraînement basé sur des stratégies cognitives et métacognitives augmente la performance de la mémoire visuo-spatiale, ces compétences se maintiennent difficilement dans le temps et se transfèrent peu à d'autres situations (ibidem). Une revue systématique de littérature s'impose donc afin d'avoir un aperçu précis du développement des compétences spatiales et en particulier de rotation mentale chez les élèves avec une DI.

3.1.3 Revue systématique de littérature sur la rotation mentale chez les élèves avec une DI

Bien qu'une première recherche de littérature sur le **rôle des gestes** chez les **élèves avec une DI** dans des tâches de **rotation mentale** ait été menée, aucune étude liant ces trois aspects n'a pu être trouvée. Deux revues distinctes seront donc présentées afin d'analyser 1. La rotation mentale chez les élèves avec une DI (présent chapitre) et 2. Le rôle des gestes chez les élèves avec une DI (chapitre 3.2).

Les questions de recherche de la présente revue sont les suivantes :

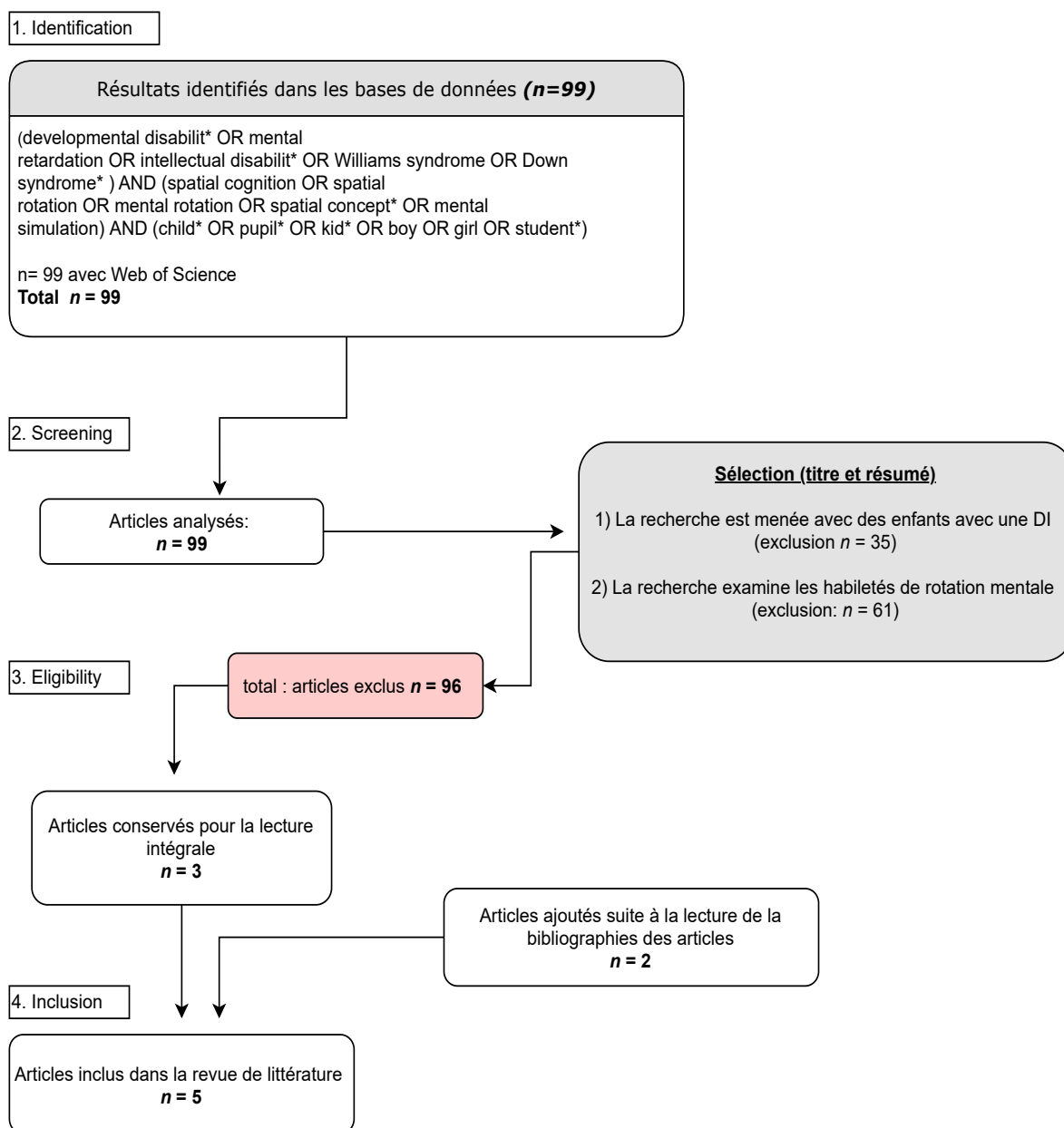
- Comment les élèves avec une DI, respectivement les élèves typiques réalisent-ils les rotations mentales ?
- Quels sont les éléments qui favorisent l'acquisition de la rotation mentale ?

Ces différentes questions permettront d'émettre des hypothèses quant à la réalisation de la rotation mentale chez les élèves avec une DI.

La méthode adopte les recommandations PRISMA statement (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) (Moher et al., 2009). L'équation suivante a été entrée dans Web of Science : (developmental disabilit* OR mental retardation OR intellectual disabilit* OR Williams syndrome OR Down syndrome*) AND (spatial cognition OR spatial rotation OR mental rotation OR spatial concept* OR mental simulation) AND (child* OR pupil* OR kid* OR boy OR girl OR student*) afin d'allier le concept de rotation mentale chez des élèves avec une déficience intellectuelle. La recension a trouvé 99 publications en excluant directement sur Web of Science les domaines comme la neurologie, la réhabilitation, la psychiatrie, l'hérédité génétique, la chimie et tous les domaines de la médecine (ophtalmologie, radiologie, médecine dentaire etc..). La sélection présentée dans la figure 19, a pris en compte deux critères : l'article concerne des élèves avec une DI (C1) et s'intéresse à la rotation mentale (C2). Le titre et le résumé des 99 articles ont été analysés et seuls trois articles ont été conservés, car ils s'intéressaient à la rotation mentale des élèves avec une DI. Les autres ($n = 35$) n'incluaient pas d'échantillon d'élèves avec une DI ou ($n = 61$) ne s'intéressaient pas aux compétences de rotation mentale. Deux articles ont pu être ajoutés en consultant les bibliographies des articles sélectionnés. Le nombre d'études incluses dans la revue est de 5.

Figure 19

Flowchart résumant la sélection des articles de la revue « rotation chez les élèves avec une DI »



Années de publication : Une étude date de 1994, les quatre autres études ont été publiées depuis les années 2000.

Taille de l'échantillon : La taille totale de l'échantillon des participants avec une DI est de 92. Deux études comportent 10 participants ou moins (Hinnell & Virji-Babul, 2004; Uecker et al., 1994). Deux études ont de 11 à 20 participants (Broadbent et al., 2014 ; Stinton et al., 2008) et la dernière comporte 40 participants (Courbois et al., 2007).

Population : Trois populations différentes composent l'échantillon des élèves avec une DI. Broadbent et al. (2014) et Stinton et al. (2008) ont étudié la rotation mentale chez des élèves avec un syndrome de Williams (SW), Hinnell et Virji-Babul (2004) et Uecker et al. (1994) ont travaillé avec des participants ayant un syndrome de Down (SD) et Courbois et al. (2007) avec des adolescents avec une DI. L'âge mental des élèves avec une DI a été mesuré dans 3 études avec le Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT) (Broadbent et al., 2014 ; Hinnell & Virji-Babul, 2004; Uecker et al., 1994). Cette mesure a été complétée par celles des Matrices de Raven chez Broadbent et al. (2014). Les Matrices de Raven ont également été utilisées par Stinton et al. (2008). Finalement, Courbois et al. (2007) ont utilisé le WISC-III pour mesurer le QI.



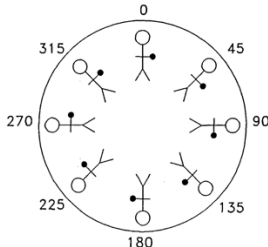

Âge de l'échantillon : Quatre études ont comparé des participants avec une DI à des élèves typiques de même âge mental, la dernière les comparant à des élèves de même âge chronologique (Uecker et al., 1994). Les participants avec une DI ont : entre 8 et 9 ans chez Uecker et al. (1994) ; de 14-17 dans l'étude de Courbois et al. (2007) ; de 9 à 38 ans chez Stinton et al. (2008) ; une moyenne de 24.38 ans pour l'étude de Broadbent et al. (2014) et de 29.8 ans chez Hinnell et Virji-Babul (2004). L'âge mental des participants avec une DI se situe entre 3 et 10 ans.

Design : Toutes les études travaillent avec un groupe expérimental avec une DI et un groupe contrôle d'élèves typiques appariés soit sur l'âge mental, soit sur l'âge chronologique.

Mesures des résultats : Deux études (Courbois et al., 2007 ; Stinton et al., 2008) utilisent la tâche proposée par Courbois (2000), mettant en scène des formes avec et sans composantes saillantes (tableau 7, tâche A). Dans ces exercices, la forme de droite est tournée soit de 0°, soit de 60°, soit de 120°, soit de 180° et les élèves doivent indiquer si les formes sont identiques. L'étude de Broadbent et al. (2014) demande aux élèves d'effectuer la rotation mentale d'un singe (tableau 7, tâche B) de 0°, de 45°, de 135° ou de 180°. À nouveau, les élèves doivent indiquer si les formes sont identiques. Uecker et al. (1994) utilise un personnage à faire pivoter à partir de différents angles (0°, 45°, 315°, 135°, 180°, 225°, 90°, 270°), l'illustration de la tâche est visible dans le tableau 7, tâche C. Finalement, Hinnell et Virji-Babul (2004) ont choisi un test se basant sur celui de Cooper et Shepard (1973), mais utilisant une lettre « F » dans 8 orientations différentes (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°). Un exemple est visible dans le tableau 7, tâche D.

Tableau 7

Tâches utilisées dans les études de la revue sur la rotation mentale chez les élèves avec une DI

Tâche A	Tâche B	Tâche C	Tâche D
			

Les résultats des études considérées dans la revue sont décrits dans le tableau 8.

Tableau 8

La rotation mentale chez les élèves avec une DI : résultats de la revue systématique

		Performance	Objet avec saillance	Rapport à l'angle de rotation
WS	Broadbent et al. (2014)	MATD > WS $F(4, 80) = 14.603, p < .001, \eta^2$ partiel = .422	-	-
	WS $n = 20$ CA 24.38 ans MATD $n = 68$ 5-10 ans			
	Stinton et al. (2008)	MATD > WS $F(1, 28) = 4.45, p < .05, \eta^2$ partiel = .14	Avec saillance MATD > sans saillance MATD $F(1, 28) = 25.44, p < 0.001,$ η^2 partiel = 0.48	Plus l'angle augmente, plus les performances diminuent chez TD et WS $F(1, 28) = 21.30, p < 0.001$
	WS $n = 15$ CA = 9-38 ans ($M = 22.09$) MATD $n = 15$ MA = 5-7 ans ($M = 6.04$)			
DI	Courbois et al. (2007)		Avec saillance DI > sans saillance DI	Plus l'angle augmente, plus le nombre d'erreurs augmente (120° et 180°) $F(3, 141) 33.02, p = .0001$ DI erreur > MATD erreur $F(3, 141) 4.77, p = .01$ DI erreur > MATD erreur $F(3, 141) 9.35, p = .0001$
	DI $n = 40$ CA = 14-17 ans ($M=15.5$) MA = 8.5 ans MATD $n = 36$ CA = 5-8 ans			
SD	Uecker et al. (1994)	CATD > SD $F(1, 32) = 12.15, p < 0.0014$ Temps de réaction CA < DS $F(1, 30) = 14.33, p < .0007$		
	SD $n = 10$ CA = 8.4 ans MA = 3.1 ans CATD $n = 22$ CA = 9.2 ans MA = 11.2 ans			
	Hinnel et Virji-Babzl (2004)	MA > SD $F(1,13) = 5.6, p = .034$ Âge mental corrélé à la réussite du test $r = .816,$ $p < .05$ Temps d'exécution TD = SD $F(1,13) = 1.87, p = .192$		Plus l'angle augmente, plus le temps augmente chez TD et SD $F(4,8) = 12.2, p = .004$
	SD $n = 7$ CA = 29.8 ans MA = 8.18 ans MATD $n = 9$ MA = 8.4 ans CA = 7.2 ans			
Synthèse		TD performance > DI performance (4/4) Performance avec un objet ayant une saillance plus élevée dans (2/2)		

Notes : N = Nombre de participant-s à l'étude ; CATD = groupe contrôle selon l'âge chronologique (chronological age typical development) ; MATD = Groupe contrôle selon l'âge mental (Mental age typical development); WS = Syndrome de Williams ; SD = Syndrome de Down ; DI = Déficience intellectuelle ; CA = âge chronologique ; MA = âge mental ; diff sign = différence significative

Concernant le SW, les résultats des deux études signalent que les élèves typiques ont de meilleures compétences en rotation mentale que les élèves avec un SW (Broadbent et al., 2014 ; Stinton et al., 2008), constats corroborant ceux de la littérature sur les habiletés spatiales. De manière plus spécifique, ces données relatent que les élèves avec un SW manifestent des difficultés concernant l'ensemble des compétences spatiales, aussi bien dans les tâches de construction spatiale, de rotation mentale, de codage des cadres de référence et de repérage (Broadbent et al., 2014). Concernant les élèves avec un SD, les résultats illustrent que leurs performances et leur rapidité d'exécution sont significativement inférieures à celles des enfants typiques de même âge chronologique (Uecker et al., 1994). Fait intéressant, la vitesse d'exécution des élèves avec un SD est similaire à celle des enfants typiques de même âge mental (Hinnell & Virji-Babul, 2004). Finalement, chez les élèves avec une DI, les résultats indiquent qu'un stimulus saillant facilite la rotation mentale par rapport à une forme sans élément saillant (Courbois et al., 2007).

3.1.4 Que retenir ?

La revue de littérature a permis de mettre en évidence deux éléments principaux. D'une part, les élèves avec une DI obtiennent des performances plus faibles dans une tâche de rotation mentale que leurs pairs typiques appariés sur l'âge chronologique ou sur l'âge mental ; d'autre part, le fait de proposer des formes avec un côté « plus saillant » facilite la rotation mentale chez les élèves avec une DI.

Cette deuxième revue est complétée par une troisième revue systématique (chapitre suivant) afin d'établir un état des lieux de l'utilisation des gestes dans les apprentissages des élèves avec une DI.

3.2 Revue systématique de littérature : le rôle des gestes chez des élèves avec une déficience intellectuelle

Cette troisième revue systématique de littérature analyse le rôle et les effets des gestes co-verbaux et co-réflexifs dans la cognition des élèves de 4 à 18 ans en différenciant les résultats selon la présence ou l'absence d'une DI. La question de recherche principale est la suivante : comment les gestes et le discours interagissent-ils chez des élèves avec une DI (notamment chez ceux dont le développement langagier est connu pour être atypique) par rapport aux élèves typiques ? En lien avec les modèles théoriques, trois sous-questions ont été développées :

- Quel est le nombre de gestes utilisés par les élèves avec ou sans DI ?
- Quels sont les types de gestes utilisés par les élèves avec ou sans DI ?
- Quelles sont les modalités (combinaisons gestes-discours) utilisées ?

Répondre à ces questions permettra d'émettre des hypothèses quant aux fonctions des gestes utilisées chez les élèves avec une DI.

3.2.1 Méthode

La méthode adopte les recommandations PRISMA statement (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) (Moher et al., 2009). L'équation de recherche utilisée est la suivante : (gesture OR representational gesture OR co-thought gesture OR iconic gesture OR co-speech gesture) AND (intellectual disability* OR developmental disability* OR mental retardation OR Down syndrome OR Williams syndrome). Les mots-clés ont été identifiés dans le titre, le résumé et les mots-clés des articles recensés dans Web of Science et dans OvidSP. La recension dans Web of Science, banque de données « Web of Science Core Collection », a permis d'identifier 219 articles. La seconde recherche sur OvidSP, bases de données ERIC, Ovid Medline, PsychINFO, Ovid Full Text Journals and Abstracts, Ovid Full Text Journals a conduit au recensement de 114 articles. Seuls les articles publiés dans des revues « peer review » ont été retenus. Parmi ces 333 articles, 91 doublons ont été supprimés, 242 articles ont été sélectionnés pour l'analyse. Les 242 articles publiés ont été examinés deux fois par deux codeurs différents. Une première sélection sur la base du titre et du résumé a été réalisée en appliquant les quatre premiers critères du tableau 9. La seconde sélection en lecture intégrale a pris en compte les critères 5, 6 et 7. L'accord inter-juges entre les deux codeurs, calculé au moyen du kappa de Cohen (Altman, 1999) sur l'entier de la sélection (Web of Science et OvidSP), obtient un score de .89, $p = .000$ ce qui représente un degré d'accord très fort. Les études ayant donné lieu à des désaccords ont été discutées pour constituer la sélection définitive.

Tableau 9

Critères d'inclusion et d'exclusion des articles de la revue « gestes chez les élèves avec une D »

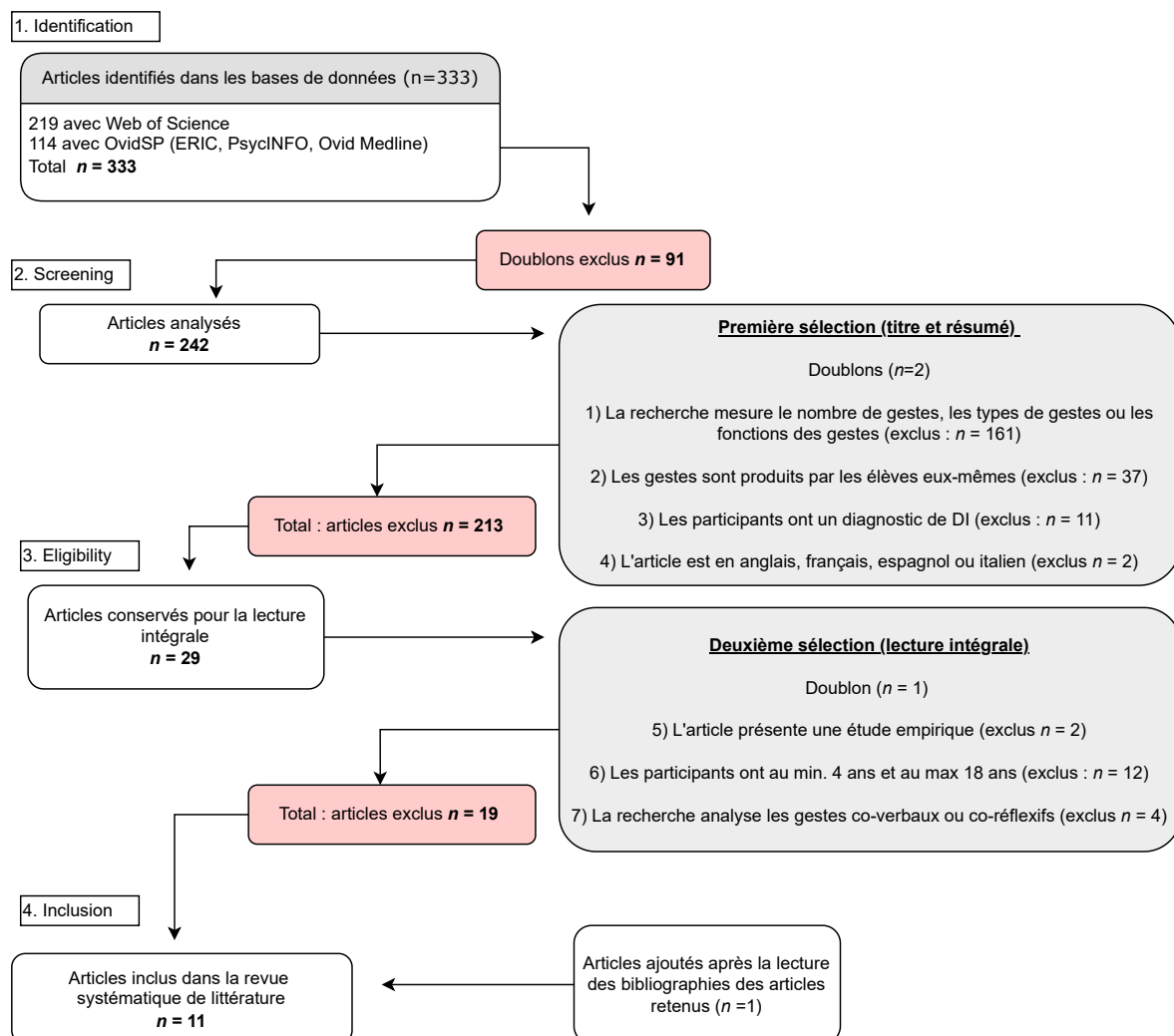
Première sélection	Variable dépendante	<p>La recherche mesure le nombre de gestes spontanés, les types de gestes ou les fonctions des gestes (critère 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : gestes mesurés suite à une intervention (AAC), gestes appartenant au langage des signes, gestes de contacts, tout autre type de gestes ($n = 161$) <p>Les gestes analysés sont produits par les élèves eux-mêmes (critère 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : gestes des parents, des enseignants, des chercheurs ($n = 37$)
	Population	<p>Les participants de l'étude ont un diagnostic de déficience intellectuelle (critère 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : lésion cérébrale, aphasie, troubles du langage, autisme ($n = 11$)
	Langue	<p>L'article est écrit en anglais, français, espagnol ou italien (critère 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : toute autre langue (turc et hollandais) ($n = 2$)
Seconde sélection	Design	<p>L'article présente une étude empirique : comparaison de groupes, étude de cas, étude exploratoire, étude qualitative, étude longitudinale (critère 5)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : revue de littérature ($n = 2$) - Exclusion : qualité méthodologique et présentation des résultats ($n = 1$)
	Âge	<p>Les participants de l'étude ont au min. 4 ans et au max 18 ans (âge scolaire). Une étude qui concerne un échantillon avec un panachage d'âges est conservée. Une étude à mesure répétée qui commence avant l'âge de 4 ans est conservée pour autant qu'elle se prolonge au-delà de 4 ans (critère 6)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : nourrisson, enfant de 0-4 ans ($n = 11$)
	Variable dépendante	<p>La recherche analyse les gestes co-verbaux ou co-réflexifs utilisés par les élèves eux-mêmes en lien avec le langage verbal (critère 7)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exclusion : mesure des gestes distincts du langage (gestes pré-verbaux) ou des gestes en tant que facteurs prédictifs du langage futur ($n = 4$)

Notes : AAC = Augmentative et Alternative Communication

L'application de ces critères a permis de supprimer 213 études suite à la première étape de sélection (titre et du résumé des articles), 77 articles ne répondaient à aucun des trois premiers critères, 88 articles ne répondaient qu'à l'un des trois critères, 44 articles répondaient à deux des trois premiers critères, enfin un article était en turc et un autre en hollandais (exclusion critère 4). Deux articles étaient des doublons. Ainsi, 29 articles ont été conservés pour la deuxième étape de sélection, parmi lesquels 10 ont été conservés suite à la lecture intégrale. Les autres ne répondaient pas aux critères pour les raisons suivantes : 12 articles concernaient des échantillons âgés de moins de quatre ans, 4 n'étudiaient pas spécifiquement les gestes co-verbaux ou co-réflexifs, 2 articles faisaient une revue de littérature, et 1 était un doublon. Au terme de la deuxième étape de sélection, 1 article correspondant aux critères d'inclusion a été ajouté en lisant les références bibliographiques. Le processus de sélection a finalement abouti à une sélection de 11 articles comme illustré dans le flowchart (voir Figure 20).

Figure 20

Flowchart résumant la sélection des articles de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »



Mesure de la qualité des articles

Afin de s'assurer que les études sélectionnées appuient bien leurs conclusions sur une méthodologie rigoureuse, la qualité des articles sélectionnés a été évaluée en double aveugle à partir de deux grilles de critères (l'une pour les recherches qualitatives et l'autre pour les recherches quantitatives) proposées par le centre « Health Technology Assessment Unit, Alberta Heritage Foundation » (Kmet et al., 2004). Ces deux grilles contiennent 11 critères scorés de 0 à 2 pour les études quantitatives et 10 critères scorés de 0 à 2 pour les designs qualitatifs. Le score maximal de 2 est attribué si les critères formulés sont suffisamment décrits et justifiés dans l'étude. Le score 1 correspond à une description partielle ou incomplète et le score 0 est attribué si le critère n'est pas décrit ou non compréhensible. Il est possible d'inscrire N/A (non-évaluable) si le critère ne doit/peut pas être vérifié. Les critères quantitatifs mesurent la description : (1) des buts et objectifs de l'étude (2) du design utilisé (3) de la

sélection des participants (4) de la description des caractéristiques des participants (5) de la validité interne (6) de la taille de l'échantillon (7) des méthodes statistiques choisies (8) de la mesure de la variance (9) de la randomisation (10) de la présentation détaillée des résultats, et (11) des conclusions étayées. L'accord inter-juges pour le codage de la qualité des articles calculé à partir du kappa de Cohen (Altman, 1999) est de .819, $p = .000$, ce qui représente un degré d'accord très élevé. Le score de qualité (entre 0-1), calculé en divisant le score total possible par le score obtenu par l'étude, a été calculé pour chaque étude et par deux codeurs. Les scores varient de 0.45 à 1 (le maximum étant 1). D'après Kmet et al. (2004), ces scores permettent de définir un seuil minimum pour l'inclusion des études dans la revue. Celui-ci se situe à 0.75 en cas de seuil strict (conservative) ou à 0.55 dans un seuil plus souple (liberal). Neuf études sur 11 obtiennent un score plus élevé que le seuil strict de conservation. Seules deux études obtiennent un score en dessous du seuil (Saletti et al., 2007 ; Manghi Haquin et al., 2019). En raison du nombre réduit d'études ayant trait aux gestes chez les élèves avec une DI, mais également de l'intérêt de leurs résultats, ces deux études ont été conservées.

Procédure de codage

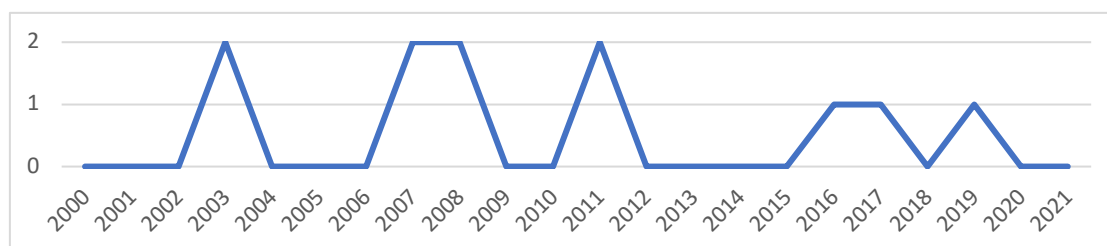
Les articles ont été codés de façon descriptive par deux auteurs de la revue de littérature, à l'aide d'une grille de codage prenant en considération différentes catégories : (1) le pays dans lequel l'étude s'est déroulée (2) les participants (nombre, âge, genre, diagnostic), les groupes contrôles ainsi que leur description (3) le but de la recherche (4) le design ainsi que (5) les instruments de mesure, les tests ou les observations (6) la-tâche-s soumise-s aux participants ainsi que (7) les résultats et (8) les interprétations proposées par les auteurs (8). Le codage a été réalisé séparément pour les études dont l'échantillon était composé d'élèves avec une DI idiopathique, un syndrome de Williams et un syndrome de Down.

3.2.2 Présentation des études

Années de publication : Cinq recherches ont été publiées ces 10 dernières années (cf. figure 21) et les 6 autres datent des 20 dernières années, ce qui témoigne de l'intérêt récent de cette thématique.

Figure 21

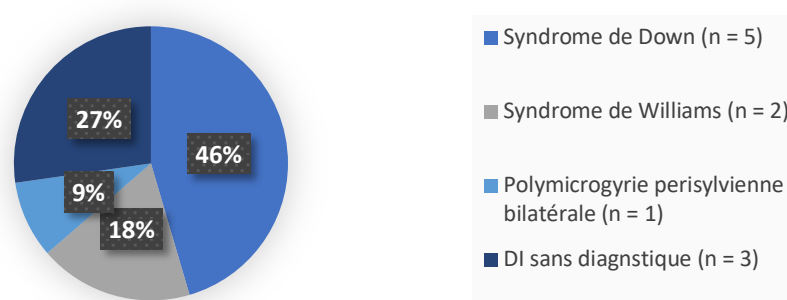
Années de publication des recherches de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »



Taille de l'échantillon : La taille de l'échantillon total est de 364 participants avec une DI. Dans la majorité des études (9/11), l'échantillon se compose de 4 à 16 personnes pour le groupe avec une DI. Les deux études restantes incluent respectivement 66 personnes avec une DI (Galeote et al., 2008) et 186 personnes avec une DI (Galeote et al., 2011).

Figure 22

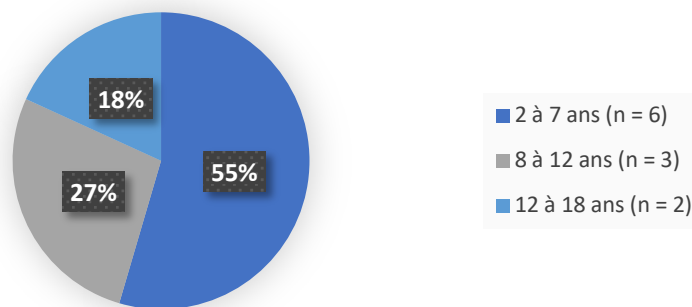
Type de population des études de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »



Population : La figure 22 présente les différentes populations d'élèves. Cinq recherches (46%) portent sur une population avec un syndrome de Down (DS) (Galeote et al., 2008, 2011; Iverson et al., 2003; Stefanini et al., 2007, 2008), deux recherches (18%) sur un syndrome de Williams (WS) (Bello et al., 2003; Mastrogiuseppe & Lee, 2017), une recherche (9%) sur une polymicrogyrie perisylvienne bilatérale (Saletti et al., 2007) et deux impliquent des participants avec une DI dont le diagnostic étiologique n'est pas précisé (Hord et al., 2016; Manghi Haquin et al., 2019). Finalement une étude a un échantillon mixte (SD et autres déficiences intellectuelles) (Vandereet et al., 2011).

Figure 23

Âge des élèves de l'échantillon de la revue « gestes chez les élèves avec une DI »



Âge de l'échantillon : La figure 23 met en évidence que 6 études (55%) ont travaillé avec des élèves de 2 et 7 ans (Galeote et al., 2008, 2011; Iverson et al., 2003; Stefanini et al., 2007, 2008; Vandereet et al., 2011). Les deux études de Stefanini et al. (2007 et 2008) ont œuvré avec des enfants de 3 à 8 ans. Elles ont été comptés dans cette catégorie, car la majorité de leurs élèves avaient entre 2 et 7 ans. Trois études (27%) ont sélectionné des élèves de 8 à 12 ans dans leur échantillon (Bello et al., 2008; Manghi Haquin et al., 2019; Saletti et al., 2007). Finalement, deux études (18%) ont des élèves plus âgés de 12 à 18 ans (Hord et al., 2016; Mastroggiuseppe & Lee, 2017). L'étude de Mastroggiuseppe et Lee (2017) comprend des personnes de 8 à 39 ans, mais comme elles ont un âge mental de 4 à 7 ans, ces résultats ont été inclus dans la revue. L'âge mental des participants relevé par les études se situe entre 1 et 7 ans.

Design : Les sept études avec des enfants DS ou WS ont toutes utilisé un design expérimental (between-participants) avec un groupe expérimental et un ou plusieurs groupes contrôles. Les quatre études restantes sont : une étude longitudinale à mesures répétées (Vandereet et al., 2011) une étude expérimentale sans groupe contrôle (Saletti et al., 2007), une étude exploratoire (Hord et al., 2016) et une étude mixte alliant des analyses quantitative et qualitative des données (Manghi Haquin et al., 2019).

Mesures des résultats : Dans la plupart des études (9/11), les gestes ont été mesurés dans des situations de communication. Parmi elles, 3 ont demandé aux participants de raconter à une autre personne, le contenu d'un dessin animé ou d'une histoire (Manghi Haquin et al., 2019; Mastroggiuseppe & Lee, 2017; Vandereet et al., 2011). Trois autres études (Bello et al., 2004; Stefanini et al., 2007, 2008) ont utilisé le Picture Naming Test (Stefanini et al., 2004) ou le Boston Naming Test (Kaplan et al., 1983), un test dans lequel les individus doivent décrire verbalement des images. Dans les 3 autres études, les gestes ont été enregistrés lors de séances de jeu libre en présence d'un parent (Iverson et al., 2003), de l'expérimentateur (Saletti et al., 2007) ou lors d'une leçon en classe (Hord et al., 2016). Pour les deux études restantes, ce

sont les parents qui ont rempli un questionnaire détaillant la communication verbale et non verbale de leur enfant (Galeote et al., 2008, 2011).

3.2.3 Nombre de gestes utilisés chez les élèves avec une DI

La première question de recherche s'intéressait au nombre de gestes produits par les participants avec une DI en comparaison avec leurs pairs typiques. Les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10

Nombre de gestes utilisés par les élèves avec une DI et les élèves typiques

		Contrôle : Âge mental (MA)	Contrôle : Âge chrono. (CA)	Contrôle : Âge verbal (LA)
SW	Mastrogriuseppe et Lee (2017) $n = 11$	DI > MA ($p = 0.015$)	DI > CA ($p = 0.003$)	-
	Bello et al. (2004) $n = 10$	DI > MA ($p = 0.08$) n.s	DI > CA ($p = 0.03$)	-
SD	Stefanini et al. (2007) $n = 15$	DI > MA ($p < 0.05$)	DI > CA ($p < 0.001$)	-
	Stefanini et al. (2008) $n = 15$	n.s	-	LATD > MA ($p < 0.05$)
	Iverson et al. (2003) $n = 5$	-	-	n.s
	Galeote et al. (2008) $n = 66$	DI > MA ($p < .000$) $\eta^2_p = 0.110$	-	-
	Galeote et al. (2011) $n = 186$	DI > MA ($p < .000$) $\eta^2_p = 0.021$	-	-
	Total	4 études sur 6: DI > MA 2 études sur 6: DI > MA n.s.	3 études sur 3 DI > CA	1 étude sur 2 LA > MA 1 étude sur 2 n.s.

Notes : DI= Déficience intellectuelle ; SW = Syndrome de Williams ; SD = Syndrome de Down ; MA = groupe contrôle selon l'âge mental ; CA = groupe contrôle selon l'âge chronologique ; LA = groupe contrôle selon l'âge verbal ; > = utilisent plus de gestes que ; < = utilise moins de gestes que ; n.s = non significatif

Les résultats (tableau 10) indiquent que 4 études sur 6 relèvent que les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes que les enfants typiques appariés sur l'âge mental (MA) et 3 études sur 3 font état du même constat chez les élèves de même âge chronologique (CA). Les études de Stefanini et al. (2008) et Bello et al. (2004) relèvent que les élèves avec une DI utilisent plus de gestes que les élèves MA comme c'est le cas dans les autres 4 autres études sélectionnées, mais la différence n'est pas statistiquement significative. Par ailleurs, fait intéressant, dans l'étude de Stefanini et al. (2008), les élèves avec une DI âgés de 3 à 8 ans utilisent moins de gestes ($M = 32.4$) que les élèves appariés sur le niveau de langage oral ($M =$

42.0) sensiblement plus jeunes (21 à 30 mois). L'interprétation avancée par les auteurs est que comme les élèves appariés sur l'âge verbal sont plus jeunes que les élèves avec une DI et que les élèves contrôles MA (2 à 4 ans), ils font plus de gestes (Özçalışkan & Goldin-Meadow, 2009). L'étude d'Iverson et al. (2003) compare également des élèves avec une DI à des élèves appariés sur LA. Leurs résultats révèlent un nombre similaire de gestes dans les deux groupes (DI $M = 44.2$ et LA $M = 45$), les élèves avec une DI étant âgés, de 3 à 5 ans. Dans cette étude, les auteurs mettent en avant le rôle compensatoire des gestes à la fois chez les élèves avec une DI et chez les élèves appariés sur LA.

Finalement, dans leur étude longitudinale auprès de 16 enfants avec une DI de 3 à 5 ans, Vandereet et al. (2011) relèvent que, bien qu'une augmentation du niveau de langage oral entre le premier et le sixième temps de mesure (tous les 4 mois sur une période de 2 ans) soit observée, le nombre de gestes demeure stable dans le temps. Cette observation diffère des résultats observés chez les élèves typiques pour lesquels le nombre de gestes diminue de manière significative avec le développement des compétences langagières (Özçalışkan & Goldin-Meadow, 2009).

Ces résultats mettent donc en évidence que les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes que les enfants typiques appariés sur l'âge mental (5/6) et sur l'âge chronologique (3/3). Pour Galeote et al. (2011), cette constatation s'explique par les difficultés rencontrées dans le langage oral par les élèves avec une DI. À ce sujet, l'étude de Stefanini et al. (2007) confirme que, par rapport aux enfants typiques, les élèves DS produisent un plus grand nombre de réponses inintelligibles, mais utilisent davantage de gestes iconiques. Ainsi, les gestes comme chez les élèves ayant des troubles du langage facilitent et soutiennent l'expression verbale lorsque les capacités linguistiques sont altérées (Lavelli & Majorano 2016). Cette constatation rejoint les résultats émis, chez des enfants typiques, par Reynolds et Reeves (2002) et Bikner-Ahsbahs (2004). En effet, ceux-ci montrent que les gestes permettent de compenser un lexique non maîtrisé et d'exprimer une compréhension des concepts avant de pouvoir le faire verbalement.

3.2.4 Types de gestes utilisés chez les élèves avec une DI

La deuxième question de recherche s'intéressait aux types de gestes produits par les participants avec une DI en comparaison avec leurs pairs typiques. Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11

Les types de gestes utilisés chez les élèves avec une DI en comparaison aux élèves typiques

	Contrôle : Âge mental (MA)	Contrôle : Âge chrono. (CA)	Contrôle : Âge verbal (LA)
SW Mastrogiuseppe et Lee (2017) <i>n</i> = 11	DI ico. > MA ico. (<i>p</i> = .016)	DI ico. > CA ico. (<i>p</i> = .001)	-
Bello et al. (2004) <i>n</i> = 10	DI ico. > MA ico. (<i>p</i> = .001)	DI ico. > CA ico. (<i>p</i> = .001)	-
SD Stefanini et al. (2007) <i>n</i> = 15	ID ico. > MA ico. (<i>p</i> < .05)	DI ico. > CA ico. (<i>p</i> < .01) DI pnt > CA pnt (<i>p</i> < .001) MA pnt > CA pnt (<i>p</i> < .01)	-
Stefanini et al. (2008) <i>n</i> = 15	DI ico. > MA ico. (<i>p</i> < .001) DI pnt < MA pnt (<i>p</i> < .001)	-	DI ico. > LA ico. (<i>p</i> < .01) DI pnt < LA pnt (<i>p</i> < .001)
Iverson et al. (2003) <i>n</i> = 5	-	-	DI ico. = LA ico. n.s DI pnt = LA pnt n.s
Total	4 études sur 4: DI ico. > MA ico. 1 étude sur 4: DI pnt < MA pnt	3 études sur 3 : DI ico. > CA ico. 1 étude sur 3 : DI pnt > CA pnt	

Notes : DI= Déficience intellectuelle ; SW = Syndrome de Williams ; SD = Syndrome de Down ; MA = groupe contrôle selon l'âge mental ; CA = groupe contrôle selon l'âge chronologique ; LA = groupe contrôle selon l'âge verbal ; > = utilisent plus de gestes que ; < = utilise moins de gestes que ; n.s = non significatif ; ico = gestes iconiques ; pnt = gestes de pointage

Premièrement, les résultats (tableau 11) mettent en évidence que, dans quatre études sur quatre ayant analysé les types de gestes selon le modèle de McNeil (1992), les auteurs constatent que les élèves avec une DI utilisent significativement plus les gestes iconiques que leurs pairs appariés selon le MA, le CA ou le LA. Dans l'étude de Stefanini et al. (2008), les gestes iconiques sont le plus souvent produits lors de réponses incorrectes, inintelligibles ou non verbalisées. Les auteurs suggèrent qu'ils permettent à l'enfant d'exprimer un concept absent de son répertoire verbal. Ce constat se retrouve chez Stefanini et al. (2007), lesquels mettent en évidence que les enfants atteints d'un SD produisent 67 gestes iconiques contenant des informations correctes, mais manquantes à la parole. Les enfants typiques ne produisent que 8 gestes iconiques avec des significations similaires au mot cible. Cette constatation suggère que certaines caractéristiques sémantiques des mots sont principalement codées sous forme sensorimotrice, comme démontré par Bates et Dick (2002) auprès de jeunes enfants typiques. Ainsi, lorsque la représentation de la signification d'un mot est intacte chez l'enfant, mais difficilement exprimable par le langage oral, elle peut être communiquée par les gestes

(Stefanini et al., 2008). Cette expression multimodale permet de diminuer significativement la différence du niveau de précision entre les enfants avec une DI et les enfants typiques. Tout en soulignant que les enfants avec une DI peuvent avoir une connaissance conceptuelle plus approfondie par rapport à celle qu'ils peuvent exprimer dans le discours (Mastrogiuseppe & Lee, 2017).

Deuxièmement, les gestes de pointage sont également utilisés à de nombreuses reprises par les élèves avec une DI. Dans quatre études sur cinq (Bello et al., 2004; Iverson et al., 2003; Stefanini et al., 2007, 2008), c'est le type de gestes le plus fréquemment utilisé et ceci, quel que soit le groupe considéré. Cette constatation se retrouve dans l'étude longitudinale de Vandereet et al. (2011) dans laquelle les élèves avec une DI utilisent en moyenne entre 84% et 93% de gestes de pointage. Les gestes de pointage sont également les plus utilisés chez les enfants pour qui des lésions bilatérales de la zone corticale ont montré une altération du développement des gestes spontanés (Saletti et al., 2007). Pour les auteurs des différentes études, l'utilisation des gestes de pointage lorsque le vocabulaire est limité permet à l'enfant avec une DI de créer du sens en indiquant à l'adulte le référent sur lequel il souhaite donner des informations. Le geste de pointage peut aussi déclencher en mémoire la connaissance sémantique d'un mot recherché (Stefanini et al., 2008). Ces deux constats corroborent les résultats mis en évidence par les études chez les élèves typiques. En effet, l'enfant de 11 mois utilise premièrement les gestes de pointage pour orienter l'attention d'une autre personne de telle sorte que l'objet désiré devienne le centre de l'attention partagée (Butterworth, 2003; Capone & McGregor, 2004). Il semble donc que les gestes de pointage soient utilisés de manière similaire chez les élèves avec une DI, mais que ceux-ci soient retardés dans leur apparition (Stefanini et al., 2007).

3.2.5 Modalités d'expression utilisées chez les élèves avec une DI

La troisième question de recherche s'intéressait aux modalités d'expression gestes-discours produites par les participants avec une DI en comparaison avec leurs pairs typiques. Les résultats sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12

Modalités d'expression utilisées par les élèves avec une DI et les élèves typiques

		Contrôle : Âge mental (MA)	Contrôle : Âge chrono. (CA)	Contrôle : Âge verbal (LA)
SW	Mastrogiuseppe & Lee (2017) <i>n</i> = 11	DI uniG > MA uniG (<i>p</i> = .044)	DI uniG > CA uniG (<i>p</i> = .003)	-
SD	Stefanini et al. (2007) <i>n</i> = 15	DI uniG > MA uniG (<i>p</i> < .001) DI bi G+D = MA bi G+D (<i>p</i> > .05) DI uniD < MA uniD (<i>p</i> = .09 n.s.)	DI uniG > CA uniG (<i>p</i> < .001) DI bi G+D > CA bi G+D (<i>p</i> < .001) DI uniD < CA uniD (<i>p</i> < .001)	-
	Stefanini et al. (2008) <i>n</i> = 15	DI uniG > MA uniG (<i>p</i> < .05) DI bi G+D > MA bi G+D (<i>p</i> < .001) DI uniD < MA uniD (<i>p</i> < .001)		DI uniG > LA uniG (<i>p</i> < .05) DI bi G+D < LA bi G+D (<i>p</i> < .001) DI uniD > LA uniD (<i>p</i> < .001)
	Galeote et al. (2008) <i>n</i> = 66	DI uniG > MA uniG (<i>p</i> < .000) $\eta^2_p = 0.110$ DI bi G+D = MA bi G+D DI uniD < MA uniD n.s.	-	-
	Galeote et al. (2011) <i>n</i> = 186	DI uniG > MA uniG (<i>p</i> < .000) $\eta^2_p = 0.021$ DI bi G+D = MA bi G+D. DI uniD < MA uniD n.s.	-	-
Total		5 études sur 5: DI uniG > MA uniG 3 études sur 4 : DI bi G+D = MA bi G+D 4 études sur 4 DI uniD < MA uniD, mais 3 études n.s	2 études sur 2 : DI uniG > MA uniG	1 étude sur 1 : DI uniG > LA uniG

Notes : DI= Déficience intellectuelle ; SW = Syndrome de Williams ; SD = Syndrome de Down ; MA = groupe contrôle selon l'âge mental ; CA = groupe contrôle selon l'âge chronologique ; LA = groupe contrôle selon l'âge verbal ; > = utilisent plus de gestes que ; < = utilise moins de gestes que ; n.s = non significatif ; uniG = modalité unimodale « geste » ; uniD = modalité unimodale discours ; bi G+D = modalité bimodale gestes et discours

Les résultats stipulent dans cinq études sur cinq que les élèves avec une DI utilisent significativement plus de la modalité gestes seuls (uniquement des gestes) que les enfants typiques. À titre d'exemple, chez Stefanini et al. (2007), tous les enfants avec une DI font des gestes seuls alors que seulement 53% des enfants MA et 60% des enfants CA les utilisent. Chez Mastrogiuseppe et Lee (2017), seuls les élèves avec un SW produisent une communication gestuelle sans langage. Finalement, dans l'étude de Vandereet et al. (2011), lors du premier temps de mesure, 84.2% des productions ne contiennent que des gestes, cette modalité reste d'ailleurs la plus représentée lors de tous les temps de mesure ultérieurs.

Deux études (Stefanini et al., 2007 ; Stefanini et al., 2008) relèvent que la modalité bimodale (combinant gestes et discours) est significativement plus utilisée par les élèves avec une DI par rapport aux élèves contrôles (MA et CA). Afin d'analyser le contenu des productions bimodales, Stefanini et al. (2007) ont calculé les occurrences dans lesquelles les enfants produisent un mot et un geste se référant à un concept similaire (concordance) et à un concept différent (non-concordance). Le nombre de concordances (130 sur 151) est significativement plus élevé que les non-concordances (21 / 151). Les auteurs concluent que le discours et les gestes participent ensemble de manière cohérente à la transmission des contenus. L'étude des fonctions liées au langage laisse apparaître que les jeunes élèves avec une DI (2 à 8 ans) font significativement plus de gestes redondants que leurs pairs typiques (Iverson et al., 2003 ; Stefanini et al., 2007). Par exemple, chez Iverson et al. (2003), les enfants SD ont produit deux fois plus de combinaisons redondantes et deux fois moins de combinaisons complémentaires que les élèves TD. Ces combinaisons fortement imbriquées font dire à Stefanini et al. (2007) que les gestes renforcent et complètent les informations véhiculées dans le langage verbal. Cette constatation rejoint les nombreuses observations faites chez les élèves typiques (Kita et al., 2017), tout comme chez les élèves aveugles qui n'ont jamais vu de gestes (Iverson & Goldin-Meadow, 2001), chez les élèves sourds (Goldin-Meadow, 2003), chez les patients aphasiques (Hadar et al., 1998) et chez les élèves ayant des troubles du langage oral (Lavelli & Majorano, 2016). La préférence pour l'utilisation des gestes redondants chez les élèves avec une DI amène Iverson et al. (2003) à formuler l'hypothèse suivante : étant donné que les combinaisons complémentaires et supplémentaires sont cognitivement plus sophistiquées, les enfants avec une DI pourraient les produire plus tard dans leur développement. Cette hypothèse se retrouve dans le développement des gestes des élèves typiques chez qui les productions redondantes sont les premières à faire leur apparition. Les combinaisons complémentaires apparaissent vers 20 mois en même temps que la combinaison de deux mots (Capirci & Volterra, 2008). Une seule étude a mesuré le moment d'apparition des gestes par rapport au moment d'apparition du langage verbal dans les productions bimodales (Mastrogiuseppe & Lee, 2017). Comparés aux élèves typiques appariés sur l'âge chronologique, les participants avec un SW ont produit un plus grand nombre de gestes iconiques précédant le langage verbal. Pour les auteurs, ces résultats soulignent que les gestes permettent d'amorcer la recherche d'un mot, afin de le récupérer en mémoire.

Finalement, toutes les études ont mis en évidence que les élèves avec une DI utilisent significativement moins la modalité discours seul (seulement du discours) que leurs pairs appariés sur le MA ou le CA. Par contre, comparés au groupe LA (même âge verbal), les élèves avec une DI utilisent davantage le discours seul (Stefanini et al., 2008).

3.2.6 Fonctions des gestes chez les élèves avec une DI

Les similitudes constatées dans la quantité de gestes effectués par les enfants avec une DI par rapport aux élèves typiques, dans les types de gestes qu'ils produisent et dans la façon dont ils correspondent à la parole, suggèrent que les enfants avec une DI les utilisent également pour exprimer leurs pensées. Les auteurs des articles de la revue proposent plusieurs hypothèses concernant les différentes fonctions des gestes chez les élèves présentant une DI. Cependant, toutes les études infèrent les fonctions gestuelles à partir de la fréquence, du type de gestes et de leurs liens avec la parole. Aucune des études n'a manipulé la présence ou l'absence de gestes pour tester l'effet réel de l'une des fonctions, ne fournissant de ce fait que des preuves indirectes de leurs effets.

Cinq études sur six font l'hypothèse que les gestes ajoutent des informations supplémentaires au langage verbal pour compenser les difficultés à produire des mots (Galeote et al., 2008, 2011; Manghi Haquin et al., 2019; Mastrogiuseppe & Lee, 2017; Vandereet et al., 2011). En particulier dans le domaine spatial, Mastrogiuseppe et Lee (2017) soulignent que les élèves avec un SW utilisent un langage spatial avec une fréquence similaire aux élèves MA et CA, mais produisent significativement plus de gestes transmettant des informations spatiales que les groupes contrôles MA et CA. Les auteurs concluent que les gestes sont utilisés pour compenser les difficultés de représentation spatiale.

Une deuxième fonction relevée par deux études est celle de la récupération des informations ou des mots en mémoire (Mastrogiuseppe & Lee, 2017 ; Bello et al., 2004). Dans l'étude de Bello et al. (2003), les gestes iconiques ont aidé les participants avec un SW à rechercher un mot lorsqu'ils ne trouvaient pas l'étiquette verbale appropriée à l'image qu'ils avaient sous les yeux. À titre d'exemple, ce type de geste est produit par les enfants avec un SW sur 30 images du test (BNT), alors qu'il se retrouve sur seulement 9 images pour les personnes MA et sur 11 images pour les élèves CA. Les auteurs relèvent également que les gestes iconiques sont réalisés par tous les élèves sur plusieurs cartes identiques (en particulier sur celles plus complexes, comme par exemple le stéthoscope). Ces observations permettent d'émettre l'hypothèse selon laquelle ce ne sont pas les représentations sémantico-lexicales qui sont appauvries chez les enfants avec un SW, mais plutôt leurs procédures d'accès. Dans ce cadre, les gestes produits pendant le discours (avec des circonlocutions ou des substitutions de mots) permettent l'activation d'un espace conceptuel commun (McNeill, 2000) et favorisent la récupération des informations.

Finalement, la recherche de Hord et al. (2016) permet de dégager quatre résultats principaux illustrés dans la figure 24, qui sont proches des fonctions relevées par Kita et al. (2017) dans leur revue de littérature chez les élèves typiques. Chez les élèves avec une DI, les gestes favorisent la compréhension des concepts, en particulier lorsque ceux-ci sont nouveaux ; ils améliorent la communication d'un concept à d'autres personnes ; ils aident à la visualisation et

à la représentation mentale des données d'un problème et ils facilitent la résolution de tâches comportant plusieurs étapes en soulageant la mémoire de travail.

Ainsi les gestes plus abondants chez les élèves avec une DI peuvent suggérer que non seulement ils jouent un rôle communicatif en soutien du langage verbal, mais qu'ils fournissent aussi une alternative pour organiser et communiquer les informations qui ne sont pas encore entièrement conceptualisées. Les gestes pourraient ainsi co-déterminer le discours (Kelly, 2001), activer un espace conceptuel-sémantique commun (Mastrogiuseppe & Lee, 2017; McNeill, 2000) et changer le cours de la parole et de la pensée (Kita et al., 2017).

Figure 24

Fonctions des gestes chez les élèves avec une DI : figure schématisée par l'auteure



3.2.7 Que retenir ?

Cette revue de littérature met en évidence 4 éléments essentiels.

Premièrement, les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes que les enfants typiques appariés sur l'âge mental (5/6) et sur l'âge chronologique (3/3). Selon les auteurs de la revue, cet usage plus fréquent des gestes souligne que ceux-ci sont utilisés pour compenser les difficultés rencontrées dans le langage oral et qu'ils permettent d'exprimer une compréhension des concepts même si celle-ci n'est pas formulée verbalement.

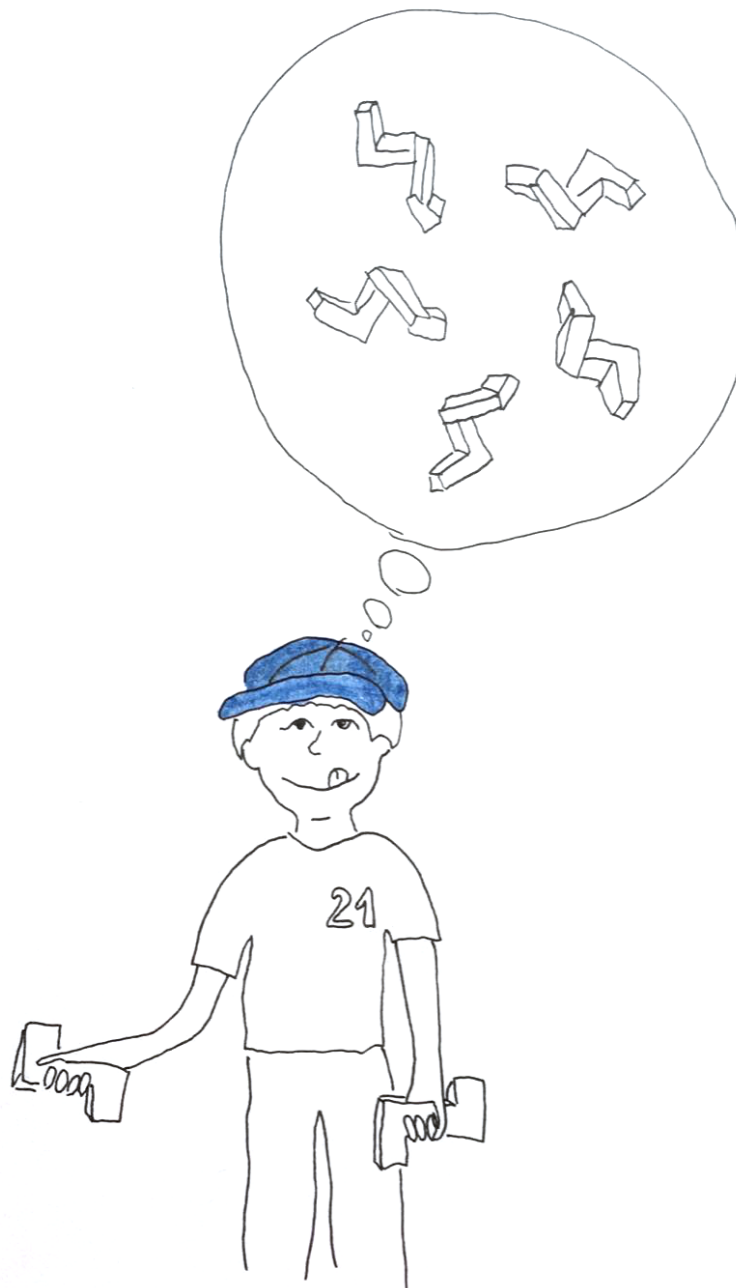
Deuxièmement, les résultats de la revue corroborent le modèle des différents types de gestes de McNeill (1992). La revue de littérature met, de manière plus précise en évidence, que les élèves avec une DI tout comme les élèves typiques recourent davantage aux gestes de pointage et que les gestes iconiques sont privilégiés par les élèves avec une DI (4/5). Certaines caractéristiques sémantiques des mots ou des objets sont donc exprimées par les gestes.

Troisièmement, les résultats de la revue soulignent que parmi les trois modalités mesurées dans 7 études (gestes seuls, discours et gestes, et discours seul), les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes seuls que les élèves typiques MA (4/5) et CA (2/2). La production bimodale est soit plus utilisée (2 études) par les élèves avec une DI, soit égale au groupe contrôle (4 études). La modalité discours seul, sans accompagnement de gestes, est significativement moins utilisée chez les élèves avec une DI que chez les élèves typiques dans toutes les études analysées.

Finalement, les gestes semblent avoir les mêmes fonctions chez les élèves avec une DI que chez les élèves typiques, ne montrant pas (sauf pour des populations cliniques spécifiques comme les élèves avec un trouble du spectre de l'autisme ou ceux ayant une lésion corticale) une altération des gestes malgré la DI. La prise en compte des gestes peut donc aider l'élève à organiser, à mémoriser et à communiquer des contenus de manière améliorée, car le geste endosse lui-même des caractéristiques identiques au langage verbal (Mastrogriuseppe & Lee, 2017). En effet, la revue relève l'existence d'un lien solide entre le geste et le langage verbal chez les élèves avec une DI et cela malgré les difficultés langagières spécifiques à cette population.

Ces différents constats permettent la formulation de plusieurs questions et hypothèses de recherche pour la partie expérimentale. Elles seront présentées dans le chapitre suivant.

4. Problématique : Le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez les élèves avec une déficience intellectuelle



Les trois revues de littérature ont permis l'élaboration des questions et des hypothèses de recherche qui seront présentées dans ce chapitre.

4.1 Questions de recherche

La question de recherche qui sera principalement vérifiée est la suivante : comment, dans une tâche de rotation mentale, les gestes et le discours interagissent-ils chez des élèves avec une DI par rapport aux élèves typiques appariés sur le même niveau visuo-spatial et le même niveau verbal ?

Cinq sous-questions seront ensuite explorées :

(1) Combien de gestes les élèves avec une DI utilisent-ils comparativement aux élèves typiques ? Le nombre de gestes varie-t-il selon certains facteurs personnels ou environnementaux tels que, par exemple, leur niveau de langage, leur niveau d'habileté motrice, les niveaux de la tâche, etc. ?

(2) Quels sont les gestes utilisés par les élèves avec une DI ? Ces élèves utilisent-ils des types de gestes différents comparativement aux élèves typiques, si oui lesquels ? Certains types de gestes, respectivement de discours, sont-ils corrélés à la réussite des tâches de rotation mentale ?

(3) Quelles sont les modalités d'expression (combinaisons gestes-discours) utilisées par les élèves avec une DI, et par les élèves typiques ? Ces combinaisons varient-elles en fonction du niveau intellectuel ?

(4) Quelles sont les fonctions des gestes qui sont utilisées par les élèves avec une DI, et par les élèves typiques ?

(5) Comment les concepts sont-ils exprimés au travers des gestes chez les élèves avec une DI, et chez les élèves typiques ? La réussite à la tâche de rotation mentale varie-t-elle selon certains facteurs personnels ou environnementaux tels que, par exemple, un environnement en 3D ou des exercices en format 2D ?

Le tableau 13 présente les différentes hypothèses formulées. Les hypothèses portant sur le rôle des gestes dans les habiletés de rotation mentale, qui découlent de la première revue de littérature, sont indiquées en bleu. Celles sur le développement de la rotation mentale chez les élèves avec une DI, qui découlent de la deuxième revue de littérature, sont indiquées en vert, celles sur le rôle des gestes chez élèves avec une DI, issues de la troisième revue, sont exposées en blanc.

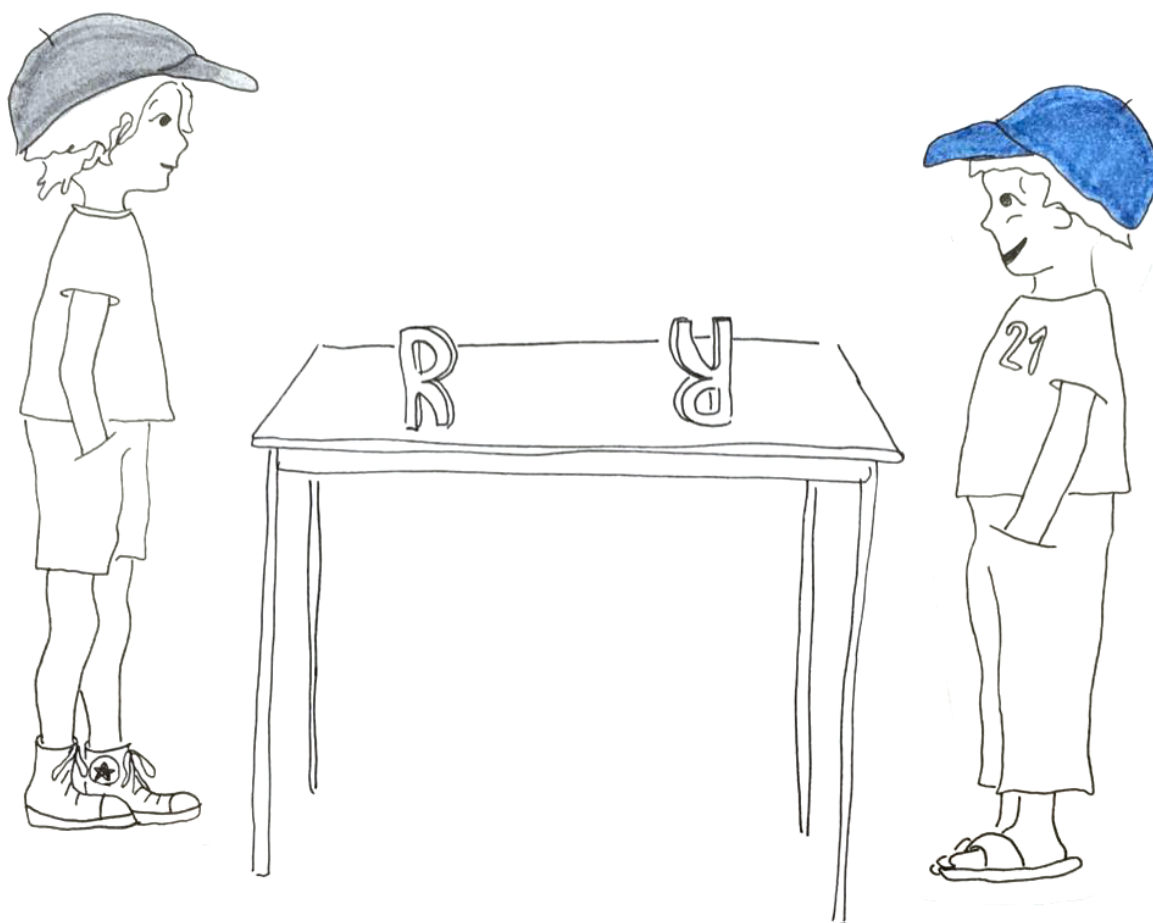
4.2 Hypothèses de recherche

Tableau 13

Synthèse des questions et hypothèses de recherche

Q1 : Combien de gestes les élèves avec une DI utilisent-ils comparativement aux élèves typiques ? Le nombre de gestes varie-t-il selon certains facteurs personnels ou environnementaux tels que, par exemple, leur niveau de langage, leur niveau d'habileté motrice, les niveaux de la tâche, etc. ?
H1 Le nombre de gestes est plus élevé chez les élèves avec une déficience intellectuelle que chez les enfants typiques
H2 Les élèves ayant un plus faible empan visuo-spatial et une moins bonne coordination visuo-motrice produisent significativement moins de gestes iconiques
H3 Plus le niveau de langage oral de l'élève est faible, plus la production de gestes est importante
H4 Plus les élèves ont un niveau psychomoteur élevé, plus le nombre de gestes produits est élevé.
H5 Plus le niveau de complexité de la tâche augmente, plus l'élève a recours aux gestes pour réaliser ou expliquer la tâche
H6 Malgré l'appui sur les gestes, les élèves avec une DI obtiennent des performances plus faibles dans une tâche de rotation mentale que leurs pairs typiques
Q2 : Quels sont les gestes utilisés par les élèves avec une DI ? Ces élèves utilisent-ils des types de gestes différents comparativement aux élèves typiques, si oui lesquels ? Certains types de gestes, respectivement de discours, sont-ils corrélés à la réussite des tâches de rotation mentale ?
H1 Les gestes les plus utilisés par l'ensemble des élèves sont les gestes de pointage
H2 Les gestes iconiques sont plus utilisés par les élèves avec une DI que par leurs pairs typiques
H3 L'utilisation des gestes iconiques est corrélée avec la réussite de la tâche
H4 Les gestes et le discours faisant référence au mouvement sont corrélés avec la réussite dans une tâche
Q3 : Quelles sont les modalités d'expression (combinaisons gestes-discours) utilisées par les élèves avec une DI, et par les élèves typiques ? Ces combinaisons varient-elles en fonction du niveau intellectuel ?
H1 les élèves typiques utilisent plus de discours seul que les élèves avec une DI
H2 Les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes seuls que les élèves typiques
H3 Les stratégies spatiales exprimées par la parole seule ne prédisent pas la réussite à la tâche de rotation mentale
Q4 : Quelles sont les fonctions des gestes qui sont utilisées par les élèves avec une DI, et par les élèves typiques ?
H1 En raison de leur âge chronologique plus avancé (12 à 18 ans), les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes pour préciser le langage que pour donner des informations redondantes ou supplémentaires
H2 Les élèves avec une DI utilisent les gestes pour activer, manipuler, organiser, explorer les contenus de la tâche
(5) Comment les concepts sont-ils exprimés au travers des gestes chez les élèves avec une DI, et chez les élèves typiques ? La réussite à la tâche de rotation mentale varie-t-elle selon certains facteurs personnels ou environnementaux tels que, par exemple, un environnement en 3D ou des exercices en format 2D ?
H1 Les élèves expriment par les gestes des stratégies spatiales qui ne sont pas exprimées par le langage

5. Méthode



Ce chapitre présente tout d'abord le setting expérimental utilisé dans la recherche, la sélection des participants, la description du groupe expérimental et des groupes contrôles. Il présente ensuite les tests retenus pour mesurer les variables indépendantes et la batterie de tâches spatiales utilisées pour observer les gestes des participants. Le chapitre se termine par la présentation des procédures de codage telles qu'appliquées aux données, la vérification de la fidélité procédurale et du codage inter-juges des tâches.

Cette recherche s'appuie sur un plan expérimental de type *3x2 Between Subjects Factorial Design*, ce qui signifie qu'elle compare trois groupes (des élèves avec un diagnostic de DI versus des élèves typiques appariés sur le niveau visuo-spatial ou sur le niveau de langage oral) dans une tâche impliquant la manipulation mentale d'objets volumétriques de deux niveaux de complexité.

5.1 Setting expérimental

Le setting expérimental de la recherche se compose d'une phase pré-expérimentale et d'une phase expérimentale. La phase pré-expérimentale a permis de tester les conditions de passation, les tâches, les consignes, le matériel, le positionnement des élèves et de l'expérimentateur, la durée de passation, les tests standardisés et le cadrage de la caméra. Cette phase a duré 8 mois et s'est déroulée en deux parties, la phase à blanc (pour tester plusieurs tâches différentes) et la phase pilote (pour tester l'entier du protocole). La phase expérimentale a duré 16 mois et a inclus trois étapes : le recueil des données auprès des élèves avec une DI, le passage dans plusieurs classes primaires de différents degrés afin de constituer des groupes contrôles et finalement le recueil des données auprès des élèves des deux groupes contrôles. Le détail des deux phases est présenté dans le tableau 14.

Tableau 14

Déroulement et calendrier de l'étude

	Phase pré-expérimentale		Phase expérimentale		
	Phase à blanc	Phase pilote	Groupe expérimental	Recherche des groupes contrôles	Groupes contrôles
N participants Genre	N = 9	N = 4 Filles 2; Garçons 2	N = 24 (-4) ¹¹ Filles 7; Garçons 13	N = 131	N = 40 (2x20) Filles 15; Garçons 25
Age	11-13 ans	13-15 ans	12-18 ans	2-11 ans	3-11 ans
But	Calibrer, adapter, tester les tâches de la batterie chez des élèves sans DI, mais avec des difficultés d'apprentissage	Tester l'ensemble du protocole (tests standardisés), la batterie de tâches, la prise de données, le codage, le temps de passation chez des élèves avec une DI	Administrar la batterie de tâches, ainsi que les tests standardisés	Évaluer les élèves à l'aide de 4 tests pour identifier ceux pouvant servir de contrôles	Administrar la batterie de tâches, ainsi que les tests standardisés
Nombre de séances	1 séance de 45' par élève = 9 séances	4 x 3 séances de 45' avec chaque élève + 2 séances en classe = 14 séances	24 x 3 séances de 45' avec chaque élève + 4 séances en classe = 76 séances	7 x 3 séances de 45' = 21 séances	40 x 2 séances de 45' avec chaque élève = 84 séances
Période de recueil des données	Mai-juin 2018	Septembre-décembre 2018	Mars-juin 2019	Septembre-décembre 2019	Décembre-juin 2020

¹¹ Quatre enfants ont été retirés de l'échantillon car leurs résultats aux tests des Matrices de Raven et de l'ABAS-II ne permettaient pas de confirmer le diagnostic de déficience intellectuelle

5.2 Participants

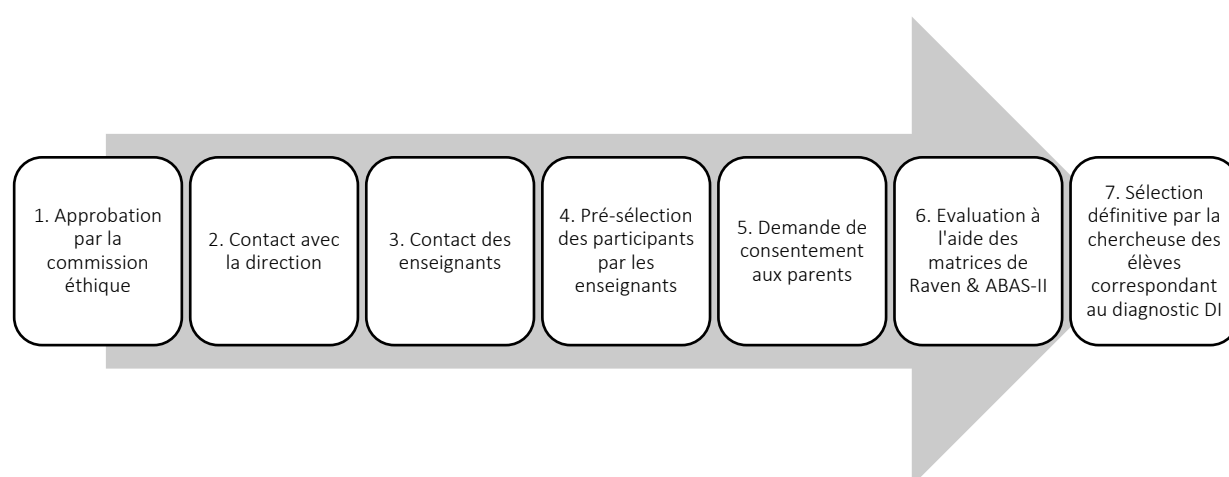
Ce sous-chapitre présente la procédure de sélection des participants, ainsi que les critères d'inclusion utilisés pour sélectionner les élèves dans les différents groupes (expérimental et contrôles).

5.2.1 Procédure de recrutement des participants

La procédure de recrutement pour le groupe expérimental s'est déroulée en 7 étapes de la manière suivante (Figure 25).

Figure 25

Procédure de recrutement des participants avec une DI



1. Approbation par la commission d'éthique de la recherche : l'étude a reçu l'accord de la commission cantonale vaudoise d'éthique de la recherche sur l'être humain (CER-VD) le 28.03.2019. Des autorisations ont également été reçues de la part du Service de l'enseignement obligatoire du canton de Fribourg (SENOF)¹², du comité de coordination de la recherche dont fait partie la direction générale de l'enseignement obligatoire du canton de Vaud (DGEO)¹³, du Service de l'enseignement spécialisé du canton de Vaud (SESAP)¹⁴ et du Service de l'enseignement spécialisé du canton de Fribourg (le SESAM)¹⁵.
2. Contact avec les établissements spécialisés : Les directions de 4 établissements spécialisés dans les cantons de Vaud et de Fribourg (tableau 15) ont été contactées par écrit/téléphone, toutes ont accepté de participer à la recherche. Deux établissements

¹² le 04.04.2019

¹³ le 19.06.2018

¹⁴ le 19.06.2018

¹⁵ le 01.03.2019

ont demandé à rencontrer la chercheuse afin qu'elle explique les buts et le déroulement de la recherche. La direction a ensuite adressé une demande (via le mail ou via les séances d'information du mercredi après-midi) à tous les enseignants de l'établissement ayant des élèves âgés de 12 à 18 ans. Le choix de contacter quatre établissements dans deux cantons différents se justifie par l'intention d'éviter un effet « établissement » ou une spécificité cantonale.

Tableau 15

Distribution des participants avec une DI par établissement et par canton

Établissement	Canton	N (enfants)
Phase pré-expérimentale		
Établissement A	Vaud	2
Établissement B	Vaud	2
Phase expérimentale		
Établissement A	Vaud	7 (-3)* = 4
Établissement B	Vaud	3 (-1)* = 2
Établissement C	Fribourg	9
Établissement D	Fribourg	3
TOTAL		24 (-4)* = 20

Notes : *(-3) et (-1) signifie que ces élèves ont été retirés de l'échantillon en raison d'un score aux Matrices de Raven et/ou à l'ABAS-II dans la norme

3. Contact avec les enseignants : tous les enseignants des établissements concernés désirant participer à la recherche ont été rencontrés par la chercheuse pour qu'elle leur expose les buts, le déroulement, les critères d'inclusion dans l'échantillon et la procédure de pré-sélection des élèves.
4. Pré-sélection des participants par les enseignants : Les enseignants (parfois avec l'appui de la direction) ont identifié puis choisi aléatoirement des élèves, parmi ceux qui, dans leur classe, correspondaient aux critères d'inclusion. La procédure était identique pour les deux phases pré-expérimentale et expérimentale. Lors de la pré-sélection, plusieurs autres élèves de la classe ont exprimé leur déception de ne pas pouvoir participer à la recherche. Il a donc été décidé de faire systématiquement une séance avec tous les élèves de la classe (construction de polyèdres) afin d'inclure aussi les autres élèves dans la recherche (bien que cette leçon spécifique ne fasse pas partie des données analysées).
5. Demande de consentement aux parents : les parents ont ensuite été contactés par courrier. Des informations expliquant la recherche, ainsi que les implications d'une participation de leur enfant et la demande de consentement, leur ont été transmises via l'enseignant titulaire. Ces informations apportaient aussi des précisions quant au

traitement, à la confidentialité et au stockage des données ont été données. Il a été également expliqué que les parents et les participants avaient la liberté d'interrompre la recherche à tout moment sans donner de justification. Les parents ayant des difficultés au niveau de la langue française, des difficultés de compréhension, ou des questions spécifiques ont été contactés par téléphone par les enseignants titulaires et/ou par la chercheuse. Pour les élèves de plus de 12 ans, un consentement écrit a également été sollicité. Plusieurs parents ont pris contact avec les enseignants ou la chercheuse, leur principale inquiétude était de s'assurer que les vidéos ne seraient en aucun cas diffusées sur internet. Seuls les participants ayant obtenu le double accord ont été impliqués dans la recherche. Aucun participant n'a arrêté la recherche en cours de route.

6. Tests des Matrices de Raven et de l'ABAS-II : les participants ont ensuite été testés à l'aide des Matrices de Raven et les enseignants ont rempli l'ABAS-II au sujet de leurs élèves. Comme déjà mentionné, 4 participants ont été retirés de l'échantillon composant le groupe expérimental (score aux Matrices de Raven de 30, 31, 33 et 34 sur 36) et à l'ABAS-II (QI de 102, 106, 101 et 85)¹⁶. Ces participants ont toutefois effectué l'entier des tests standardisés, ainsi que la batterie de tâches spatiales. En effet, ils avaient accepté la participation à l'étude et exprimé une grande motivation lors du passage des tests, l'entier des séances prévues a donc aussi été réalisé avec eux aussi. Les données les concernant n'ont cependant pas été incluses dans l'analyse.
7. Sélection définitive par la chercheuse : les élèves remplissant les critères d'inclusion et ayant obtenu des scores au test de Matrice de Raven et/ou à l'ABAS-II en-dessous de la moyenne (2 écarts-types) ont été inclus dans l'échantillon.

¹⁶ Le fait que ces élèves ont reçu un diagnostic préalable de déficience intellectuelle peut s'expliquer par différents facteurs. Il est possible que leur test de QI ait été fait il y a plusieurs années, et que des progrès significatifs soient intervenus depuis chez les élèves concernés. Une autre possibilité est que le diagnostic disponible ait été posé à partir d'un test de QI, sans adjonction d'une mesure de comportement adaptatif, laquelle permet de diminuer le risque de faux-positifs (Tassé et al., 2012) faisant passer la prévalence de la DI de 3% à 1.14% (Maulik et al., 2011). Finalement, la recherche montre que chez les élèves orientés dans l'enseignement spécialisé en raison d'un diagnostic de DI, le nombre d'élèves éligibles au diagnostic varie selon les tests utilisés (INSERM, 2016).

5.2.2 Critères d'inclusion

Dans la 1^{ère} étape de la phase pré-expérimentale (dite phase à blanc), les critères d'inclusion étaient les suivants :

Critères d'inclusion des enfants dans la phase pré-expérimentale

- Être âgé de 12 à 18 ans
- Être au bénéfice de prestations de l'enseignement spécialisé (MAR, classe de développement ou institutions spécialisées)

Pour cette phase, le diagnostic de DI n'a pas été pris en compte. Aucun critère d'exclusion n'a été formulé concernant d'éventuels troubles associés (par exemple moteurs, visuels). Il s'agissait en effet d'une première étape principalement destinée au calibrage du matériel (évaluer le temps de passation, pouvoir proposer différentes variantes des tâches en testant par exemple les avantages d'une passation en individuel ou en confrontant les points de vue de deux ou plusieurs élèves).

Dans la phase pilote, ainsi que pour la phase expérimentale, les critères d'inclusion retenus étaient les suivants :

- **Critères d'inclusion des enfants avec un diagnostic de déficience intellectuelle**
 - Être âgé de 12 à 18 ans
 - Être au bénéfice de prestations de l'enseignement spécialisé et avoir reçu le diagnostic de déficience intellectuelle
 - Être de langue maternelle française ou avoir une maîtrise suffisante du français parlé
 - Avoir une bonne vision binoculaire (afin d'être sûr de percevoir la profondeur lors de tâches spatiales)
 - Ne pas présenter de troubles moteurs diagnostiqués

Les critères retenus ont été opérationnalisés de la façon suivante : les élèves sélectionnés dans l'étude pilote et dans le groupe expérimental devaient être au bénéfice de prestations de l'enseignement spécialisé et avoir reçu le diagnostic de DI posé préalablement par un spécialiste. Concernant le diagnostic de DI, nous n'avons pas eu accès au dossier des élèves, c'est pourquoi cette étude a pris le parti de tester le niveau de raisonnement analogique appelé aussi « intelligence fluide » par le test standardisé des Matrices de Raven et de compléter cette mesure par celle du comportement adaptatif (ABAS-II) rempli par les enseignants.

Un autre critère convient d'être explicité, il s'agit de la manière dont s'est fait le choix d'inclure ou non des participants n'étant pas de langue maternelle française. Ce sont les enseignants et les parents des élèves qui ont évalué si l'élève possédait un niveau de français suffisant leur

permettant de saisir les consignes sans hésitation de compréhension du français oral, de manière à utiliser des gestes conformément à la langue parlée.

Les critères d'inclusion retenus pour recruter les participants des groupes contrôles faisant partie de l'étude expérimentale, étaient les suivants :

- **Critères d'inclusion des enfants typiques (N = 2x 20)**
 - Ne pas être au bénéfice de prestations de l'enseignement spécialisé et ne pas avoir reçu le diagnostic de déficience intellectuelle (ni de MAO)
 - Ne pas avoir de troubles moteurs diagnostiqués
 - Ne pas avoir de dyschromatopsie
 - Avoir une bonne vision binoculaire (afin d'être sûr de percevoir la profondeur dans les tâches spatiales)
 - Être de langue maternelle française ou avoir une maîtrise suffisante du français parlé

5.2.3 Caractéristiques sociodémographiques

Afin de recueillir les données sociodémographiques (tableau 16), un questionnaire a été complété par les enseignants. Il a permis une description des caractéristiques de l'échantillon (âge, genre, etc.). Des tests standardisés ont ensuite été administrés, afin de caractériser les trois groupes¹⁷ plus en détail.

Tableau 16

Données socio-démographiques des groupes ayant participé à la phase expérimentale

Variable	Groupe expérimental DI <i>n</i> = 20	Groupe contrôle visuo-spatial <i>n</i> = 20	Groupe contrôle langage oral <i>n</i> = 20
Âge chronologique	Min.-max = 12-17 ans <i>M</i> = 14.8 ans 12 ans <i>n</i> = 3 13 ans <i>n</i> = 1 14 ans <i>n</i> = 3 15 ans <i>n</i> = 7 16 ans <i>n</i> = 1 17 ans <i>n</i> = 5	Min.-max = 4-10 ans <i>M</i> = 6.6 ans 4 ans <i>n</i> = 1 5 ans <i>n</i> = 4 6 ans <i>n</i> = 6 7 ans <i>n</i> = 3 8 ans <i>n</i> = 4 9 ans <i>n</i> = 1 10 ans <i>n</i> = 1	Min.-max = 3-11 ans <i>M</i> = 7.2 ans 3 ans <i>n</i> = 1 4 ans <i>n</i> = 1 5 ans <i>n</i> = 3 6 ans <i>n</i> = 3 7 ans <i>n</i> = 4 8 ans <i>n</i> = 3 9 ans <i>n</i> = 3 11 ans <i>n</i> = 2
Âge développemental (Matrice de Raven, 1998)	Min.-max = 2-12 ans <i>M</i> = 6.9 ans	Min.-max = 2-12 ans <i>M</i> = 7.0 ans	Min.-max = 2-12 ans <i>M</i> = 7.1 ans
Genre			
Fille	<i>n</i> = 7 (35%)	<i>n</i> = 7 (35%)	<i>n</i> = 8 (40%)
Garçon	<i>n</i> = 13 (65%)	<i>n</i> = 13 (65%)	<i>n</i> = 12 (60%)
Langue maternelle			
Français	<i>n</i> = 18 (90%)	<i>n</i> = 19 (95%)	<i>n</i> = 16 (80%)
Autres	<i>n</i> = 2 (10%)	<i>n</i> = 1 (5%)	<i>n</i> = 4 (20%)
Port de lunettes			
Oui	<i>n</i> = 7 (35%)	<i>n</i> = 2 (10%)	<i>n</i> = 3 (15%)
Non	<i>n</i> = 13 (65%)	<i>n</i> = 18 (90%)	<i>n</i> = 17 (85%)
Étiologie		-	-
DI	<i>n</i> = 15 (76%)		
Syndrome de Down	<i>n</i> = 2 (9.5%)		
TSA	<i>n</i> = 2 (9.5%)		
SAF	<i>n</i> = 1 (5%)		
Degré de scolarisation	8H <i>n</i> = 3 9H <i>n</i> = 1 10H <i>n</i> = 3 11H <i>n</i> = 7 12H <i>n</i> = 6	1H <i>n</i> = 1 2H <i>n</i> = 7 3H <i>n</i> = 4 4H <i>n</i> = 5 5H <i>n</i> = 1 6H <i>n</i> = 1	Avant 1H <i>n</i> = 1 1H <i>n</i> = 1 2H <i>n</i> = 5 3H <i>n</i> = 2 4H <i>n</i> = 4 5H <i>n</i> = 3 6H <i>n</i> = 2 7H <i>n</i> = 2

Notes: TSA = Troubles du spectre de l'autisme ; SAF = Syndrome d'alcoolisation fœtale ; DI = déficience intellectuelle ; 1H = première année d'école (4ans)

¹⁷ Le terme « échantillon » est utilisé dans le texte pour parler de l'ensemble des trois groupes d'élèves (groupe DI, TDVS et TDL). Pour parler du groupe d'élèves avec une DI : le terme « groupe expérimental » sera utilisé et pour décrire les deux groupes contrôles : groupe contrôle visuo-spatial (TDVS) et groupe contrôle langage oral (TDL).

Les élèves du groupe expérimental sont âgés de 12 à 17 ans, avec un âge moyen de 14.8 ans. Comme les habiletés spatiales tridimensionnelles sont principalement travaillées dès 11 ans, c'est-à-dire à partir de la 7H (cf. PER, Plan d'Étude Romand), les classes du groupe expérimental se devaient de provenir du cycle 2 (dès 12 ans). La représentation des garçons (65%) est plus importante que celle des filles (35%). Cette différence correspond à la réalité épidémiologique internationale et nationale de la DI. Les études ayant analysé le sex-ratio relèvent une différence de l'ordre de 1.2 à 1.9 garçons pour une fille (INSERM, 2016). Sur le plan national, l'Office fédéral de la statistique en Suisse (2019) fait état d'un pourcentage de filles et de garçons respectif de 31.3% et de 68.7% dans les classes d'enseignement spécialisé, ce qui est très proche du rapport trouvé dans le groupe expérimental. Finalement, les élèves ont tous une DI diagnostiquée préalablement par des professionnels dans le cadre scolaire. Il est intéressant d'observer que pour la plupart, le diagnostic est une déficience de type idiopathique, à savoir non expliquée par un syndrome particulier. Afin de privilégier un échantillon hétérogène d'enfants avec une DI légère à modérée, un choix délibéré de ne pas cibler une population spécifique au sein de la DI a été effectué afin d'observer l'utilisation des gestes chez des participants avec des niveaux d'efficacité intellectuelle et/ou du comportement adaptatif différents.

5.3 Choix des instruments de mesure

Différents tests standardisés ou batteries de tâches ont été utilisés pour sélectionner les participants, pour mesurer les variables indépendantes et les variables dépendantes (nombres de gestes, types de gestes etc.). Ceux-ci sont présentés dans les chapitres suivants.

5.3.1 Tests utilisés pour la sélection des participants

Bien que les participants présélectionnés par les directeurs d'institution aient tous reçu le diagnostic de DI par un professionnel, deux tests ont été utilisés dans cette recherche pour confirmer le diagnostic de DI ; il s'agit des Matrices de Raven (Raven & Court, 1995) et de l'ABAS-II (Harrison & Oakland, 2003).

La version des Matrices de Raven utilisée ici pour mesurer le raisonnement analogique est la version colorée encastrable (CPM-BF). Celle-ci permet aux élèves de manipuler les 6 possibilités différentes de réponse, afin de compléter correctement une suite. La passation dure entre 15 et 20 minutes et le score maximal est de 36. Les élèves obtiennent le score "1" s'ils complètent correctement la série et "0" si la réponse est incorrecte. Il s'agit d'un test standardisé pour la première fois en 1949 par Raven et dont la fidélité test-re-test est de .80. La cohérence interne mesurée avec l'alpha de Cronbach pour l'ensemble de l'échelle est de 0.83 chez (Bildiren, 2017). Stacey et Carleton (1955) ont décelé une corrélation de .69 entre les Matrices de Raven et les résultats au Stanford-Binet chez des élèves avec une DI.

Le deuxième test standardisé utilisé (ABAS-II) mesure le comportement adaptatif au travers d'une grille complétée par les enseignants. Celle-ci mesure neuf catégories différentes : la

communication, les ressources communautaires, les acquis scolaires, la vie à l'école, la santé et la sécurité, l'autonomie, la responsabilité individuelle et les aptitudes sociales. La version utilisée ici est la « trousse scolaire » qui cible les élèves de 5 à 21 ans. Les enseignants codent les items sur une échelle de Likert allant de 0 à 3. Les scores sont ensuite additionnés et convertis en scores d'équivalence standardisés selon l'âge des élèves pour arriver ensuite à un regroupement des neuf catégories en trois grands domaines : les domaines conceptuel, social et pratique. Un score de QI global et un score de QI par domaine est alors établi. La cohérence interne est de .90. La fidélité inter-juges pour la version « teacher form » est de .81 pour tous les âges confondus (Harrison & Oakland, 2008).

Afin de contrôler les compétences visuelles, les parents et les enseignants ont été contactés. Deux tests ont été également effectués : un premier mesurant la poursuite visuelle permettant de vérifier l'absence de ruptures dans le suivi d'un objet de droite à gauche et de gauche à droite, ainsi que le test standardisé des couleurs d'Ishihara (Ishihara, 1964) qui permet de vérifier l'absence de daltonisme.

5.3.2 Tests utilisés pour mesurer les variables indépendantes

Le niveau de langage oral a été mesuré à l'aide du BILO-3C (Khomsy et al., 2007). Ce test standardisé sur l'ordinateur permet d'établir un profil langagier de l'enfant en mesurant la compréhension orale, le jugement lexical et grammatical, ainsi que le lexique pour les élèves du cycle 3. Pour chaque item répondu correctement, l'élève reçoit un point. Le maximum est de 96 points.

Les compétences visuo-spatiales ont été mesurées par différents outils : les blocs de Corsi (Corsi, 1972) mesurant l'empan visuo-spatial, le Beery-VMI (Beery & Beery, 2010) testant la coordination visuo-motrice et la perception visuelle et les Matrices de Raven évaluant le raisonnement visuo-spatial. Dans les blocs de Corsi, les élèves doivent reproduire dans le même ordre, puis dans un ordre inverse une séquence de mouvements de pointage de différents cubes montrés par l'observateur (Fournier & Albaret, 2013). Chaque série de pointages répétée correctement donne un point à l'enfant, le test s'arrête lorsque l'enfant échoue deux fois à répéter un certain nombre de localisations. Les enfants obtiennent au maximum 9 points pour l'empan à l'endroit et 9 points pour l'empan à l'envers, ce qui correspond à une série de 9 cubes mémorisés correctement. Cette épreuve, bien que limitée dans sa capacité à mesurer la mémoire de travail visuo-spatiale – puisqu'elle mesure seulement l'empan visuo-spatial – est très utilisée dans les recherches actuelles (Wu & Coulson, 2014).

Les habiletés visuelles et visuo-motrices ont été mesurées par le Beery-VMI, standardisé en Suisse en 2010. Dans ce test, les enfants doivent dessiner des formes géométriques de plus en plus complexes en se basant sur un modèle. Chaque forme dessinée correctement apporte un point, le score maximum étant fixé à 30. La cohérence interne mesurée par l'alpha de Cronbach est très bonne .96 (Beery & Beery, 2010).

Les liens entre les capacités motrices et la réalisation des gestes ont été mesurés par l'évaluation de la motricité gnosopraxique distale (Vaivre-Douret, 1997). Ce test comporte 10 gestes à imiter évaluant la motricité des mains et 16 gestes à imiter évaluant la motricité des doigts. Les élèves doivent imiter le geste de l'expérimentateur, chaque geste correctement réalisé apportant un point. Si le geste est partiellement réussi (en plusieurs étapes par exemple), l'élève obtient un demi-point et si le geste est échoué zéro point. Le score maximal est de 26 points.

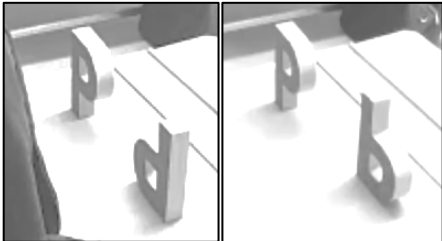
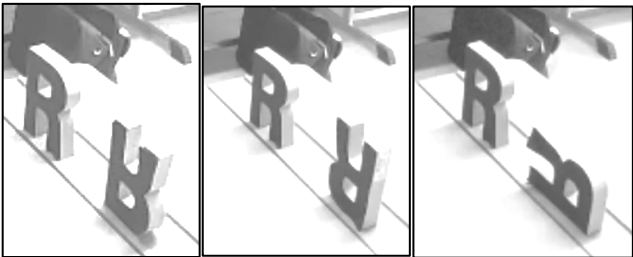
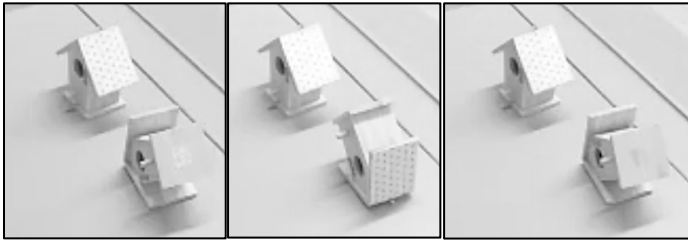
5.3.3 Tests utilisés pour mesurer les variables dépendantes

Afin de mesurer les variables dépendantes, à savoir le nombre de mots, le nombre de gestes, les types de gestes, les modalités d'expression et les fonctions des gestes, une batterie de tâches basée sur les trois habiletés spatiales spécifiées dans le modèle de Pittalis et Christou, (2010) (orientation, visualisation et rotation) a été expressément élaborée. La construction de la batterie s'est déroulée en 6 étapes : 1) recherche des tâches faisant appel aux habiletés spatiales en 3D dans les Moyens d'enseignement romands et dans les tests standardisés papier-crayon disponibles ; 2) choix et adaptation de trois tâches de deux niveaux différents ; 3) test de la batterie chez des élèves de l'enseignement spécialisé sans DI ; 4) nouvelles adaptations des tâches (consignes, niveaux de difficulté, etc...) ; 5) test de la batterie de tâches chez des élèves avec une DI ; 6) choix et adaptations des tâches définitives. Un tableau résume les principales adaptations réalisées dans les annexes (annexe H). La procédure de construction de la batterie de tâches, la recherche des tests papier-crayon standardisés, ainsi que les références aux Moyens d'enseignement romands, ont fait l'objet d'une publication dans la revue de mathématiques pour l'école (Lacombe, Dias et al., 2020).

Bien que l'ensemble des trois tâches ait été proposé à tous les élèves, seuls les résultats concernant l'habileté de relations spatiales appelée aussi rotation mentale seront présentés dans cette thèse de doctorat. En raison de la quantité importante de résultats relatifs à chacune des habiletés spatiales, les résultats des deux autres tâches seront exploités au travers de publications d'articles. La description de la tâche de rotation mentale se trouve dans le tableau 17 et celles des deux autres tâches se trouve dans l'Annexe E.

Tableau 17

Tâches de la batterie mesurant l'habileté de rotation mentale

<p style="text-align: center;">Exemple</p> 	<p>Une forme tridimensionnelle représentant une lettre P est mise à disposition de l'élève (sur l'une des faces est collé un papier bleu). L'élève peut prendre la forme dans sa main et la manipuler comme il le souhaite afin de l'observer et d'effectuer les rotations réelles.</p>
<p style="text-align: center;">Réalisation de la tâche (niveau 1)</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; text-align: center; line-height: 30px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; text-align: center; line-height: 30px;">2</div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; text-align: center; line-height: 30px;">3</div> </div>	<p>Niveau 1 : La lettre R est posée de façon fixe devant l'élève. Il doit la comparer successivement aux autres lettres R qui seront posées devant lui dans des positions différentes (trois lettres R sont présentées à l'élève : 1. rotation de 180° fausse ; 2. rotation de 180° juste ; 3. rotation de 90° fausse). L'élève doit dire si ces formes correspondent ou non à une rotation du modèle (premier R présenté). Sur l'un des côtés du R est collé un papier brun, en effectuant une rotation mentale, l'élève doit identifier ceux qui ont le papier du même côté et sont identiques au modèle (forme pareillement orientée).</p>
<p style="text-align: center;">Réalisation de la tâche (niveau 2)</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; text-align: center; line-height: 30px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; text-align: center; line-height: 30px;">2</div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; text-align: center; line-height: 30px;">3</div> </div>	<p>Niveau 2 : Une maison est posée devant l'élève : un pan du toit est en couleur et l'un des volets est bleu. L'élève doit la comparer à une autre maison dans une position différente et répondre à la question : ces deux maisons sont-elles les mêmes ? Différentes maisons sont présentées (1.rotation de 135° fausse ; 2. rotation de 225° fausse ; 3. rotation de 135° juste) certaines sont identiques au modèle (toit et volet) alors que d'autres ont le toit, le volet, ou aucun des deux repères du même côté que le modèle.</p>

5.3.4 Appariement des groupes

Les résultats aux différents tests présentés dans le tableau 18 ont permis l'appariement des élèves.

Tableau 18

Résultats des trois groupes d'élèves aux tests standardisés

Tests	Groupe expérimental DI N=20 <i>M (ET)</i>	Groupe contrôle visuo-spatial N=20 <i>M (ET)</i>	Groupe contrôle langage oral N=19 <i>M (ET)</i>
Matrice de Raven Score max : 36	23.15 (6.76) Min-Max : 12-36	23.45 (6.67) Min-Max : 10-35	25.47 (7.98) Min-Max : 10-35
Beery-VMI (Coordination visuo-motrice) Score max : 30	19.60 (4.13) Min-Max : 10-28	19.60 (4.03) Min-Max : 11-26	21.00 (5.01) Min-Max : 11-29
Beery-Perception visuelle Score max : 30	21.85 (4.01) Min-Max : 14-28	20.95 (4.04) Min-Max : 13-28	22.57 (5.34) Min-Max : 12-30
Blocs de Corsi (Empan visuo-spatial) Score max : 18	7.2 (1.79) Min-Max : 4-10	7.0 (1.21) Min-Max : 5-10	7.94 (1.84) Min-Max : 5-12
EMG (Motricité gnosopraxique distale) Score max : 26	20.92 (3.39) Min-Max : 14-26	19.62 (3.07) Min-Max : 12-24.5	21.02 (5.10) Min-Max : 9-33
BILO 3C (Évaluation du langage oral) Score max : 96	66.85 (15.23) Min-Max : 37-87	68.30 (13.31) Min-Max : 41-86	68.52 (13.84) Min-Max : 37-87
Test des habiletés spatiales papier-crayon 2D Score max : 24	7.95 (3.27) Min-Max : 3-15	10.65 (5.18) Min-Max : 2-21.50	12.26 (5.69) Min-Max : 2-21.50
Test des habiletés spatiales 3D Score max : 24	13.30 (4.91) Min-Max : 4-19	14.22 (4.58) Min-Max : 6-21.5	17.05 (6.25) Min-Max : 6-24

Les élèves typiques ont été individuellement appariés aux élèves avec une DI en deux groupes contrôles. Le premier groupe comprend 20 enfants âgés de 4 à 10 ans ($M = 6.6$ ans) ; chaque enfant de ce groupe a été apparié individuellement à un enfant de même sexe et aux compétences visuo-spatiales similaires (TDVS). Un exemple de cet appariement se trouve en annexe I. Les résultats aux tests de raisonnement analogique (Matrices de Raven), coordination visuo-motrice (Beery-VMI) et empan visuo-spatial (Blocs de Corsi) ont été utilisés pour appairer les élèves sur les compétences spatiales. Les analyses préliminaires (test de Wilcoxon) ont confirmé que les deux groupes ne différaient pas au niveau du raisonnement analogique ($z = 1.22$, $p = .229$), de la coordination visuo-motrice ($z = 0.11$, $p = .909$) et de l'empan visuo-spatial ($z = 0.54$, $p = .590$), ce qui confirme la qualité de l'appariement.

Le deuxième groupe contrôle est composé de 20 enfants âgés de 3 à 11 ans ($M = 7.2$ ans) apparié sur le sexe et l'âge verbal (TDL), calculé à partir du test de langage oral : BILO-3C. Un élève garçon a cependant été apparié avec une fille, car aucun des garçons testés ne correspondait aux mesures nécessaires pour l'appariement. Les analyses préliminaires (test de Wilcoxon) ont confirmé que les deux groupes ne différaient pas au niveau du langage verbal ($z = 0.70$, $p = .484$), ce qui tend à confirmer que l'appariement est approprié.

5.3.5 Procédure de passation

Les participants du groupe expérimental ont été testés individuellement dans une pièce séparée en présence de la chercheuse. Les élèves ont été vus trois fois en individuel pour une durée de 45 minutes lors de chaque temps. Lors de la première séquence, ils ont d'abord répondu au questionnaire contenant les données démographiques et leurs perceptions de leurs compétences dans le domaine des mathématiques. Ils ont ensuite réalisé les différents tests standardisés suivants : un test de perception des couleurs (test chromatique d'Ishihara), les Matrices de Raven, l'EMG et les Blocs de Corsi. Lors de la deuxième séquence, ils ont passé différents tests : le Beery perception visuelle et le BILO 3C. Lors de la troisième séquence, les élèves ont effectué les tâches de la batterie spatiale en 3D puis celles du test des habiletés spatiales avec papier-crayon ainsi que le Beery-VMI. Le test des habiletés spatiales sur papier-crayon a été systématiquement effectué après celui en 3D, pour éviter un effet en faveur du test en 3D (si les élèves avaient déjà réalisé les tâches avec papier-crayon) et aussi pour que les élèves ne soient ni désavantagés ni avantagés lors du test papier-crayon selon leurs connaissances préalables. Cette manière de procéder permettait de s'assurer que tous les élèves avaient déjà expérimenté les tâches en 3D avant de devoir les réaliser avec papier-crayon.

Pour les élèves des deux groupes contrôles, les mêmes tests ont été effectués sur deux leçons de 45 minutes en individuel dans une pièce à part.

5.3.6 Fidélité procédurale

La fidélité procédurale a été évaluée par une personne extérieure à la recherche afin de vérifier que les conditions de passation ont été similaires entre les différents participants. Les critères de fidélité procédurale sont basés sur les étapes de Ledford et Gast (2014) et ont été codés sur la totalité des vidéos. Sept critères de fidélité procédurale ont été retenus : objets utilisés ; conditions de présentation de l'objet ; positionnement de l'expérimentateur ; positionnement du sujet ; consignes données ; déroulement ; temps de latence entre une première question et la reformulation de celle-ci par l'expérimentateur.

Une grille dichotomique (oui/non) a été utilisée pour vérifier la fidélité procédurale (tableau 19). La grille complète est présente en annexe J. Afin de ne pas biaiser le codage, la procédure correcte a parfois le score de 1 et parfois le score de 0. Le taux de fidélité est calculé en divisant

le nombre de critères respectés par la chercheuse dans les vidéos, par le nombre total de critères, le résultat étant ensuite multiplié par 100.

Tableau 19

Exemple de la grille de codage pour la fidélité procédurale

Relation spatiale niveau 2	Objets	1 La forme présentée au participant est un B
		0 La forme présentée au participant est une maison à oiseaux
	Conditions de présentation	1 L'expérimentateur demande au participant d'identifier les deux parties ajoutées (toît et partie bleue)
		0 L'expérimentateur dit au participant ce qu'il a collé sur la maison (toît et partie bleue)
	Positionnement exp.	1 L'expérimentateur est placé à côté du participant
		0 L'expérimentateur est placé en face du participant
	Positionnement sujet	1 Le participant est assis devant la table
		0 Le participant est debout devant la table
	Consigne	1 L'expérimentateur donne une consigne en début de tâche
		0 L'expérimentateur ne donne pas de consigne orale
	Temps de latence	1 L'expérimentateur se tait pendant que l'élève réfléchit à sa réponse (est-ce le même ou non ?)
		0 L'expérimentateur parle en même temps que l'élève réfléchit
	Consigne	1 L'expérimentateur ne demande pas de précision à l'enfant sur sa démarche
		L'expérimentateur pose au minimum une question métacognitive
		0 en demandant comment l'élève sait que c'est une forme identique ou différente (il demande d'expliquer et/ou de montrer)

Les scores de fidélité procédurale sont présentés par participant (tableau 20) puis par variable (tableau 21) dans les tableaux consécutifs.

Tableau 20

Calcul de la fidélité procédurale par participant

	Exemple avec 6 participants						Moyenne
	P1	P5	P23	P30	P39	P48	M
% de fidélité	100%	91%	100%	95%	100%	100%	99%

La moyenne du taux de fidélité par participant est de 99% pour l'ensemble de l'échantillon ($N = 60$) ce qui représente un degré élevé et satisfaisant de fidélité procédurale, les scores se distribuant de 86% à 100%.

Tableau 21

Calcul de la fidélité procédurale par variable

	Participants (N = 60)						Moyenne	
	Objet (n = 3)	Consigne (n = 5)	Conditions de présentation (n = 3)	Déroulement (n = 3)	Position de l'élève (n = 3)	Position de l'enseignant (n = 3)	Temps de latence (n = 2)	M
% de fidélité	100%	98%	97%	98%	98%	100%	100%	99%

Au niveau de la fidélité par variable, la moyenne est de 99% toutes variables confondues, ce qui représente un taux élevé de fidélité procédurale, avec des taux entre 97% et 100%. La variable qui obtient le score le plus faible est liée aux conditions de passation, l'item vérifié consiste à donner à l'élève la possibilité de prendre ou pas l'objet dans sa main. Dans l'exemple, il pouvait le faire, mais dans le niveau 1 et le niveau 2, il ne devait plus le prendre. Cependant, en observant les élèves, certains ne pouvaient pas résoudre la tâche sans manipuler les objets. Ces gestes de manipulation (nommés gestes actions) ont donc été autorisés pour les élèves qui ne parvenaient pas à réaliser la rotation mentalement.

La variable relative au positionnement de l'élève obtient un score de 98%. Normalement les élèves étaient debout devant la table sur laquelle était posée les formes, toutefois pour 2 élèves de l'échantillon, les tables à disposition étaient trop basses, ces deux élèves se sont donc mis assis par terre devant la table afin que les formes soient présentées à hauteur ajustée.

5.4 Codage des données

« La clé de toute étude de geste est son système de codage. Bien que cela prenne du temps, regarder les gestes est essentiel si l'objectif est de comprendre pleinement ce que les gens pensent lorsqu'ils parlent ». Goldin-Meadow (2003, p.11)

Cette citation illustre la complexité du codage vidéo et en particulier du codage des gestes. Pour appréhender cette complexité, le codage a été réalisé en différentes étapes : (a) lors de la phase pilote, une première grille de codage basée sur les différentes catégories trouvées dans la littérature a été élaborée ; (b) la grille a été ensuite enrichie lors de l'étude expérimentale en fonction de la réalité différente de chaque tâche : des nouvelles variables ont été ajoutées (comme les gestes actions par exemple qui n'étaient pas codées dans la revue de littérature). Les principales catégories retenues sont au nombre de sept : nombre de mots, nombre de gestes, types de gestes, modalités, fonctions en lien avec le langage, fonctions spatiales et finalement, les interventions de la chercheuse.

Cette grille a servi de base pour un premier codage à l'aveugle par une deuxième personne qui a examiné 6 vidéos sur 60. Ces 6 vidéos ont ensuite été discutées avec la chercheuse. Ce double codage a apporté des précisions relatives à l'analyse et a permis l'identification de nouvelles catégories. Avant d'entamer la vérification inter-juges, un deuxième contrôle a été effectué par

deux autres codeurs qui ont codé chacun une vidéo choisie en fonction de sa complexité selon les critères déterminés. Le détail des catégories de codage est précisé dans l'annexe K. Le logiciel ELAN, version 6.0 de Nijmegen (2020) a été utilisé pour le codage, car il permet de synchroniser les images de deux caméras tout en considérant un grand nombre de variables.

5.4.1 Codage du nombre et des types de mots

Toutes les réponses des élèves produites au cours des échanges ont été comptées et codées de trois manières différentes : a. sous forme d'occurrence pour obtenir la somme totale des mots utilisés par les élèves dans une tâche ; b. au niveau de leur contenu sémantique (en différenciant les mots ayant un contenu spatial (par exemple les prépositions spatiales) des autres ; c. sous forme de classement pour distinguer les mots avec un contenu dynamique (comme « bouger, tourner, mettre comme ça ») des mots avec un contenu statique (comme « le toit, la couleur, la forme, ici, là, le volet, celui-là »).

5.4.2 Codage du nombre de gestes

Tous les gestes produits ont été comptés sur la base de leur occurrence pour obtenir la somme totale des gestes. Deux calculs distincts ont été effectués : premièrement le total de tous les gestes et deuxièmement le total des gestes figuratifs, c'est-à-dire correspondants, aux trois catégories de McNeill (1992) (gestes iconiques, métaphoriques et pointage).

5.4.3 Codage des types de gestes

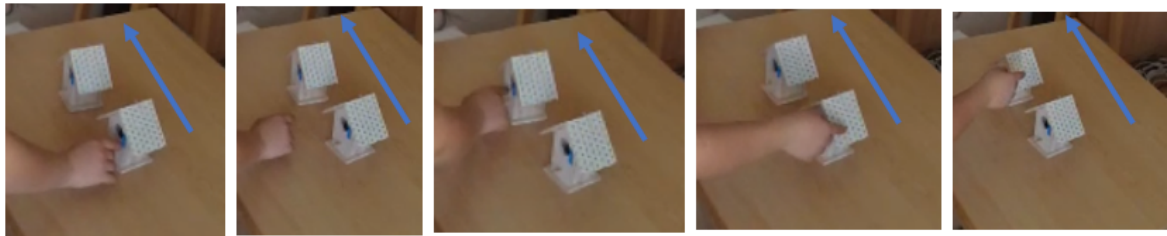
Tous les gestes produits ont été codés en cinq catégories : les gestes de pointage, les gestes iconiques, les gestes métaphoriques (McNeill, 1992), les gestes faits avec le corps (par exemple lorsque l'élève se penche pour effectuer la rotation corporelle) et les gestes actions lorsque l'élève manipule directement l'objet. Tous les gestes ont également été classés comme le langage en deux catégories supplémentaires : dynamiques et statiques. Les gestes dynamiques sont codés lorsque l'élève fait référence au mouvement ou à la direction alors que les gestes statiques correspondent à la description des caractéristiques de la forme.

Afin de permettre une compréhension optimale des différentes catégories de codage dans la tâche de rotation mentale, des exemples des différents types de gestes sont illustrés dans les figures 26 à 33. Une bibliothèque plus détaillée des différents types de gestes est présentée en annexe N.

Gestes de pointage

Figure 26

Premier exemple de gestes de pointage



Dans l'exemple ci-dessus, l'élève utilise deux types de pointage différents, il effectue un premier pointage sur le volet de la maison, puis un second, nommé dans cette recherche «pointage de liaison», car il indique une relation entre les deux formes (dans le cas présent, la position des deux volets à droite de la fenêtre). Il finit par un troisième pointage sur le deuxième volet. Ensuite, il effectue à nouveau 3 pointages : un pointage sur la partie droite du toit, puis un pointage de liaison et un pointage final sur la partie droite du deuxième toit pour montrer que les deux toits colorés (avec le papier) sont du même côté. En faisant ces gestes, il dit : « C'est le même, ça aussi et ça aussi ».

Figure 27

Deuxième exemple de pointage

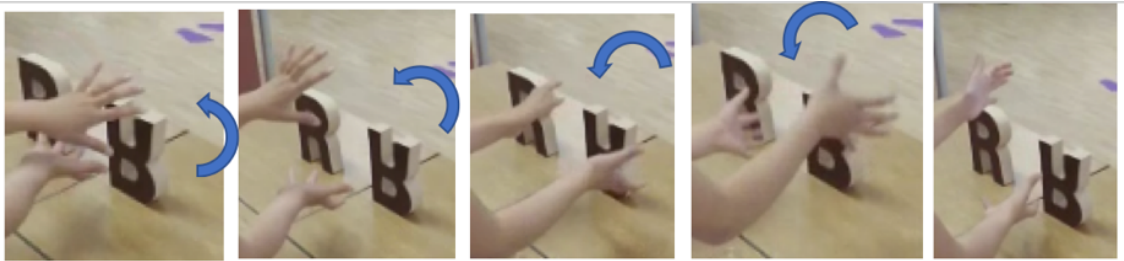


Un deuxième exemple de geste de pointage est présenté dans l'image ci-dessus, l'élève pointe directement les deux volets de la maison sans effectuer de pointage de liaison entre les deux. Il utilise alors ses deux mains pour montrer simultanément les deux positions des volets et il dit : « les deux trucs bleus ». Dans ce cas, l'utilisation des deux mains a été codée comme deux pointages.

Gestes iconiques

Figure 28

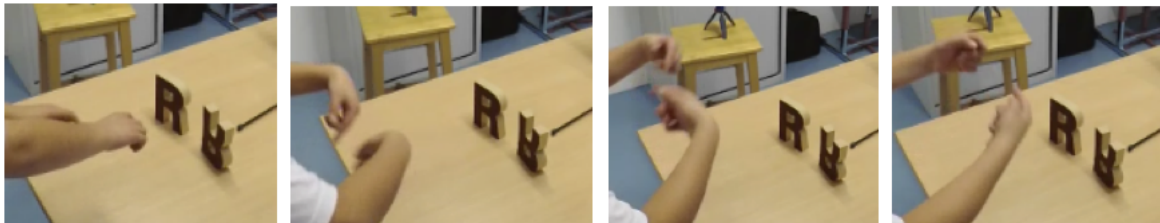
Premier exemple de gestes iconiques



Dans l'exemple ci-dessus, l'élève simule la rotation de la forme avec ses deux mains, mais sans toucher l'objet. Il s'agit donc d'un geste iconique illustrant la rotation effectuée mentalement par l'élève. Ce geste intervient lorsque je lui demande d'expliciter sa stratégie, il accompagne le geste des mots suivants « si on le tournait comme ça, ça n'irait pas ».

Figure 29

Second exemple de gestes iconiques



Dans la figure 30, l'élève montre une simulation différente de la rotation effectuée à partir du même positionnement des lettres que l'exemple précédent. Dans cette séquence, la rotation simulée revient à positionner la forme dans la même orientation que la première, mais avec la couleur de l'autre côté. Il dit « je le retournerais, et ça montrerait qu'il n'y a pas de laine ».

Figure 30

Troisième exemple de gestes iconiques



Finalement, le troisième exemple ci-dessus illustre un autre type de geste iconique que dans deux rotations précédentes. Ici l'élève met sa main pour représenter un miroir positionné entre les deux lettres. Il dit "Il y a un miroir". Son geste indique donc un objet et précise le langage en indiquant l'endroit où il le positionnerait.

Gestes métaphoriques

Figure 31

Exemple de gestes métaphoriques



Gestes les plus complexes, les gestes métaphoriques ont été très peu utilisés par les élèves de cet échantillon, que ce soit par les élèves avec une DI ou par les élèves contrôles. Ils renvoient à une réalité abstraite et sont les derniers à apparaître dans le développement. En principe, ils sont plus utilisés lorsqu'une personne parle des aspects conceptuels ou symboliques. Dans les tâches retenues dans notre étude, les élèves doivent effectuer une rotation mentale avec des objets concrets, il y a donc peu de raisons de recourir aux gestes métaphoriques. Quelques élèves ont tout de même produit des gestes métaphoriques comme celui présenté ci-dessus. L'élève dit : « c'est les mêmes » en effectuant un geste avec les deux mains ouvertes qui s'écartent pour signifier l'égalité.

Gestes actions

Figure 32

Premier exemple d'un geste action



Dans cet exemple, l'élève réalise un geste qui a été codé comme geste action, car il prend la forme dans sa main et effectue l'action de rotation réelle, afin de positionner la seconde lettre devant la première lettre et de montrer que les deux formes sont identiques. En même temps que ce geste action, l'élève dit « on dirait que c'est en double ».

Figure 33

Second exemple d'un geste action



Dans ce deuxième exemple, les deux formes ne sont pas identiques et l'élève a déjà effectué un premier geste action pour mettre la forme en position verticale, il effectue ensuite un deuxième geste action pour positionner les formes l'une contre l'autre en disant « ça se regarde ».

5.4.4 Codage des modalités d'expression gestes-discours

Les gestes et les énoncés verbaux ont été catégorisés en trois modalités selon les classifications utilisées par Mastrogiuseppe et Lee (2017) et Stefanini et al. (2007). Il s'agit des productions gestuelles unimodales ou gestes seuls qui correspondent aux réponses produites sous forme gestuelle uniquement. Les productions bimodales dans lesquelles les enfants répondent en alliant les gestes et le discours et les productions unimodales verbales ou de discours seul qui contiennent uniquement des mots.

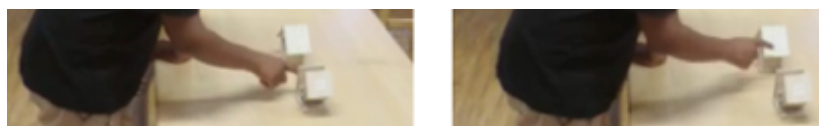
Afin de permettre une compréhension optimale des différentes catégories de codage dans la tâche de rotation mentale, des exemples de modalités de gestes sont illustrés dans les figures 34 à 38.

Modalité « gestes seuls »

La modalité « gestes seuls » a été codée lorsqu'un élève fait un ou plusieurs gestes sans l'accompagner de discours. Cela peut être au moment de la réalisation de la tâche ou lors de l'explication de sa stratégie.

Figure 34

Premier exemple de la modalité « gestes seuls »



Dans cette séquence, le chercheur demande à l'élève « comment est-ce que tu vois que ce serait le même ? » et il me répond en effectuant trois gestes de pointage. Le premier sur la partie droite du toit de la maison de droite, puis un pointage de liaison entre les deux maisons et un troisième pointage sur la partie droite du toit de la maison de gauche. Ses gestes donnent donc la réponse puisqu'ils pointent la partie qui est semblable dans les deux maisons, mais il ne prononce aucun mot.

Figure 35

Second exemple de la modalité « gestes seuls »



Dans cet exemple ci-dessus, l'élève effectue un geste iconique lors de la réalisation de la tâche, avant que l'expérimentateur ne lui pose une question. Afin de regarder si les deux formes sont identiques, il effectue donc une simulation de la rotation mentale par un geste iconique sans prononcer de mots.

Figure 36

Troisième exemple de « gestes seuls »



Le troisième exemple présente un cas de figure différent, il s'agit d'un geste action que l'élève effectue pour montrer la rotation effectuée et cela également sans prononcer de mots. Dans cette tâche, les gestes actions ont souvent été effectués sans accompagnement de parole.

La modalité geste seul est donc utilisée par les élèves pour répondre à une question, pour simuler une rotation lors de la réalisation de la tâche ou pour réaliser la rotation de manière réelle. Les élèves utilisent également différents types de gestes seuls : des pointages, des gestes iconiques ou des gestes actions.

Modalité « bimodale »

Dans cette étude, la modalité bimodale a été codée lorsque l'élève répond à la fois verbalement et gestuellement. Voici quelques exemples :

Figure 37

Premier exemple de modalité « bimodale »



« Si tu la tournes, il y a le toit qui va partir là-bas »

Dans cet exemple, l'élève réalise plusieurs gestes : le premier geste iconique indique le sens de la rotation qu'il effectuerait, puis l'élève fait un geste de pointage sur la partie droite du toit de la maison de droite et un deuxième geste iconique pour indiquer la direction dans laquelle le toit va partir si l'on effectue la rotation. En même temps il dit « si tu la tournes, il y a le toit qui va partir là-bas ». L'élève utilise alors les gestes et le discours de manière conjointe et donc bimodale.

Figure 38

Second exemple de modalité « bimodale »



« T'as pas mis la mousse au bon endroit, elle devrait être là pour faire la même chose »

Dans ce deuxième exemple, l'élève effectue un geste action tout en expliquant que la mousse brune n'est pas du bon côté. Il s'agit là également d'une séquence bimodale.

Modalité « discours seul »

Dans cette modalité, l'élève explique sa stratégie de manière verbale uniquement. Voici quelques exemples qui répondent à ma question : « est-ce que ces deux formes sont les mêmes ? »

- « Non, parce que la sonnette, elle serait de l'autre côté »
- « Oui, elle est juste »
- « Non, ce n'est pas du bon côté »

5.4.5 Codage des fonctions liées au langage

Les fonctions liées au langage ont été codées en trois catégories selon la littérature du domaine (Mastrogioseppe & Lee, 2017 ; Iverson et al., 2003). La première fonction codée a été la redondance entre les mots et les gestes appelée « *complementary* » ou « *equivalent* » dans la littérature anglophone. Ici le geste donne la même information que celle transmise par la parole. Par exemple la parole dit « le truc bleu » et le geste pointe le truc bleu. La deuxième fonction codée a été la précision appelée « *complementary* » en anglais. Dans cette situation, le geste apporte une précision au langage, précision qui permet de mieux comprendre le langage. Par exemple le discours dit « je tourne comme ça » et le geste indique le sens de rotation. Finalement, la fonction de supplément (« *supplementary* » en anglais) a été codée lorsque le geste transmet une information absente du langage verbal. Cela peut se produire lorsque l'élève n'arrive pas à exprimer verbalement sa pensée ou que ses gestes vont plus vite que son élocution verbale. Par exemple, l'élève dit « le R » et le geste montre le sens de rotation de la forme pour la repositionner de manière identique à la première. Il est important de préciser que ces fonctions n'ont été codées que lorsque l'élève utilise la modalité bimodale, à savoir des gestes et du langage verbal. Ce choix a été défini, car chez les auteurs ayant théorisé ces fonctions des gestes (Iverson et al., 2003; Vandereet et al., 2011; Wagner et al., 2014), celles-ci ont toujours été analysées en lien avec les mots prononcés.

Afin de permettre une compréhension optimale des différentes catégories de codage dans la tâche de rotation mentale, des exemples des différentes fonctions sont illustrés dans les figures 39 à 43.

Fonction de redondance

Figure 39

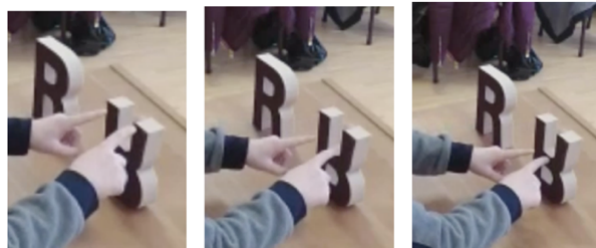
Premier exemple de gestes illustrant la fonction de redondance



Dans l'exemple ci-dessus, l'élève dit « les deux trucs bleus » et il pointe les deux trucs bleus. Ses deux pointages sur les trucs bleus transmettent donc la même information que celle donnée par le discours, il s'agit donc de gestes et de discours redondants.

Figure 40

Second exemple de gestes illustrant la fonction de redondance

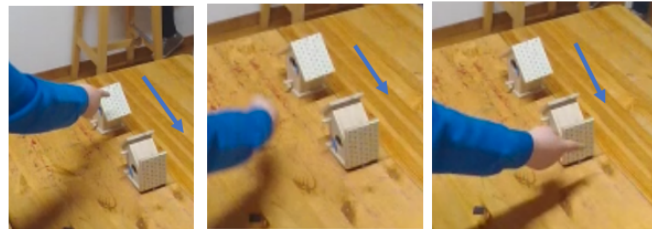


Dans le deuxième exemple, l'élève dit « c'est un U » et il montre le U qu'il voit dans la forme. Son geste et son discours donnent ainsi la même information.

Fonction de précision

Figure 41

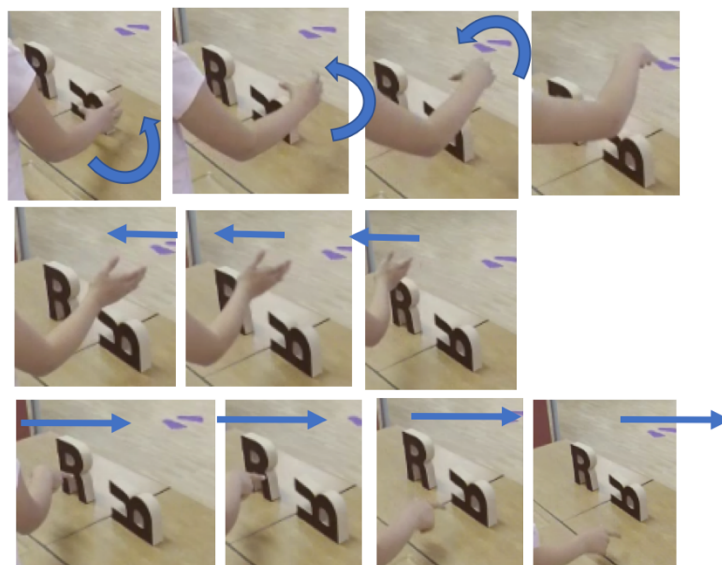
Premier exemple de gestes précisant le langage verbal



Dans l'exemple de la figure 42, l'élève dit « ça et puis ça » et il pointe la partie droite du toit de la maison de gauche puis effectue un pointage de liaison pour finir par pointer la partie gauche du toit de la maison de droite. Ses gestes permettent donc de préciser ce que l'élève considère comme le « ça » et indiquent également les deux parties du toit qui ne seraient pas équivalentes si la maison était remise en position verticale.

Figure 42

Second exemple de gestes précisant le langage verbal



Dans l'exemple ci-dessous, l'élève dit « ça et puis ça » et il pointe la partie droite du toit de la maison de gauche puis effectue un pointage de liaison pour finir par pointer la partie gauche du toit de la maison de droite. Ses gestes permettent donc de préciser ce que l'élève considère comme le « ça » et indiquent également les deux parties du toit qui ne seront pas équivalentes si la maison est remise en position verticale.

Fonction de supplément

Figure 43

Exemple de gestes illustrant la fonction de « supplément »



Lorsque le geste apporte une information en plus de ce qui est exprimé verbalement, celui-ci est codé sous « supplément ». Dans l'exemple ci-dessus, l'élève dit « le tissu, il serait... » et son geste pointe d'abord le tissu ce qui est redondant avec ce qui est dit verbalement. Puis l'élève indique la direction vers laquelle le tissu irait si la forme était remise en position verticale, cette information est absente du langage verbal, ce deuxième geste apporte donc une information supplémentaire à ce qui est dit verbalement. Lors des codages, en cas de doute sur la fonction de précision ou de supplément, le principe de précaution a été adopté et nous avons codé la fonction la moins élevée à savoir la précision.

5.4.6 Codage des fonctions liées à l'espace

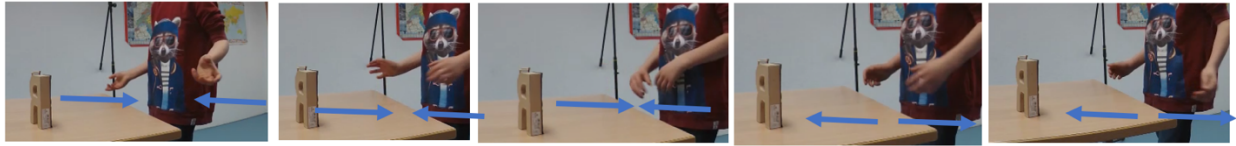
Les fonctions spatiales sont au nombre de quatre selon le modèle de Kita et. (2017) : activer, manipuler, organiser et explorer les représentations spatiales. La fonction « activer » a été codée lorsque le geste permet de retrouver un mot ou d'activer une représentation spatiale. La fonction « manipuler » est codée lorsque l'élève fait un geste de rotation ou de pointage mettant en relation deux parties de la forme. La fonction « organiser » est codée lorsque le geste est fait avant le discours et permet de l'organiser ou de le structurer. La fonction « explorer » est codée lorsque les gestes testent des réponses ou explorent plusieurs possibilités.

Afin de permettre une compréhension optimale des différentes catégories de codage dans la tâche de rotation mentale, des exemples des différentes fonctions spatiales sont illustrés dans les figures 44 à 48.

Activer des représentations

Figure 44

Exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : activer



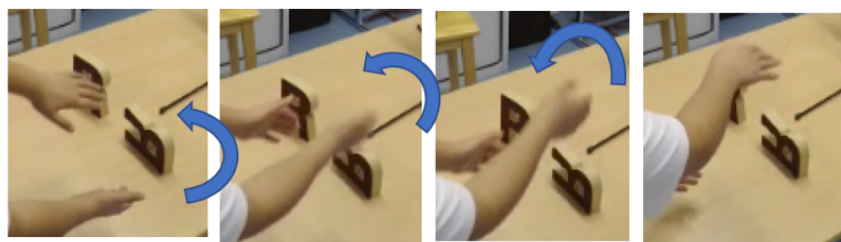
« Non parce que si on le tourne, ça va donner à l'envers comme s'ils étaient..... contre. »

Dans la catégorie « activer », les deux éléments principaux suivants ont été codés : 1) si le geste permettait l'activation d'une représentation spatiale, et 2) s'il permettait de retrouver un mot en mémoire. En effet, la fonction de récupération lexicale, souvent décrite dans la littérature, a pu être observée plusieurs fois dans notre étude. Dans l'exemple ci-dessus, l'élève explique que les formes sont « à l'envers comme si elles étaient... » et il effectue le geste représenté ci-dessus avec ses deux mains. L'élève ouvre ses deux mains et les rapproche pour montrer que le sens des deux formes sera opposé. Il effectue deux fois le geste puis retrouve le mot « contre », qu'il souhaitait exprimer.

Manipuler les représentations

Figure 45

Exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : manipuler

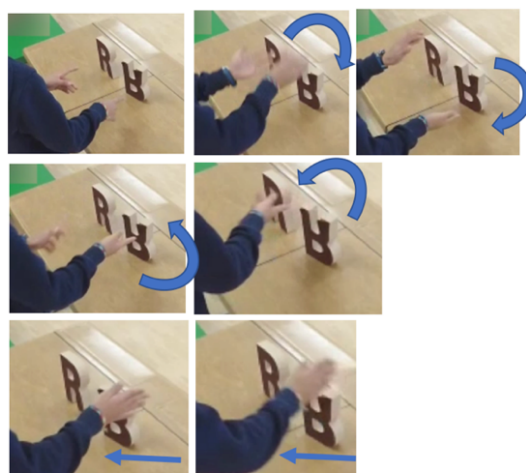


Les gestes sont également utilisés pour manipuler les représentations spatiales et donc ici, tourner mentalement les formes pour décider si celles-ci sont identiques ou différentes.

Organiser les représentations

Figure 46

Premier exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : organiser

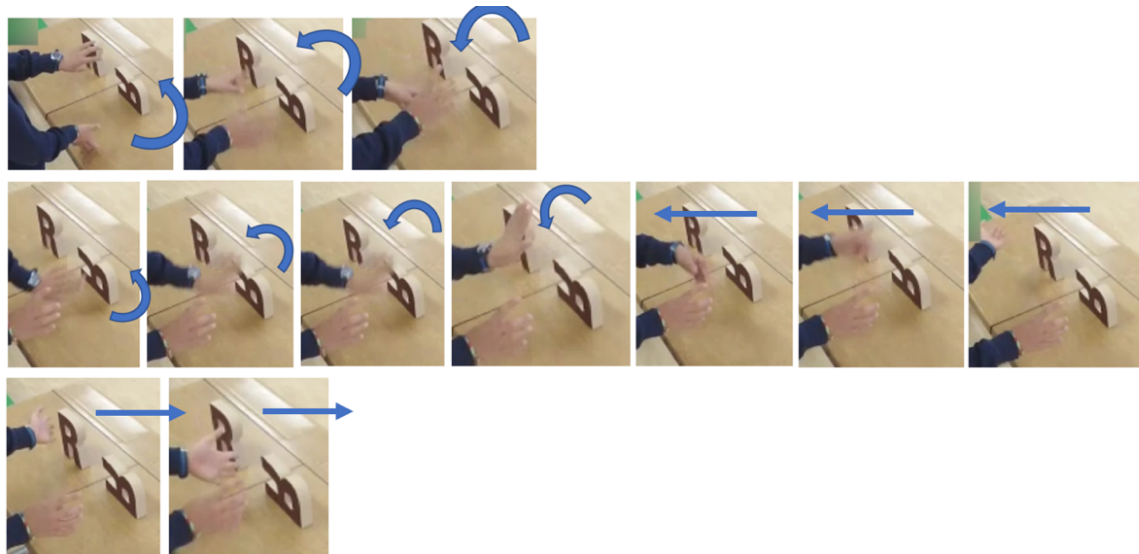


« Euh... ben...ça peut pas faire le R, parce que après là...
ça pourrait...
si on mettrait une barre là, ça ferait un B donc non ».

Il a été très intéressant d'observer plusieurs fois, au cours des tâches spatiales, la manière dont les gestes aident l'élève à structurer son discours ou à l'organiser. Parfois, le contenu des gestes est plus clair pour l'interlocuteur que le contenu du discours lui-même, cependant la réalisation des gestes permet dans un deuxième temps à l'élève de structurer davantage son raisonnement lors de l'explication suivante. Dans l'exemple ci-dessus, l'élève explique la raison pour laquelle ces deux formes sont différentes, mais son discours contient beaucoup d'hésitations dans sa structuration. S'il est clair pour lui que les deux formes sont différentes, il cherche les mots pour pouvoir l'exprimer et s'y reprend à plusieurs fois pour formuler sa phrase. Les points de suspension dans la transcription marquent ses pauses et ses hésitations. Les gestes eux indiquent dès le début la rotation qu'il effectue mentalement et cette rotation permet de voir que les deux formes seront face à face. Les gestes lui ont permis d'organiser son discours et cela se voit particulièrement lors de l'explication suivante qui est beaucoup plus claire et proche des gestes utilisés.

Figure 47

Deuxième exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : organiser



« Non parce que après là,
on voit que la bosse elle est vers là-bas
Et celui-là il est là-bas »

Dans ce deuxième exemple, l'élève refait la même rotation au début au niveau gestuel en disant « parce qu'après là » comme lors de la première explication, mais la suite est beaucoup plus fluide. Il montre l'arrondi qu'aura la lettre R de droite en position verticale et la direction vers laquelle est positionné cet arrondi, puis il indique le sens dans lequel l'arrondi du R de gauche sera positionné. Il est donc possible que le geste ait permis à cet élève de restructurer son discours verbal pour le rendre plus fluide.

Explorer les représentations

Dans l'exemple ci-dessous, l'élève dit que les formes ne sont pas les mêmes, en commençant par pointer le volet de la maison de droite. Or le volet est positionné correctement, ce que l'élève constate aussi, il marque alors une pause au niveau du discours, puis pointe les deux toits qui eux sont effectivement en position symétrique. Dans ce cas, il est envisageable que l'élève justifie sa réponse d'après le volet, mais que le pointage sur le volet lui ait permis de rectifier son explication en voyant que celui-ci était positionné correctement. Il a donc pu pointer les deux parties symétriques des deux toits. Le geste lui a offert l'opportunité d'explorer, d'envisager une réponse puis de la rectifier.

Figure 48

Exemple de gestes illustrant la fonction spatiale : explorer



« C'est pas bon, parce qu'il y a (pointage sur le volet)... ça se regarde (pointage sur la partie droite de la maison de gauche puis pointage de liaison et pointage sur la partie gauche de la maison de droite)»

5.4.7 Codage des interventions de la chercheuse

Toutes les questions, interventions, relances de la chercheuse ont été codées, afin de comparer le nombre de questions posées à chaque élève, et d'analyser leur impact éventuel.

5.4.7 Fidélité inter-juges

Dans ce chapitre, la procédure suivie pour mesurer la fidélité inter-juges sera synthétisée. Ensuite, les taux d'accord obtenus seront présentés.

Déroulement de la procédure inter-juges

La procédure inter-juges a commencé par un double codage « à blanc » effectué par la chercheuse et un codeur indépendant sur 6 vidéos, afin de stabiliser la grille de codage, puis par un nouveau codage « à blanc » par deux autres codeurs chacun sur la même vidéo choisie en fonction de sa complexité. Après cette première phase qui a permis de préciser certains éléments de la grille, la procédure de fidélité inter-juges proprement dite a commencé. Elle a débuté par un entraînement sur la partie « exemple » d'une passation, car l'exemple réalisé avec les élèves en début de séance ne fait pas partie des résultats traités. Après l'entraînement, le codage inter-juges a eu lieu sur 30% des vidéos ($N = 18$). Le détail de la procédure se trouve en annexe M.

Le taux d'accord global est donné, puis les taux sont indiqués pour les 6 catégories (nombre de mots, nombre de gestes, types de gestes, modalités et fonctions) dans le tableau 22, pour chacune des 16 variables composant les 6 catégories, dans le tableau 23 et pour les 18 participants dans le tableau 24. La fidélité inter-juges a été codée sur 30% des vidéos, soit 18 vidéos tirées au hasard sur les 60.

Accord inter-juges global et pour les 6 catégories

Le pourcentage total d'accord inter-juges est de 93%. On notera que les deux catégories obtenant des pourcentages d'accord plus faibles sont les « modalités d'expressions » et « les fonctions ». Cela n'est pas surprenant, car pour ces deux catégories, il ne s'agit pas de coder uniquement un type de comportement comme c'est le cas des gestes ou des mots, mais bien de les analyser en tenant compte à la fois des mots prononcés et des gestes effectués.

Tableau 22

Taux d'accord inter-juges par catégories et global

	Catégories						Global
	Nombre de mots	Nombre de gestes totaux	Nombre de gestes figuratifs	Types de gestes	Modalités d'expressions	Fonctions	M
Pourcentage d'accord	96%	95%	96%	94%	90%	92%	93%

Accord inter-juges pour les 16 variables

Les taux d'accord par variables sont excellents. Les trois variables obtenant un taux plus faible sont « les pointages de liaison », la modalité « discours seul » et la fonction de « redondance ». Il est intéressant de relever qu'il s'agit de variables très peu cotées dans les vidéos. À titre d'exemple, en moyenne, dans les 18 vidéos du codage inter-juges, « les pointages de liaison » ont été codés trois fois, la modalité « discours seul » trois fois et la fonction de « redondance » quatre fois. Un désaccord dans ces catégories fait donc facilement descendre le taux d'accord. Le détail de chaque variable codée se trouve en annexe L.

Tableau 23

Synthèse du taux d'accord inter-juges par variables

	% accord	
	80-89%	90-100%
<i>n</i> variables	3	13

Accord inter-juges par participant

Les taux d'accord par participant ont été calculés sur huit participants avec une DI tirés au sort, ainsi que sur cinq participants du groupe TDVS et cinq participants du groupe TDL. Les mêmes variables ont été codées dans chacune des 18 vidéos. Les taux d'accord ont été vérifiés individuellement et ceux-ci sont excellents, ils permettent de confirmer que la grille de codage est adaptée à la fois pour les élèves avec une DI et pour les élèves typiques. Un exemple du codage de chaque participant se trouve en annexe L.

Tableau 24

Synthèse du taux d'accord inter-juges par participant

	% accord	
	89-94%	95-100%
<i>n</i> participants	11	7

Finalement, des analyses de corrélations de Spearman ont été effectuées sur le score total de chaque variable cotée par les deux codeurs. Les résultats sont présentés dans le tableau 25. Toutes les corrélations sont significatives ($p < .001$) et fortes.

Tableau 25

Corrélations entre les deux codeurs de la fidélité inter-juges

<i>N</i> = 18	
Mots	.997**
Gestes de pointage	.983**
Pointage de liaison	.943**
Gestes iconiques	.982**
Gestes métaphoriques	1**
Gestes actions	1**
Gestes avec le corps	.908**
Essai de préhension	1**
Total des gestes figuratifs	.893**
Total de tous les gestes	.988**
Gestes seuls	.987**
Bimodal	.888**
Discours seul	.949**
Redondance	.961**
Précision	.990**
Supplément	.979**

** La corrélation est significative $p < 0.01$

5.5 Analyses statistiques

Dans ce chapitre, les analyses statistiques préliminaires de distribution normale et liées à chaque hypothèse seront explicitées.

5.5.1 Analyses statistiques préliminaires

Pour les analyses statistiques, le niveau alpha a été fixé à $p < 0.05$. La correction de Bonferroni a été appliquée à tous les tests *post-hoc* afin de corriger l'erreur cumulée. Les tailles d'effet reportées correspondent au d de Cohen qui s'interprètent de la manière suivante : un petit effet pour 0.2, un effet moyen dès 0.5 et un grand effet dès 0.8.

5.5.2 Distribution normale

En raison du nombre relativement restreint d'élèves ayant participé à la recherche dans chacun des groupes, des analyses statistiques non paramétriques ont été menées pour comparer les groupes entre eux. En effet, bien que les résultats aux tests de Kolmogorov-Smirnov et de Shapiro-Wilk ne relèvent pas de différence significative et laissent supposer une distribution normale, les tracés Q-Q et les courbes de Gauss indiquent que les variables ne sont toutefois pas distribuées normalement.

5.5.3 Vérification des hypothèses

Le tableau 26 présente les différentes hypothèses de recherche, leur fondement scientifique, les variables mesurées et les analyses statistiques effectuées.

Tableau 26

Vérification des hypothèses de recherche

1. Vérification des hypothèses de recherche sur le nombre de gestes			
Hypothèses	Fondement scientifique	Variables mesurées	Analyses statistiques
1.1 Le nombre de gestes est plus élevé chez les élèves avec une DI que chez les enfants typiques	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Le nombre de gestes est codé dans le logiciel ELAN (chaque geste est indiqué) (VD) Le niveau intellectuel est mesuré d'après les Matrices de Raven (VI) Le niveau visuo-spatial d'après les Matrices de Raven, les blocs de Corsi et le Beery (VI) Le niveau de langage est mesuré avec le BILO 3C (VI)	Test non paramétrique de Friedman (ANOVA) pour plusieurs échantillons dépendants (DI, TDVS et TDL)

1.2 Les élèves ayant un empan visuo-spatial et une coordination visuo-motrice plus faibles produisent significativement moins de gestes iconiques.	Revue de littérature sur le rôle des gestes dans la rotation mentale	<p>L'empan visuo-spatial est mesuré avec les blocs de Corsi (VI) et la coordination visuo-motrice avec le Beery-VMI (VI)</p> <p>Les gestes iconiques sont codés dans les vidéos (VD)</p>	<p>Corrélations de Spearman sur l'ensemble de l'échantillon (DI, TDVS et TDL)</p> <p>Analyse de cluster</p> <p>Analyse de régression</p>
1.3 Plus le niveau de langage oral de l'élève est faible, plus la production de gestes est importante.	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	<p>Le niveau de langage oral est mesuré avec le test BILO-3c (VI)</p> <p>Le nombre de gestes est codé dans le logiciel ELAN (VD)</p>	<p>Corrélations de Spearman sur l'ensemble de l'échantillon (DI, TDVS et TDL)</p> <p>Analyse de régression</p>
1.4 Le nombre de gestes produits est plus élevé chez les élèves ayant un niveau psychomoteur élevé	Revue de littérature sur le rôle des gestes dans la rotation mentale	<p>Le niveau psychomoteur est mesuré par la motricité gnosopraxique distale (VI)</p> <p>Le nombre de gestes est codé dans le logiciel ELAN (VD)</p>	<p>Corrélations de Spearman sur l'ensemble de l'échantillon (DI, TDVS et TDL)</p> <p>Analyse de régression</p>
1.5 Plus le niveau de complexité de la tâche augmente, plus l'élève a recours aux gestes pour réaliser ou expliquer la tâche	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	<p>Les tâches spatiales contiennent deux niveaux de complexité (VI)</p> <p>Le nombre de gestes est codé dans le logiciel ELAN (VD)</p>	Test non paramétrique de Wilcoxon pour deux échantillons dépendants
1.6 Les élèves avec une DI obtiennent des performances plus faibles dans une tâche de rotation mentale que leurs pairs typiques appariés sur l'âge mental.	Revue de littérature sur la rotation mentale chez les élèves avec une DI	<p>La performance est mesurée au travers d'une tâche de rotation mentale en 3D et une autre en 2D (VD)</p> <p>Le niveau intellectuel est mesuré d'après les Matrices de Raven (VI)</p> <p>Le niveau visuo-spatial d'après les Matrices de Raven, les blocs de Corsi et le Beery (VI)</p> <p>Le niveau de langage est mesuré avec le BILO 3C (VI)</p>	<p>Test non paramétrique de Friedman : ANOVA pour échantillons dépendants</p> <p>Corrélations de Spearman sur l'ensemble de l'échantillon (DI, TDVS et TDL)</p>

2. Vérification des hypothèses concernant les types de gestes les plus utilisés			
2.1 Les gestes les plus utilisés sont les gestes de pointage	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Les gestes de pointage sont codés sur ELAN (VD)	Test non paramétrique de Kruskal-Wallis (ANOVA) pour plusieurs échantillons indépendants
2.2 Les gestes iconiques sont plus utilisés par les élèves avec une DI	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Les gestes iconiques sont codés sur ELAN (VD) VI idem que l'hyp 1.1	Test non paramétrique de Friedman (ANOVA) pour plusieurs échantillons dépendants (DI, TDVS et TDL)
2.3 L'utilisation des gestes iconiques est corrélée à la réussite de la tâche	Revue de littérature sur le rôle des gestes dans la rotation mentale	Les gestes iconiques sont codés sur ELAN La réussite est mesurée sur 6 points dans la tâche de rotation mentale	Corrélations de Spearman
2.4 Les gestes et le discours faisant référence au mouvement sont corrélés à la réussite dans une tâche	Revue de littérature sur le rôle des gestes dans la rotation mentale	Les gestes spatiaux sont différenciés selon qu'ils sont dynamiques ou statiques La réussite est mesurée sur 6 points dans la tâche de rotation mentale	Corrélations de Spearman Analyse de régression
3. Vérification des hypothèses concernant l'utilisation des modalités geste et discours			
3.1 Les élèves typiques utilisent plus de discours seul que les élèves avec une DI	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Dans le logiciel ELAN, les modalités sont codées à partir des tâches spatiales (VD) VI idem que hyp 1.1	Test non paramétrique de Friedman (ANOVA) pour des échantillons dépendants (DI, TDVS et TDL)
3.2 Les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes seuls que les élèves typiques	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Dans le logiciel ELAN, les modalités sont codées à partir des tâches spatiales (VD) VI idem que hyp 1.1	Test non paramétrique de Friedman ANOVA pour échantillons dépendants
3.3 Les stratégies spatiales exprimées selon la modalité parole seule ne sont pas un facteur prédictif de réussite dans une tâche de rotation mentale	Revue de littérature sur le rôle des gestes dans la rotation mentale	Le langage spatial est codé dans ELAN La réussite est mesurée sur 6 points dans la tâche de rotation mentale	Analyse de régression
4. Vérification des hypothèses autour des fonctions des gestes			
4.1 Les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes pour préciser le langage que pour donner des informations redondantes ou supplémentaires	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Les fonctions des gestes en lien avec le langage sont codées dans Elan à partir des tâches spatiales (VD) VI idem que hyp 1.1	Test non paramétrique de Kruskal-Wallis (ANOVA) pour plusieurs échantillons indépendants

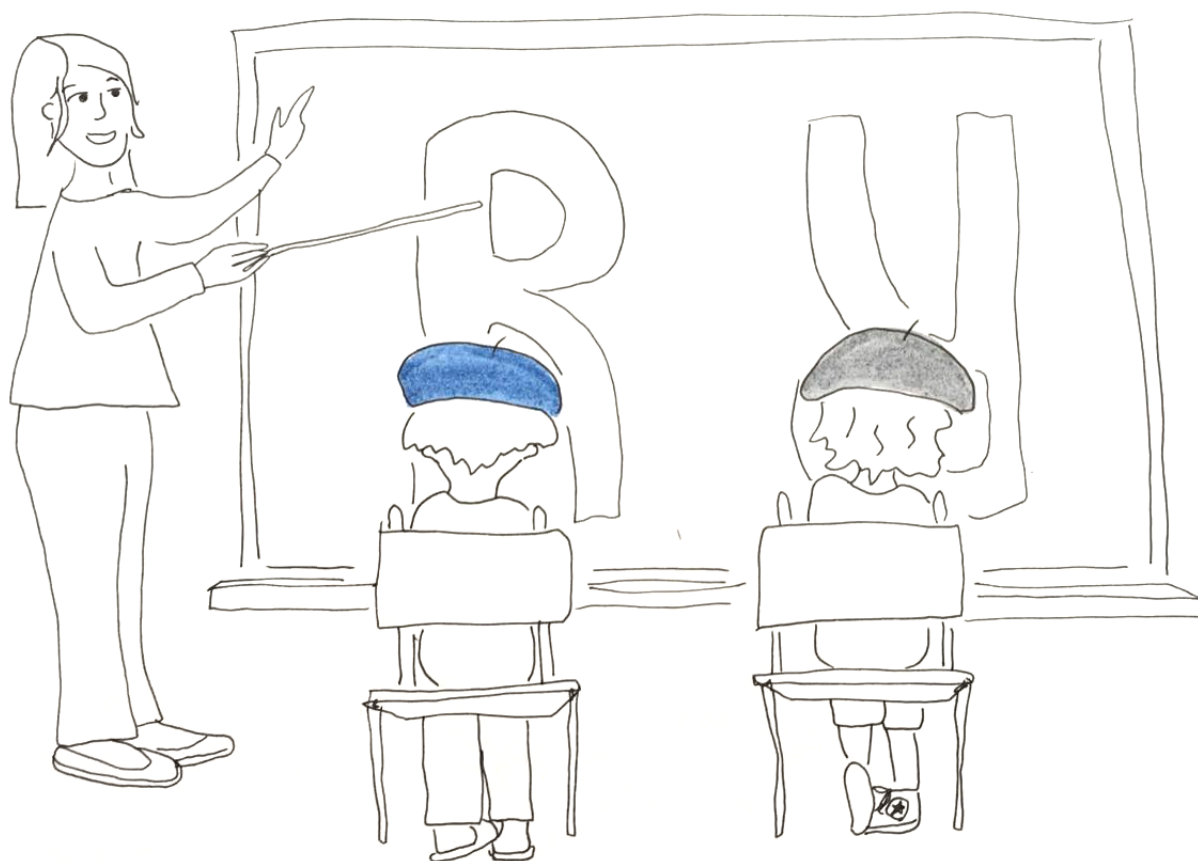
4.2 Les élèves avec une DI utilisent les gestes pour activer, manipuler, organiser et explorer les contenus	Revue de littérature sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI	Les fonctions spatiales sont codées sur ELAN à la fois sur les gestes (iconiques et pointage) et sur les gestes actions	Test non paramétriques de Friedman (ANOVA) pour plusieurs échantillons dépendants Analyse qualitative des fonctions spatiales des gestes
5. Hypothèses concernant de la conceptualisation par les gestes			
5.1 Les élèves expriment par les gestes des stratégies spatiales qui ne sont pas exprimées par le langage	Revue de littérature sur le rôle des gestes dans la rotation mentale	Observation des gestes utilisés par les élèves lors de l'explicitation des concepts par la constitution d'une bibliothèque de gestes Mesure de la réussite aux tests 3D et 2D proposés aux élèves	Analyse qualitative Test non paramétrique de Wilcoxon pour des échantillons dépendants

5.5.4 Vérification des variables perturbatrices

Des analyses préliminaires ont été menées afin de vérifier les effets d'éventuelles variables perturbatrices sur le nombre de gestes produits par les participants. La première analyse s'est centrée sur les liens possibles entre le nombre de relances (de questions posées par l'expérimentateur) et le nombre de gestes produits par les élèves. Les résultats indiquent une corrélation de Spearman non significative entre le nombre de relances/questions proposées et le nombre de gestes total produits par les élèves ($r = .118$, $p = .371$). C'est également le cas entre le nombre de relances et le nombre de gestes figuratifs (comprenant les gestes de pointage, les gestes iconiques et les gestes métaphoriques) ($r = -.084$, $p = .522$). La corrélation est aussi non-significative entre le nombre de relances et le nombre de gestes de pointage ($r = .104$, $p = .431$) tout comme entre le nombre de relances et le nombre de gestes iconiques ($r = -.180$, $p = .169$). La quantité de gestes ne semble donc pas dépendre, pour cet échantillon, du nombre de relances proposées par l'expérimentateur, ce qui permet d'explorer les effets de différentes variables propres aux élèves.

Dans la littérature, une différence entre la performance des filles et des garçons dans les tâches spatiales est souvent relevée. Des tests de Kruskal-Wallis ont donc été menés pour analyser la performance dans la tâche de rotation mentale. Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence entre la performance des garçons ($M = 4.60$, $ET = 1.19$) et des filles ($M = 4.13$, $ET = 1.32$) au test de rotation mentale ($\chi^2(1) = 2.570$, $p = .109$). Les filles et les garçons ne seront donc pas différenciés dans les analyses qui suivront.

6. Résultats



Ce chapitre présente les résultats de la recherche empirique, organisés autour des questions et des hypothèses de recherche.

6.1 Nombre de mots et de gestes utilisés

La première question de recherche s'intéressait au nombre de gestes et de mots utilisés par les élèves avec une DI en comparaison avec les élèves typiques, ainsi qu'à l'influence de facteurs personnels ou environnementaux tels que le niveau visuo-spatial, le niveau de langage, le niveau d'habileté motrice ou encore les niveaux de la tâche sur le nombre de gestes utilisés.

6.1.1 Nombre de mots et gestes utilisés par les élèves avec une DI et typiques

Afin de répondre à la première hypothèse qui stipulait un nombre de gestes plus élevé chez les élèves avec une DI, des tests non paramétriques de Friedman ont été effectués. Les résultats présentés dans le tableau 27 mettent en évidence que le nombre moyen de gestes utilisés par les trois groupes ne diffère pas de manière significative ($\chi^2(2) = .347, p = .841$).

Tableau 27

Nombre moyen de mots et de gestes utilisés par les élèves des trois groupes

	DI <i>M (ET)</i>	TDVS <i>M (ET)</i>	TDL <i>M (ET)</i>
Nombre de gestes	30.75 (7.59)	31.90 (10.09)	29.60 (10.88)
Nombre de mots	67.30 (24,76)*	112.00 (45,36)*	116.45 (46,17)*
Nombre de gestes par mot	0.50 (0.18)*	0.31 (0.12)*	0.28 (0.13)*

*La différence est significative entre les groupes $p < 0.01$

Notes : La moyenne est indiquée en premier dans le tableau suivi par l'écart-type entre parenthèse ; M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

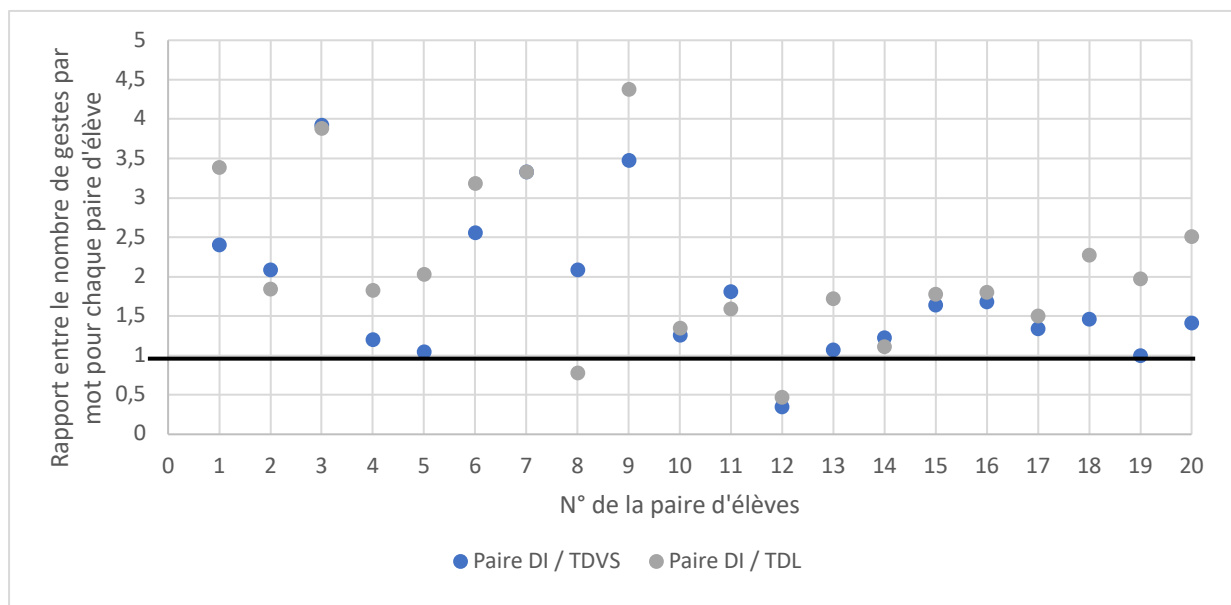
Une seconde analyse a été menée pour comparer le nombre de mots utilisés par les élèves ; les résultats révèlent que celui-ci diffère de manière significative ($\chi^2(2) = 15.872, p < .000$) entre les trois groupes. Le test *post-hoc* de Dunn-Bonferroni indique que les élèves avec une DI prononcent significativement moins de mots que le groupe contrôle visuo-spatial (TDVS) ($p = .034, d = 0.255$) et que le groupe contrôle langage oral (TDL) ($p = .000, d = 0.395$). Cette seconde analyse permet de comparer le pourcentage de gestes et de mots respectivement employés par les trois groupes d'élèves ; les résultats font état des proportions suivantes : les élèves avec une DI produisent des gestes à hauteur de 31% et des mots à hauteur de 69% alors que les élèves contrôles TDVS utilisent seulement 22% de gestes contre 78 % de mots et les élèves du groupe TDL 20% de gestes et 80% de mots.

Afin d'avoir une idée plus précise de l'utilisation des gestes et des mots dans les trois groupes, des analyses complémentaires ont été menées. Le nombre de gestes par mot, mesuré dans les trois groupes d'élèves a donc été comparé. Il est intéressant d'observer que le nombre de gestes par mot diffère de manière significative entre les trois groupes ($\chi^2(2) = 27.151, p < .000$). En menant des tests *post-hoc* de Dunn-Bonferroni, il apparaît que le groupe avec une DI utilise significativement plus de gestes par mot que les groupes contrôles TDVS ($p = .001, d = 0.372$) et TDL ($p = .000, d = 0.525$).

Après avoir comparé les moyennes entre les groupes, une comparaison pour chacun des élèves avec une DI a été menée par rapport à son contrôle TDVS et TDL. Un rapport de tendance a été effectué permettant d'observer pour chaque paire d'élèves lequel (élève DI versus élève TDVS, ou élève DI versus TDL) produit le plus de gestes par rapport au nombre de mots. Les résultats sont présentés dans la figure 49.

Figure 49

Nombre de gestes par mot pour chaque paire appariée



Pour chaque paire, le rapport gestes par mot de l'élève 1 (par exemple l'élève 1 DI) a été divisé par le rapport gestes par mot de l'autre (élève 1 TDVS). Lorsque le rapport obtenu est égal à 1, cela signifie que l'élève DI effectue autant de gestes par mot que son contrôle TDVS ou TDL. Lorsque le résultat est > 1 , c'est l'élève DI qui produit le plus de gestes par rapport à son contrôle TDVS ou TDL et lorsque le résultat est < 1 , c'est l'élève TDVS ou TDL qui fait le plus de gestes. Les résultats révèlent que tous les élèves avec une DI (sauf l'un d'entre eux, l'élève n° 12) font plus de gestes par mot que leur contrôle TDVS. De même, tous les élèves avec une DI (sauf deux d'entre eux : le 12 et le 8) font plus de gestes par mot que leur contrôle TDL. En

moyenne, les élèves avec une DI emploient 1.80 ($ET = 0.89$) fois plus de gestes par mot que leurs pairs TDVS et 2.03 ($ET = 0.96$) fois plus de gestes par mot que leurs pairs TDL.

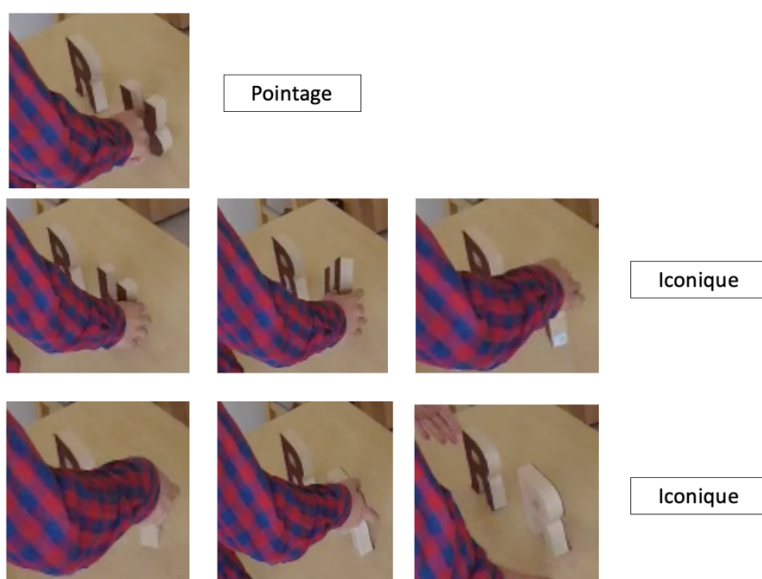
Ce dernier constat met en évidence que les élèves avec une DI de notre échantillon utilisent significativement plus de gestes par mots que leurs contrôles. À titre d'illustration de cette différence, deux exemples sont présentés dans les tableaux 28 et 29. Ils montrent un élève avec DI et son contrôle faire exactement les mêmes gestes pour expliquer leur réponse (un geste de pointage, puis deux gestes actions), mais prononcer un nombre de mots significativement différent. L'élève avec une DI utilise 2 mots, alors que son contrôle TDVS en prononce 35. Cette différence souligne le rôle très important des gestes pour l'élève avec une DI pour exprimer son raisonnement, car pour l'observateur, c'est principalement grâce aux gestes de l'élève que sa démarche mentale est visible.

Tableau 28

Illustration d'une réponse verbale et gestuelle d'un élève avec une DI

Élève avec une DI 3

Question de l'expérimentateur : Est-ce que les formes sont les mêmes ?



Réponse gestuelle :

L'élève pointe la forme (image 1) puis la prend pour la tourner (image 3) et la met face à l'autre (image 4). Il tourne ensuite la forme pour la mettre dans le même sens que la première (image 5).

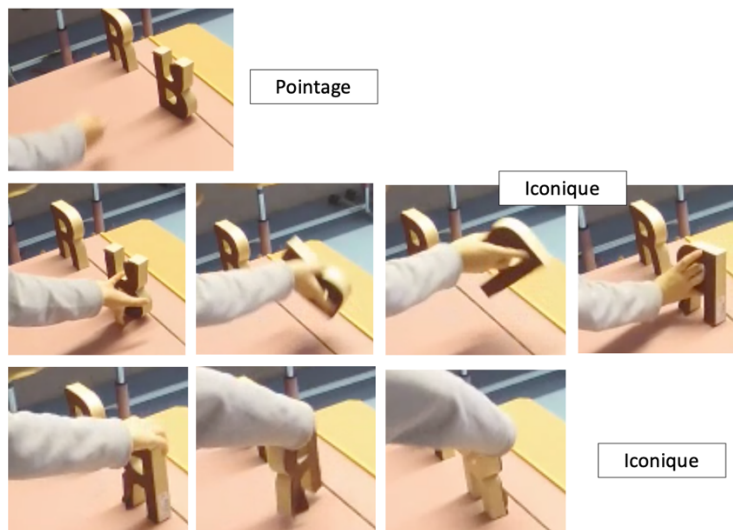
Réponse verbale : « Non, faut tourner »

Tableau 29

Illustration d'une réponse verbale et gestuelle d'un élève contrôle TDVS

Élève contrôle TDVS 3

Question de l'expérimentateur : Est-ce que les formes sont les mêmes ?



1.

Réponse gestuelle :

L'élève pointe la forme (image 2) puis la prend pour la tourner (image 3) et la met face à l'autre (image 4). Il tourne ensuite la forme pour la mettre dans le même sens que la première (image 5)

Réponse verbale :

« Celui-là là.. il est.. on peut pas parce que si on le bouge comme ça, il sera à l'envers et pis on est obligé de le mettre comme ça, mais y'a pas la couleur de ce côté. »

Description du langage spatial utilisé

Afin d'analyser plus finement le langage mobilisé par les élèves, un codage détaillé du nombre et des types de mots spatiaux utilisés pour décrire les représentations des élèves a été mené. Les mots qui ont été classifiés comme ayant un contenu spatial comprennent l'ensemble des prépositions spatiales (sur, sous, dans, devant, à gauche, autour, en face, loin, parmi, contre, au bord, dessus, dessous, dedans, derrière, à droite, près, en haut, au milieu, au-delà, hors, au-dessus, au-dessous, à l'intérieur, entre, à côté, auprès, en bas, à travers, chez, en dehors, à l'envers), l'ensemble des connecteurs spatiaux indiquant la proximité ou la distance (ici, là, près de, là-bas) et l'ensemble des mots décrivant la position de l'objet (droit-e, au bon endroit, dans le même sens, dans le mauvais sens, le même côté, l'autre côté). Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau 30.

Tableau 30

Nombre de mots spatiaux utilisés par les trois groupes d'élèves

	DI <i>M (ET)</i>	TDVS <i>M (ET)</i>	TDL <i>M (ET)</i>
Nombre de mots spatiaux	5.05 (2.79)*	7.8 (4.99)	9.00 (6.52)*

* La différence est significative entre les groupes $p < 0.05$

Notes : *M* = Moyenne ; *ET* = Écart type ; *DI* = déficience intellectuelle ; *TDVS* = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; *TDL* = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Le test non paramétrique de Friedman met en évidence une différence significative entre les groupes dans l'utilisation du langage spatial ($\chi^2(2) = 8.347, p = .015$). Les tests *post-hoc* précisent que les élèves du groupe TDL emploient significativement plus de mots ayant un contenu spatial que le groupe DI ($p = .017, d = 0.279$). Le nombre total de mots spatiaux prononcés par les élèves avec une DI est de 101 alors que le total pour le groupe TDVS est 156 et pour le groupe TDL 180. Les groupes contrôles utilisent donc à la fois plus de mots spatiaux, mais également une plus grande variété de mots.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 1.1

- Les élèves avec une DI prononcent significativement moins de mots que les élèves des deux groupes contrôles.
- Les élèves avec une DI utilisent un nombre moyen de gestes équivalent aux élèves des deux groupes contrôles.
- Les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes par mot que les élèves des deux groupes contrôles.
- Les élèves avec une DI emploient moins de mots spatiaux que les élèves du groupe contrôle TDL.

6.1.2 Nombre de gestes utilisés selon le niveau visuo-spatial

Afin de répondre à la deuxième hypothèse stipulant que les élèves avec un niveau visuo-spatial plus faible produisent significativement moins de gestes iconiques, des analyses de corrélations ont été menées. Le tableau 31 fait état d'une corrélation significative entre les gestes iconiques et les 3 sous-dimensions du niveau visuo-spatial, ce qui suggère un lien entre ces variables. Un niveau visuo-spatial élevé correspond à une hausse du nombre de gestes iconiques effectués par les élèves. À l'inverse, un niveau visuo-spatial plus faible est corrélé à un usage plus faible des gestes iconiques. Par ailleurs, les résultats mettent en évidence une corrélation négative entre le nombre de gestes actions et le niveau visuo-spatial, ceci signifie qu'un niveau visuo-spatial plus faible correspond à une utilisation plus importante de gestes actions. Ces deux observations sont particulièrement intéressantes, car elles témoignent d'une utilisation différente des gestes selon le niveau visuo-spatial initial des élèves et cela pour les trois mesures prises (l'empan, la coordination et le raisonnement). Il semble ici qu'un niveau visuo-spatial plus faible amène les élèves à soutenir leur expression par des actions concrètes, alors qu'en cas de compétences visuo-spatiales plus élaborées, les gestes iconiques sont davantage employés.

Tableau 31

Corrélations entre les gestes et les trois variables mesurant le niveau visuo-spatial

N = 60	Score à l'empan visuo-spatial	Score à la coordination visuo-motrice	Score au raisonnement visuo-spatial
Tous les gestes	-.020 ns ($p = .877$)	-.006 ns ($p = .963$)	-.078 ns ($p = .556$)
Gestes iconiques	.364**	.347**	.372**
Gestes actions	-.354**	-.437**	-.420**

**La corrélation est significative $p < 0.01$

Notes : ns = non significatif

Analyse de clusters

Afin de pouvoir caractériser les différences d'utilisation des gestes selon le niveau visuo-spatial, des groupes de niveau (cluster) ont été constitués. Préalablement à l'élaboration des groupes, les corrélations entre les trois variables visuo-spatiales ont été vérifiées. La corrélation entre les résultats au test de raisonnement visuo-spatial et au test de mémoire visuo-spatiale est une corrélation modérée à forte ($r = .560^{**}$, $p = .000$), la corrélation entre le raisonnement visuo-spatial et la coordination visuo-motrice est forte ($r = .750^{**}$, $p = .000$). Finalement, la corrélation entre la mémoire visuo-spatiale et la coordination visuo-motrice est également significativement modérée à forte ($r = .598^{**}$, $p = .000$). Des analyses de clusters ont ensuite été menées de manière exploratoire. Les résultats ont montré l'existence de deux clusters. Le

premier cluster est constitué d'élèves dont les scores totaux aux trois dimensions visuo-spatiales sont situés entre 54 et 76 ; le deuxième est formé d'élèves dont les scores vont de 26 à 52. Des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis ont ensuite été conduits, afin de vérifier l'existence de différences dans l'utilisation des gestes et du langage entre les deux clusters. Les résultats sont présentés dans le tableau 32.

Tableau 32

Différence entre le nombre de gestes utilisés par type et le niveau visuo-spatial des élèves

	Cluster 1 ($n = 26$) Score 54 à 76 M (ET)	Cluster 2 ($n = 34$) Score 26 à 52 M (ET)
Nombre de gestes	29.46 (9.21)	31.73 (9.75)
Nombre de mots	99.34 (40.01)	98.00 (49.47)
Gestes iconiques	10.30 (4.48)*	5.91 (5.28)*
Gestes de pointage	12.84 (4.92)	13.85 (6.27)
Nombre de gestes actions	2.42 (4.12)*	7.44 (4.96)*

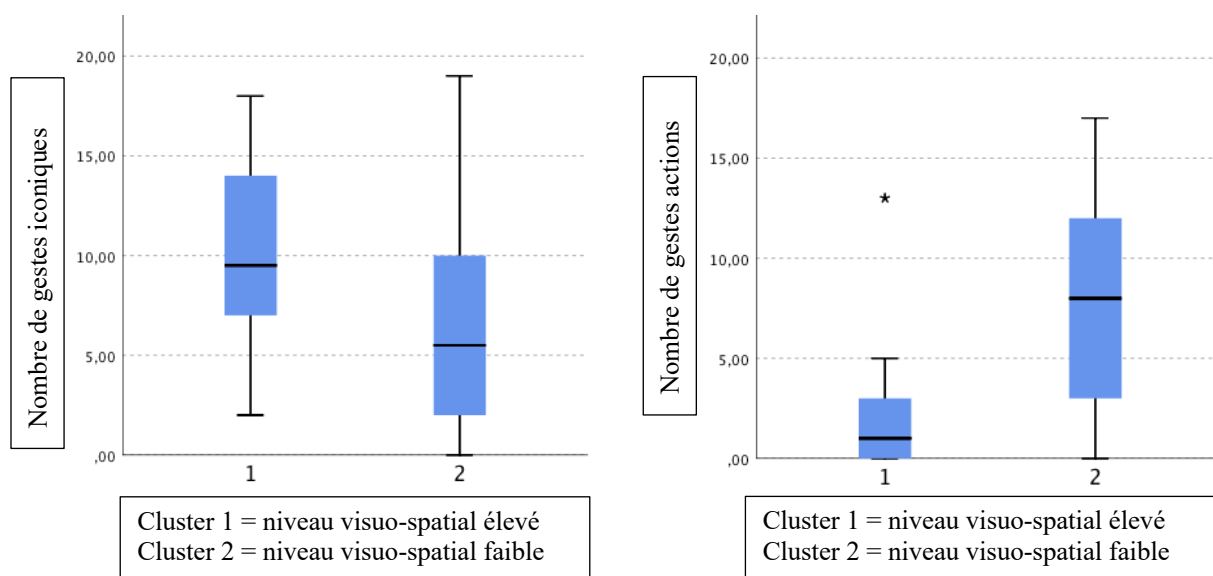
*La différence est significative $p < 0.01$

Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type

Cette comparaison selon le niveau visuo-spatial des élèves permet de confirmer les résultats obtenus lors des corrélations générales entre les trois composantes du niveau visuo-spatial et la mobilisation des gestes. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis révèle que les élèves du cluster 1, qui ont un meilleur niveau visuo-spatial, font significativement plus de gestes iconiques que les élèves du cluster 2, qui ont un niveau visuo-spatial plus faible ($\chi^2(1) = 9.793$, $p = .002$, $d = 0.845$). À l'inverse, les élèves du cluster 1 utilisent significativement moins de gestes actions que les élèves du cluster 2 ($\chi^2(1) = 14.349$, $p = .000$, $d = 1.094$). Dans les deux situations, la taille d'effet (d) est « forte », les différences sont illustrées dans la figure 50. Le tableau 32 révèle qu'il n'y a pas de différence dans le nombre moyen de mots utilisés dans les deux clusters. Cette observation semble indiquer l'absence de lien entre le niveau visuo-spatial et le nombre de mots, car même avec un niveau visuo-spatial plus faible, les élèves produisent un nombre moyen de mots similaire aux élèves ayant un niveau visuo-spatial plus élevé.

Figure 50

Nombre de gestes iconiques et de gestes actions selon le niveau visuo-spatial



Synthèse des résultats de l'hypothèse 1.2

- Les élèves ayant un niveau visuo-spatial plus faible produisent significativement moins de gestes iconiques et significativement plus de gestes actions

6.1.3 Nombre de gestes selon le niveau de langage oral

Afin de répondre à la troisième hypothèse qui postule un lien entre le niveau de langage oral et l'utilisation des différents types de gestes, des analyses de corrélations de Spearman ont été menées sur l'ensemble de l'échantillon (tableau 33).

Tableau 33

Corrélations entre le nombre de gestes et le niveau de langage oral

<i>N</i> = 60	Niveau de langage oral
Gestes total	-.072 ns (<i>p</i> = .584)
Gestes iconiques	.382**
Gestes actions	-.579**

** La corrélation est significative $p < 0.01$ / * La corrélation est significative $p < 0.05$

Notes : ns = non significatif

Les analyses font état de corrélations significatives entre le niveau de langage oral et deux types de gestes (les gestes iconiques et les gestes actions). Un niveau de langage oral plus élevé est lié à une augmentation des gestes iconiques alors qu'un niveau de langage oral plus faible est lié à une augmentation des gestes actions. Il semble donc qu'un niveau de langage plus élevé permette aux élèves de privilégier les gestes iconiques. À l'inverse, si le niveau du langage est plus faible, les élèves réalisent davantage de manipulations réelles sur l'objet. Dans cette étude, ce n'est pas donc l'ensemble des gestes qui est plus utilisé chez les élèves avec un niveau de langage plus faible, mais uniquement les gestes actions.

Des analyses de régression linéaire ont ensuite été menées en intégrant différentes variables, afin de considérer leur valeur prédictive. Un premier modèle a testé l'influence de quatre variables (le niveau de langage oral, l'empan visuo-spatial, la coordination visuo-motrice et le raisonnement analogique) sur l'utilisation des gestes iconiques. Un modèle général significatif ($p = .004$) a pu être dégagé. Toutefois en analysant l'impact des différentes variables, seul le langage oral est significatif dans ce modèle. Un bon niveau de langage oral prédit une utilisation plus fréquente des gestes iconiques ($B = 0.112$ ($SE = 0.052$), $\beta = .295$, $t = 2.148$, $p = .036$). Une seconde analyse de régression s'est intéressée à l'influence de ces mêmes variables sur les gestes actions. Ce deuxième modèle aussi significatif ($p = .000$) indique que le niveau de langage est le seul facteur prédictif négatif de l'utilisation des gestes actions ($B = -0.178$ ($SE = 0.045$), $\beta = -.485$, $t = -3.923$, $p = .000$). Cela indique qu'un faible niveau de langage oral prédit une utilisation plus importante de gestes actions.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 1.3

- Un bon niveau de langage oral prédit une utilisation plus fréquente de gestes iconiques alors qu'un faible niveau de langage oral prédit une utilisation plus importante de gestes actions

6.1.4 Nombre de gestes selon le niveau psychomoteur

Pour vérifier la quatrième hypothèse stipulant que le nombre de gestes produits est plus élevé chez les élèves ayant un niveau psychomoteur élevé, des analyses de corrélations de Spearman ont premièrement été menées. Les résultats présentés dans le tableau 34 indiquent que le nombre de gestes total n'est pas corrélé significativement au niveau psychomoteur ; par contre les gestes figuratifs qui correspondent aux gestes iconiques, de pointage et métaphoriques sont positivement corrélés au niveau psychomoteur des élèves. Ainsi un niveau de motricité gnosopraxique-distale élevé est lié à une augmentation des gestes figuratifs produits par les élèves. C'est également le cas pour les gestes iconiques où la corrélation est même élevée. À l'inverse, il existe une corrélation négative entre les gestes actions et le niveau psychomoteur. Cela suggère qu'un niveau psychomoteur plus faible est associé à une hausse des gestes actions réalisés. Finalement, la fonction de précision corrèle avec le niveau psychomoteur, ce qui semble indiquer que plus le niveau psychomoteur est élevé chez un élève, plus ses gestes vont préciser son langage oral.

Tableau 34

Corrélations entre le nombre de gestes et le niveau psychomoteur

N = 60	Niveau psychomoteur (motricité gnosopraxique-distale)
Gestes total	.124 n.s ($p = .346$)
Gestes iconiques + pointage (figuratifs)	.406**
Gestes iconiques	.548**
Gestes actions	-.599**
Fonction : précision	.352**

**La corrélation est significative $p < 0.01$

Notes : ns = non significatif

En ajoutant le niveau psychomoteur dans l'analyse de régression, celui-ci devient le seul facteur prédictif du nombre de gestes iconiques ($B = 0.714$ ($SE = 0.212$), $\beta = .521$, $t = 3.366$, $p = .001$). Dans le modèle de régression concernant les gestes actions, le niveau psychomoteur s'ajoute au langage oral en tant que facteur prédictif négatif. Ainsi, un faible niveau en langage oral ($B = -0.148$ ($SE = 0.043$), $\beta = -.402$, $t = -3.410$, $p = .001$) et une faible motricité gnosopraxique-distale ($B = -0.582$ ($SE = 0.188$), $\beta = -.437$, $t = -3.101$, $p = .003$) prédisent une utilisation plus conséquente de gestes actions.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 1.4

- Un bon niveau psychomoteur prédit une utilisation plus fréquente de gestes iconiques alors qu'un niveau plus faible prédit une utilisation plus importante de gestes actions.
- La fonction de précision des gestes est corrélée avec le niveau psychomoteur.

6.1.5 Nombre de gestes selon le niveau de complexité de la tâche

La 5^{ème} hypothèse issue de la littérature, stipulant que plus le niveau de complexité de la tâche augmente, plus l'élève a recours aux gestes pour réaliser ou expliquer la tâche, a été vérifiée par des tests non paramétriques de Wilcoxon pour des échantillons dépendants (tableau 35).

Tableau 35

Nombre d'occurrences des différents types de gestes selon le niveau de complexité de la tâche

	Niveau 1 (moins complexe) <i>M (ET)</i>	Niveau 2 (plus complexe) <i>M (ET)</i>
Nombre de gestes (DI)	11.20 (4.42)*	19.40 (6.96)*
Nombre de gestes (TDVS)	11.50 (4.19)*	18.90 (7.06)*
Nombre de gestes (TDL)	11.00 (5.38)*	17.10 (6.47)*
Total nombre de gestes	11.18 (4.64)*	18.45 (6.96)*
Gestes de pointage (DI)	3.50 (2.72)*	13.90 (6.34)*
Gestes de pointage (TDVS)	2.80 (3.41)*	13.05 (6.96)*
Gestes de pointage (TDL)	2.80 (3.33)*	11.45 (5.40)*
Total gestes de pointage	3.03 (3.16)*	12.80 (6.24)*

*La différence est significative entre les niveaux $p < 0.01$

Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ;

TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Les résultats mettent en évidence que, dans la tâche de niveau 1, les élèves avec une DI font significativement moins de gestes que dans la tâche de niveau 2 ($M_{N1} = 11.20$, $ET = 4.42$; $M_{N2} = 19.40$, $ET = 6.96$; $z = 2.95$, $p = .003$, $d = 1.055$). Cette différence, dont la taille d'effet est très élevée, se retrouve dans le groupe TDVS ($z = 3.49$, $p = .000$, $d = 1.323$) et dans le groupe TDL ($z = 3.10$, $p = .002$, $d = 1.125$). Les gestes sont donc davantage utilisés par tous les élèves lorsque la tâche devient plus complexe ($z = 5.59$, $p = .000$, $d = 1.187$). De manière plus détaillée, en observant les différents types de gestes utilisés, il apparaît que ce sont les gestes de pointage qui sont les plus utilisés dans le niveau 2 et ceci, quel que soit le groupe (DI $z = 3.76$, $p = .000$, $d = 1.479$), TDVS ($z = 3.75$, $p = .000$, $d = 1.473$) et TDL ($z = 3.68$, $p = .000$, $d = 1.431$). En analysant le nombre de mots prononcés par les élèves dans les deux niveaux (tableau 36), les résultats mentionnent qu'aucune différence n'est significative au niveau statistique. Ainsi, contrairement au nombre de gestes, les élèves utilisent un nombre de mots estimé similaire, et ce, quelle que soit la complexité de la tâche.

Tableau 36*Nombre de mots utilisés et niveau de complexité de la tâche*

	Niveau 1 <i>M (ET)</i>	Niveau 2 <i>M (ET)</i>
Nombre de mots (DI)	29.65 (13.89)	36.50 (17.08)
Nombre de mots (TDVS)	51.45 (26.95)	58.95 (24.23)
Nombre de mots (TDL)	50.00 (23.57)	66.40 (25.83)
Total nombre de mots	43.70 (23.99)	53.95 (25.75)

Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

L'analyse du nombre de mots entre les groupes indique quant à elle une différence significative entre le groupe avec une DI et les deux groupes appariés. Les élèves du groupe DI utilisent significativement moins de mots que leurs pairs dans le niveau 1 ($\chi^2(2) = 6.152, p = .046$) et dans le niveau 2 ($\chi^2(2) = 10.101, p = .006$) comme c'est le cas de manière générale dans toute la tâche.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 1.5

- Plus le niveau de complexité de la tâche augmente, plus l'élève a recours aux gestes pour réaliser ou expliquer la tâche.
- Le nombre de mots lui ne varie pas de manière significative entre les deux niveaux de complexité.

6.1.6 Scores de réussite des élèves avec une DI

La dernière hypothèse stipule un score de réussite plus faible chez les élèves avec une DI en comparaison avec les élèves typiques appariés selon l'âge mental et chronologique. Les résultats du test de Friedman, présenté dans le tableau 37, n'indiquent pas de différence significative de scores entre les groupes dans la tâche de rotation mentale en 3 dimensions. Par contre, une différence significative entre les groupes est observée pour les mêmes tâches en 2D avec papier et crayon ($\chi^2(2) = 9.707, p = .008$). Les tests *post-hoc* indiquent que seule la différence entre le groupe DI et le groupe TDL est significative ($p = .008 ; d = 0.435$). Ce résultat suggère que lorsque la tâche est proposée sur un support papier, les élèves avec une DI obtiennent donc de moins bons résultats, mais si celle-ci est réalisée dans un environnement matériel permettant la production de gestes, la performance est similaire.

Tableau 37

Score de réussite aux tâches de rotation mentale en 2D et en 3D dans chacun des trois groupes

	DI <i>M (ET)</i>	TDVS <i>M (ET)</i>	TDL <i>M (ET)</i>
Score de réussite 3D	4.10 (1.37)	4.45 (1.14)	4.75 (1.20)
Score de réussite 2D	2.35 (1.18)*	3.60 (2.41)	4.65 (2.62)*

*La différence est significative entre les groupes $p < 0.01$

Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Finalement, une analyse de corrélation de Spearman met en évidence une interaction significative entre le niveau d'intelligence fluide mesuré par les Matrices de Raven et la réussite de la tâche ($r = .623, p < .001$). Les élèves ayant des scores plus faibles dans l'intelligence fluide ont également des scores plus faibles dans la réussite de la tâche de rotation mentale, quelle que soit leur appartenance à l'un ou l'autre des groupes.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 1.6

- Les élèves avec une DI ont un score de réussite en rotation mentale significativement plus bas que les élèves TDL, mais uniquement pour le format papier-crayon (2D).
- Le niveau de réussite entre les groupes est similaire pour la tâche de rotation mentale proposée en 3D.
- Le niveau d'intelligence fluide est corrélé à la réussite de la tâche, quel que soit le groupe d'appartenance des élèves.

6.2 Types de gestes

La seconde question de recherche s'intéresse aux types de gestes utilisés dans les différents groupes. À titre d'illustration la figure 51 rappelle les différents types de gestes analysés.

Figure 51

Types de gestes analysés dans les résultats de la recherche empirique



6.2.1 Utilisation des gestes de pointage

La première hypothèse, qui stipulait une utilisation plus importante des gestes de pointage a été vérifiée en comparant le nombre de gestes de chaque catégorie par des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis (ANOVA) pour échantillons indépendants.

Tableau 38

Nombre d'occurrences des types de gestes utilisés par les trois groupes

	DI M (ET)	TDVS M (ET)	TDL M (ET)
Gestes de pointage	17.40 (6.00)*	16.00 (9.04)*	14.45 (6.37)*
Gestes iconiques	7.65 (4.34)*	7.75 (6.10)*	8.05 (5.80)*
Gestes métaphoriques	0.20 (0.89)*	0.05 (0.22)*	0.05 (0.22)*
Gestes actions	4.80 (5.47)*	5.85 (4.90)*	5.15 (5.48)*

* La différence est significative entre les types de gestes $p < 0.05$

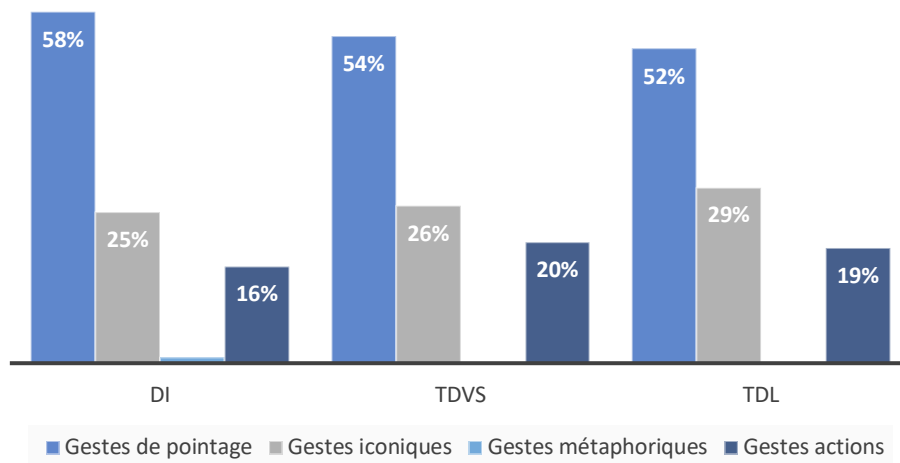
Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Le tableau 38 relève une différence significative entre les différents types de gestes pour le groupe avec une DI ($\chi^2(3) = 54.944, p < .000$). Le *post-test* révèle que les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes de pointage que de gestes iconiques ($p = .005$), métaphoriques ($p = .000$) et actions ($p = .000$). Dans le groupe TDVS, les élèves utilisent également plus de gestes de pointage ($\chi^2(3) = 47.556, p = 0.00$) que de gestes iconiques

($p = .045$), métaphoriques ($p = .000$) et actions ($p = .006$). La différence est également significative pour le groupe TDL ($\chi^2(3) = 47.472$, $p < .001$). Comme dans les deux groupes précédents, les participants réalisent plus de gestes de pointage que de gestes iconiques ($p = .028$), métaphoriques ($p = .000$), et actions ($p = .002$). Pour ce groupe (langage) cependant, la significativité corrigée par Bonferroni rend la différence entre les gestes de pointage et les gestes iconiques non significative ($p = .170$). La figure 52 illustre les différents pourcentages de gestes respectivement utilisés par les élèves des trois groupes.

Figure 52

Pourcentages respectifs des différents types de gestes utilisés par les trois groupes



Un test non paramétrique de Friedman a vérifié l'existence de différences d'utilisation des gestes entre les groupes. Les résultats n'indiquent pas de différence significative, ce qui semble préciser que, dans l'échantillon, les élèves avec une DI utilisent les différents types de gestes de manière similaire aux enfants typiques appariés sur le niveau visuo-spatial et sur le niveau verbal.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 2.1

- Les gestes de pointage sont les plus utilisés dans l'ensemble de l'échantillon.

6.2.2 Utilisation des gestes iconiques et des gestes actions

Afin de vérifier la seconde hypothèse qui postulait que les gestes iconiques sont plus utilisés par les élèves avec une DI, différents tests ont été menés : des tests non paramétriques de Friedman et des analyses de corrélation. Comme mentionné dans le sous-chapitre précédent, aucune différence significative entre les groupes n'a été constatée au niveau de l'utilisation des gestes iconiques dans cette étude. Des analyses complémentaires ont été effectuées pour observer une éventuelle différence entre les scores du comportement adaptatif mesuré par l'ABAS-II chez les élèves avec une DI par rapport aux différents types de gestes utilisés, ainsi qu'entre les scores de raisonnement analogique mesuré par les Matrices de Raven par rapport aux différents types de gestes.

Tableau 39

Corrélations entre le niveau de comportement adaptatif et le raisonnement analogique par rapport aux différents types de gestes utilisés

	ABAS-II (groupe DI)	Matrices de Raven (Tous)
Gestes iconiques	.727**	.372**
Gestes actions	-.502*	-.420**
Gestes de pointage	-.232 ns ($p = .325$)	-.063 ns ($p = .637$)
Gestes métaphoriques	-.219 ns ($p = .353$)	.086 ns ($p = .514$)

** La corrélation est significative $p < 0.01$

* La corrélation est significative $p < 0.05$

Notes : DI = déficience intellectuelle ; ns = non significatif

Dans le groupe avec une DI, un bon niveau de comportement adaptatif est lié à une augmentation des gestes iconiques produits par les élèves (tableau 39). La corrélation entre les deux dimensions est d'ailleurs forte. À l'inverse, un comportement adaptatif faible est associé à une hausse des gestes actions. La corrélation est également très forte. Les mêmes corrélations sont observées avec le niveau d'intelligence fluide (Matrices de Raven). Ces constatations semblent montrer que les élèves avec un comportement adaptatif et un niveau d'intelligence fluide plus élevé (ce qui s'apparente généralement à une DI plus légère) font significativement plus de gestes iconiques que les élèves avec une DI modérée qui eux ont davantage recours aux actions réelles pour réaliser la tâche de rotation mentale.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 2.2

- Le comportement adaptatif et l'intelligence fluide sont positivement corrélés au nombre de gestes iconiques et négativement corrélés aux gestes actions.

6.2.3 Gestes iconiques et réussite de la tâche

Afin de vérifier la troisième hypothèse qui postule que le nombre de gestes iconiques est corrélé à la réussite de la tâche, des analyses de corrélation de Spearman ont été effectuées. Le tableau 40 relève les liens entre certaines variables et la réussite dans la tâche de rotation mentale.

Tableau 40

Corrélations entre les différents types de gestes et la réussite de la tâche de rotation mentale

<i>N</i> = 60	Réussite dans la tâche de rotation mentale
Total des gestes	ns
Gestes figuratifs	.368**
Gestes de pointage	ns
Gestes iconiques	.680**
Gestes actions	-.585**
Fonction de précision des gestes	.491**
Nombre de mots	.407**
Raisonnement analogique (intelligence fluide)	.623**
Mémoire visuo-spatiale	.508**
Coordination visuo-motrice	.666**
Niveau psychomoteur	.607**
Langage oral	.557**

**La corrélation est significative $p < 0.01$

Notes : ns = non significatif

Les résultats indiquent que la réussite à la tâche de rotation mentale est fortement liée à plusieurs variables : le nombre de gestes iconiques, l'usage des gestes ayant une fonction de précision, le raisonnement analogique, la mémoire visuo-spatiale, la coordination visuo-motrice, le niveau psychomoteur, le langage oral et le nombre de mots. À l'inverse, les gestes de pointage ne sont pas corrélés à la réussite. Quant aux gestes actions, ils sont négativement corrélés à la réussite de la tâche, ce qui indique que les élèves qui privilégient les gestes actions sont plus en difficulté pour réaliser la tâche de rotation mentale.

Un premier modèle de régression a été mené en intégrant différentes variables comme le nombre de gestes, le type de gestes et le nombre de mots par rapport à la réussite de la rotation mentale. Une seule variable ressort comme étant un facteur prédictif, il s'agit des gestes iconiques ($B = 0.094$ ($SE = 0.041$), $\beta = .405$, $t = 2.286$, $p = .026$). Ainsi, le nombre de gestes iconiques utilisés prédit la réussite dans une tâche de rotation mentale, ce qui n'est pas le cas des gestes de pointage ($p = .445$), ni des gestes actions ($p = .081$), ni du nombre de mots ($p = .195$).

Un second modèle de régression linéaire analyse l'impact des variables mesurées préalablement à la tâche de rotation mentale (le niveau de raisonnement analogique, la mémoire visuo-spatiale, la coordination visuo-motrice, le niveau de langage oral et le niveau psychomoteur) sur la réussite dans la tâche de rotation mentale. En insérant toutes les variables, aucune d'elles ne se révèle significative. Si le niveau de langage oral est retiré, alors le niveau psychomoteur devient un facteur prédictif de la réussite à la tâche de rotation mentale ($B = 0.088$ ($SE = 0.041$), $\beta = .275$, $t = 2.129$, $p = .038$), montrant le fort lien qui unit le système moteur aux tâches de rotation mentale.

Synthèse des résultats de l'hypothèse 2.3

- Les gestes iconiques sont des facteurs prédictifs de la réussite.
- Les gestes de pointage ne sont pas corrélés à la réussite de la tâche.

6.2.4 Gestes et discours dynamiques face à la réussite de la tâche

L'hypothèse 4 qui stipulait une corrélation entre les gestes et le discours dynamique et la réussite de la tâche a été vérifiée par des analyses de corrélation. Les résultats mettent en exergue que les mots dynamiques ($r = .561^{**}$, $p < 0.01$) et les gestes dynamiques ($r = .286^*$, $p < 0.05$) sont corrélés à la réussite de la tâche de rotation mentale. Une mise en avant des mouvements et/ou des directions par le langage et les gestes semble donc liée à une plus grande réussite. Cette corrélation est également vraie pour les mots statiques ($r = .395^{**}$, $p < 0.01$) qui sont également corrélés à la réussite de la tâche.

D'autres analyses de Friedman ont été menées pour explorer les différences d'utilisation des gestes et mots statiques et dynamiques dans les différents groupes. Les résultats présentés dans le tableau 41 indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois groupes quant à l'utilisation respective des gestes statiques, dynamiques ou des mots statiques et dynamiques. L'ensemble des élèves semble donc les employer de manière similaire dans la tâche de rotation mentale.

Tableau 41

Utilisation des gestes et du discours statique versus dynamique selon les trois groupes

	DI <i>M (ET)</i>	TDVS <i>M (ET)</i>	TDL <i>M (ET)</i>
Mots statiques	9.30 (5.46)	12.25 (7.05)	12.80 (7.05)
Mots dynamiques	3.65 (3.04)	5.35 (4.79)	6.90 (5.09)
Gestes statiques	8.90 (5.00)	10.55 (7.14)	9.60 (5.69)
Gestes dynamiques	10.25 (3.16)	11.40 (4.44)	10.60 (3.80)

*La différence est significative entre les groupes $p < 0.05$

Notes : *M* = Moyenne ; *ET* = Écart type ; *DI* = déficience intellectuelle ; *TDVS* = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; *TDL* = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Synthèse des résultats de l'hypothèse 2.4

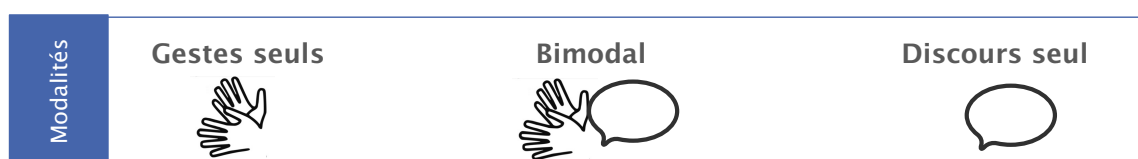
- Les gestes et le discours faisant référence au mouvement (dynamiques) sont corrélés à la réussite dans une tâche.

6.3 Modalités d'expression gestes-discours

La troisième question de recherche s'intéresse aux modalités d'expression geste-discours produites par les élèves avec une DI et par leurs pairs typiques. À titre d'illustration, la figure 53 rappelle les différentes modalités d'expression analysées dans les résultats.

Figure 53

Modalités d'expression analysées dans les résultats de la recherche empirique



6.3.1 Utilisation de la modalité gestes seuls et discours seul

Les deux premières hypothèses issues de la littérature visent à comparer la production des différentes modalités entre les groupes. La première stipule que les élèves avec une DI utilisent davantage la modalité gestes seuls que les élèves typiques et respectivement moins de discours seul que les élèves typiques. Les résultats des tests non paramétriques de Friedman sont présentés dans le tableau 42.

Tableau 42

Modalités d'expressions gestes-discours selon les trois groupes

	DI M (ET)	TDVS M (ET)	TDL M (ET)
Gestes seuls	6.30 (4.55)* [‡]	4.05 (2.89)	3.65 (3.18)*
Bimodal	12.35 (3.13)* [‡]	11.25 (2.88)	11.60 (3.18)
Discours seul	2.45 (1.87)* [‡]	2.90 (2.29)	3.65 (2.36)

*La différence est significative entre les groupes $p < 0.05$

[‡] La différence est significative entre les modalités d'expression $p < 0.05$

Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Les analyses révèlent que les gestes seuls sont produits différemment entre les groupes ($\chi^2(2) = 6.609, p = .037$). Les tests *post-hoc* mettent en évidence que seule la différence entre le groupe DI et le groupe TDL est significative ($p = .018$). Toutefois, celle-ci devient non significative ($p = .053$) lors de la correction de Bonferroni. Ces résultats suggèrent donc que les élèves avec une DI produisent davantage de gestes seuls que leurs pairs, même si la différence est faiblement significative. Une explication de cette faible différence peut être le nombre en

général peu élevé de gestes seuls, la moyenne d'occurrences se situant entre 3 et 6, il est difficile d'obtenir des différences significatives.

Des analyses de corrélation ont ensuite été menées pour analyser les liens entre les différentes modalités et certaines variables comme le langage, les gestes actions ou les gestes iconiques. Les résultats, présentés dans le tableau 43, établissent que plus les élèves ont des difficultés de langage, plus ils utilisent les gestes seuls pour exprimer leurs stratégies (la corrélation est négative $r = -.405, p = .001$). Une autre corrélation significative est celle entre les gestes actions et la modalité gestes seuls. En effet, plus les élèves produisent des gestes actions, plus ils utilisent de la modalité gestes seuls ; à l'inverse, plus les élèves font des gestes iconiques, moins ils utilisent la modalité gestes seuls, ce qui signifie que les gestes iconiques sont le plus souvent accompagnés par du discours verbal, ces gestes étant utiles pour illustrer ce qui est dit verbalement.

Tableau 43

Corrélations entre les modalités d'expressions et différentes variables

	Langage oral	Gestes actions	Gestes iconiques
Gestes seuls	-.405**	.599**	-.299*
Bimodal	-	-	-
Discours seul	-	-	-

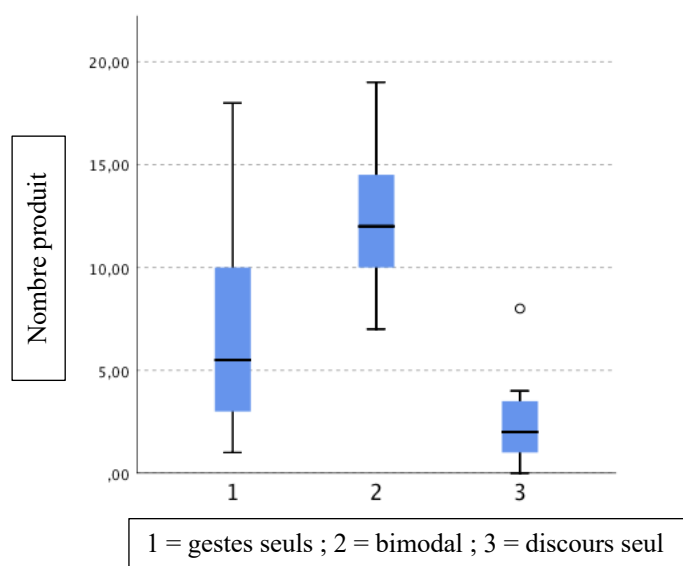
** La corrélation est significative $p < 0.01$

* La corrélation est significative $p < 0.05$

Finalement, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (ANOVA) montre que dans chacun des groupes, la modalité bimodale est la plus utilisée. La figure 54 illustre ces différences. Dans le groupe DI, la différence est significative ($\chi^2(2) = 35.565, p = .000, d = 2.394$) pour chacune des trois modalités. La combinaison bimodale est plus souvent utilisée que celle du geste seul ($p = .002, d = 2.07$) et que du discours seul ($p = .000, d = 4.497$). Dans ce groupe, les élèves utilisent également significativement plus de gestes seuls que de discours seul ($p = .032, d = 1.449$). Les trois différences ont une taille d'effet importante.

Figure 54

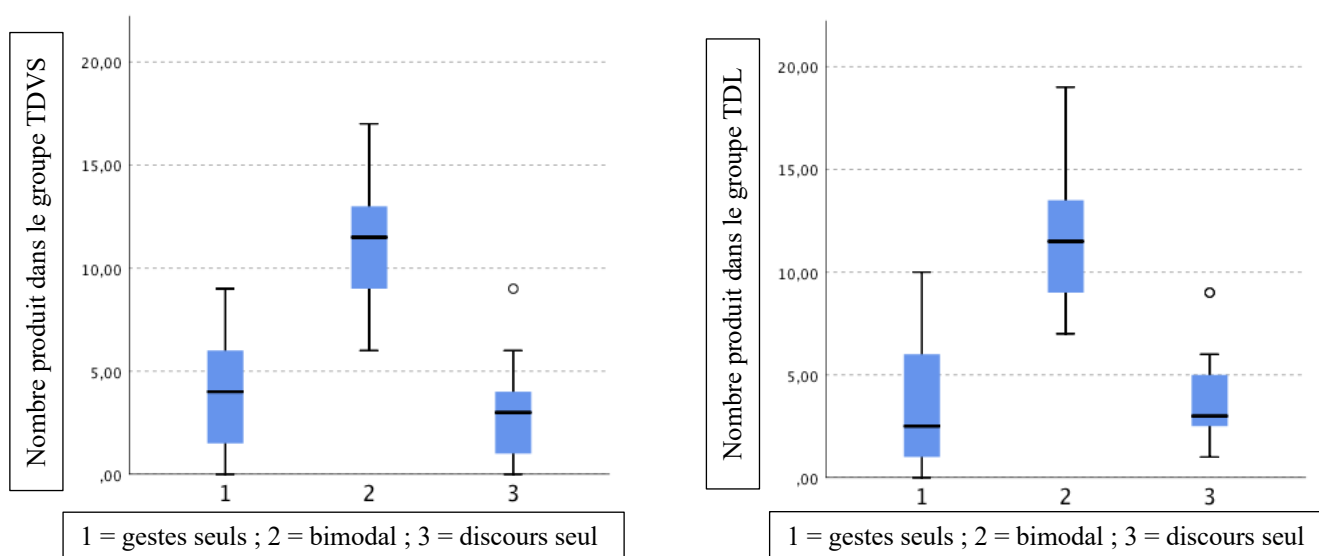
Répartition des trois modalités dans le groupe des élèves avec une DI



Dans le groupe TDVS, la différence est également significative ($\chi^2 (2) = 36.943$, $p = .000$, $d = 2.517$). Les élèves TDVS recourent significativement plus à la modalité bimodale qu'aux gestes seuls ($p = .000$, $d = 3.174$) et qu'au discours seul ($p = .000$, $d = 3.904$). Cependant, la différence entre les gestes seuls et le discours seul n'est pas significative ($p = 1.00$). Dans le groupe TDL, la différence est également significative entre les différentes modalités ($\chi^2 (2) = 35.506$, $p = .000$, $d = 2.388$). Les tests *post-hoc* indiquent que les élèves TDL produisent significativement plus de gestes et de discours que de gestes seuls ($p = .000$, $d = 3.888$) et que de discours seul ($p = .000$, $d = 3.065$). Toutefois, comme pour le groupe TDVS, la différence entre les gestes seuls et le discours seul n'est pas significative ($p = 1.00$).

Figure 55

Différence dans l'utilisation des trois modalités dans les deux groupes d'élèves contrôles



Il est particulièrement intéressant de relever ces différences à l'intérieur des groupes, car cela met en évidence que les élèves avec une DI sont les seuls à recourir de manière significativement plus importante aux gestes seuls qu'au discours seul. Dans les deux groupes contrôles, ceux-ci utilisent ces deux modalités de manière quasi équivalente.

Synthèse des résultats des hypothèses 3.1 et 3.2

- Les élèves avec une DI utilisent plus souvent la modalité « gestes seuls » que la modalité « discours seul », ce qui n'est pas le cas des deux groupes contrôles.
- Les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes seuls que les élèves typiques du groupe TDL.

6.3.2 Les stratégies exprimées par la parole seule face à la réussite de la tâche

La revue de littérature sur la rotation mentale laisse supposer que les stratégies exprimées par la parole seule ne sont pas un facteur prédictif de la réussite. Notre étude corrobore ce constat. D'ailleurs, aucune des modalités considérées (gestes seuls, bimodale, discours seul, gestes et mots dynamiques et statiques) n'est un facteur prédictif de la réussite à la tâche de rotation mentale, le modèle de régression est non significatif ($p = .304$). Pourtant, comme explicité dans le chapitre sur les différentes stratégies statiques et dynamiques exprimées par les gestes et le discours, il apparaît que l'utilisation de mots statiques et dynamiques est corrélée à la réussite de la tâche. Ce n'est donc ni la modalité ni le nombre de mots qui sont corrélés à la réussite, mais bien les mots ou les gestes directement en lien soit avec les caractéristiques de l'objet, soit avec la rotation de celui-ci.

Synthèse des résultats des hypothèses 3.3

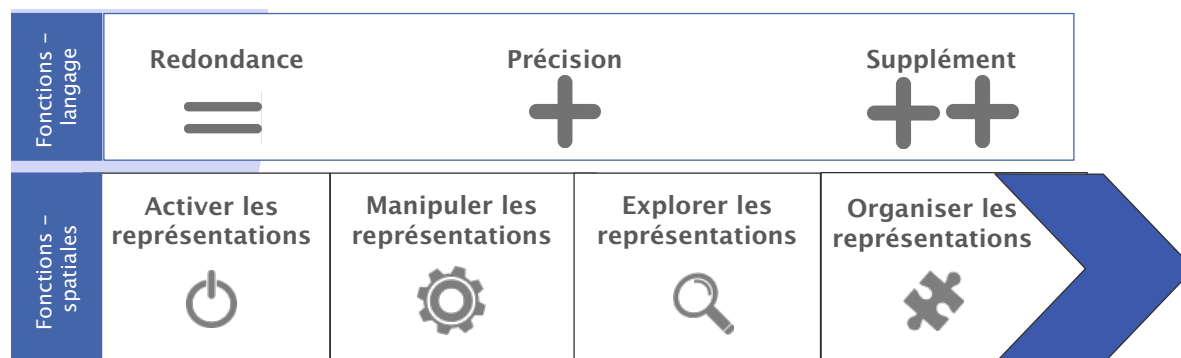
- Les stratégies spatiales « exprimées par la parole seule » ne sont pas un facteur prédictif de la réussite dans une tâche de rotation mentale.

6.4 Fonctions des gestes

La quatrième question de recherche se demande quelles sont les fonctions des gestes utilisés par les élèves avec une DI, respectivement par les élèves typiques. À titre d'illustration, la figure 56 rappelle les différentes fonctions en lien avec le langage analysées dans les résultats.

Figure 56

Fonctions analysées dans les résultats de la recherche empirique



6.4.1 La fonction de précision

La première hypothèse sur les fonctions des gestes chez les élèves avec une DI postule que ceux-ci recourent davantage aux gestes pour préciser le langage verbal que pour y adjoindre des informations redondantes ou supplémentaires. Les résultats du test de Kruskal-Wallis (tableau 44) indiquent que les élèves avec une DI font significativement plus les gestes dans le but de préciser leur langage ($\chi^2(2) = 38.773, p = .000, d = 2.697$) que pour apporter des informations redondantes ($p = .000, d = 3.237$) ou supplémentaires ($p = .000, d = 4.154$). Les mêmes différences sont observées pour le groupe TDVS ($\chi^2(2) = 38.108, p = .000, d = 2.629$) et pour le groupe TDL ($\chi^2(2) = 42.225, p = .000, d = 3.101$).

Tableau 44

Fonctions des gestes précisant le langage selon les trois groupes

	DI M (ET)	TDVS M (ET)	TDL M (ET)
Redondance	3.15 (2.20)*	3.25 (2.24)*	3.85 (2.30)*
Précision	11.35 (4.28)*	14.65 (7.54)*	14.90 (7.41)*
Supplément	2.15 (1.30)*	2.30 (2.17)*	1.50 (1.96)*

*La différence est significative entre les fonctions pour chacun des groupes $p < 0.05$

Notes : M = Moyenne ; ET = Écart type ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; TDL = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Comme relevé lors des corrélations sur la réussite de la tâche, les gestes précisant le discours sont corrélés à la réussite de la tâche ($r = .491, p < 0.01$). Cela suggère un lien entre la fonction de précision des gestes et la réussite de la tâche. Une autre corrélation à considérer est celle, négative, entre la fonction de supplément et le niveau de langage oral ($r = -.270, p < 0.05$). Cela révèle que plus le langage oral est élevé, moins les élèves recourent aux gestes comme moyen supplémentaire pour clarifier leur langage. Par contre, aucune des fonctions gestuelles ne corrèle avec le niveau visuo-spatial ou le niveau intellectuel, ce qui suggère que les élèves, quel que soit leur niveau visuo-spatial ou intellectuel, semblent recourir aux différentes fonctions véhiculées par les gestes de la même manière.

Synthèse des résultats des hypothèses 4.1

- Les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes pour préciser le langage verbal que pour donner des informations redondantes ou supplémentaires.

6.4.2 Les fonctions spatiales des gestes

La seconde hypothèse de recherche postule que les gestes des élèves font apparaître les fonctions d'activation, de manipulation, d'organisation et d'exploration des contenus¹⁸. Le tableau 45 indique que la fonction « manipuler » est la plus observée dans cette tâche et cela de manière très analogue en nombre dans les trois groupes ($p = .422$). Les trois autres fonctions, beaucoup moins sollicitées, ont tout de même pu être observées chez certains élèves. Cette étude n'a toutefois pas manipulé la présence ou l'absence de gestes pour pouvoir observer l'une ou l'autre des fonctions, et qu'il s'agit donc davantage ici d'observations détaillées sur l'utilisation des gestes comme utiles à activer, manipuler, organiser ou explorer les représentations spatiales de l'élève, que de résultats confirmatoires.

Tableau 45

Utilisation des fonctions spatiales des gestes selon les trois groupes

	DI <i>M (ET)</i>	TDVS <i>M (ET)</i>	TDL <i>M (ET)</i>
Activer	0.65 (0.67)*	0.1 (0.44)*	0.2 (0.52)
Manipuler	8.90 (2.35)	8.45 (1.70)	7.80 (1.88)
Organiser	0.40 (0.94)*	1.60 (1.56)*	1.45 (1.31)*
Explorer	0.90 (1.02)	0.60 (0.88)	0.65 (0.74)

*La différence est significative entre les groupes $p < 0.05$

Notes : *M* = Moyenne ; *ET* = Écart type ; *DI* = déficience intellectuelle ; *TDVS* = groupe contrôle selon le niveau visuo-spatial ; *TDL* = groupe contrôle selon le niveau de langage oral

Le test non paramétrique de Friedman met en évidence des différences significatives dans l'utilisation des différentes fonctions entre les groupes. La fonction « activer » est plus utilisée par les élèves avec une DI ($\chi^2(2) = 11.450, p = .003$) que par les groupes contrôles. Les tests *post-hoc* révèlent que c'est la différence entre le groupe DI et TDVS qui est significative ($p = .022, d = 0.329$), mais lors de la correction Bonferroni, celle-ci devient toutefois non significative ($p = .066$). La fonction « organiser » est plus utilisée par les groupes contrôles ($\chi^2(2) = 11.625, p = .003$) que par les élèves avec une DI. Les tests *post-hoc* montrent que les élèves avec une DI utilisent moins cette fonction que les élèves TDVS ($p = .013$) et TDL ($p = .018$ avec la correction $p = .053$). Les deux autres fonctions (manipuler et explorer) sont employées de manière similaire dans les trois groupes.

Finalement, plusieurs corrélations ressortent comme significatives, ce qui ouvre des hypothèses quant aux variables liées aux différentes fonctions spatiales. La fonction « activer

¹⁸ Avant la présente recherche, il n'y avait pas, à notre connaissance, d'études ayant mesuré les quatre fonctions spatiales dans une même tâche. Les études répertoriées par les auteurs analysent la plupart du temps l'une ou l'autre des fonctions, car le plus souvent les tâches proposées ciblent l'une ou l'autre des fonctions.

les représentations spatiales » est corrélée avec la mémoire visuo-spatiale ($r = .278, p < 0.05$), ce qui n'est pas le cas des trois autres fonctions. Cela suggère que la mémoire visuo-spatiale est liée à la fonction d'activation des représentations. La fonction « organiser » est corrélée au raisonnement analogique (Matrices de Raven) ($r = .465, p < 0.01$) et à la coordination visuo-motrice ($r = .406, p < 0.01$). Il semble donc qu'un niveau d'intelligence fluide et un niveau de coordination visuo-motrice efficaces, soient liés à l'emploi des gestes pour organiser le discours. Finalement, la fonction d'organisation est la seule qui est corrélée à la réussite de la tâche ($r = .400, p < 0.01$).

Synthèse des résultats des hypothèses 4.2

- Les élèves utilisent principalement la fonction de « manipulation » des représentations spatiales dans la tâche de rotation mentale.
- Les élèves avec une DI utilisent davantage la fonction « activer » que les élèves typiques.
- Les élèves typiques utilisent davantage la fonction « organiser » que les élèves avec une DI.
- La fonction « activer les représentations » est corrélée à la mémoire visuo-spatiale.

6.5 Processus de conceptualisation au travers des gestes

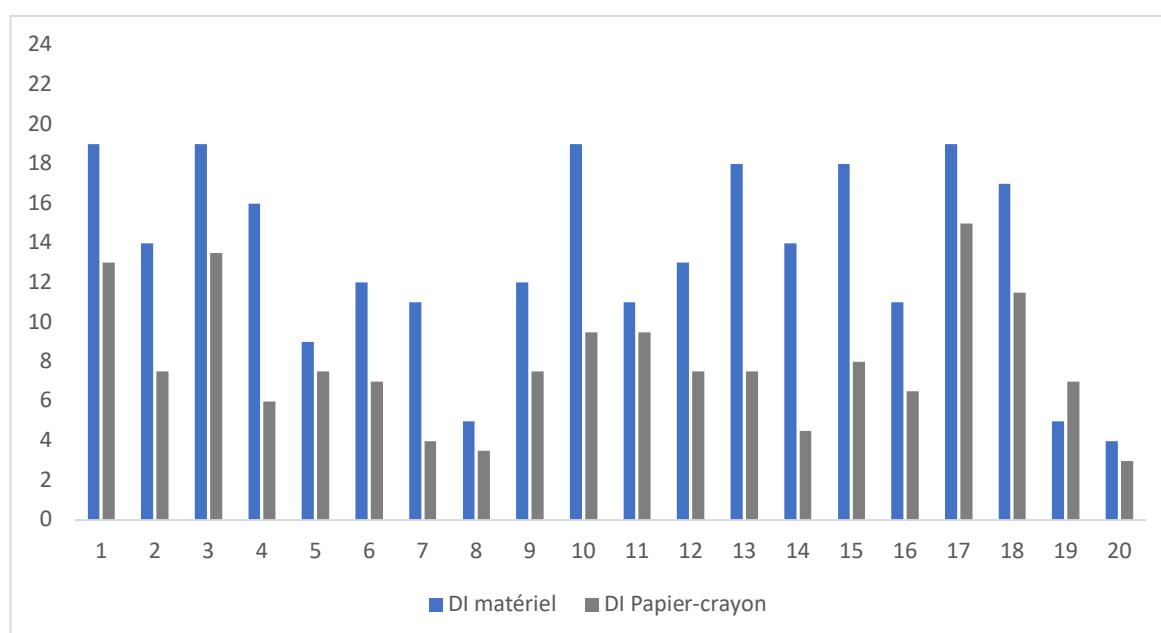
La dernière question de recherche s'intéresse à la fois à la manière dont les concepts sont exprimés au travers des gestes chez les élèves avec une DI, respectivement chez les élèves typiques, mais également à la manière dont le matériel tridimensionnel et la prise en considération des gestes améliorent la visibilité des performances des élèves. Afin de répondre à ces questions, trois tâches spatiales (rotation mentale, orientation spatiale et visualisation spatiale) avec du matériel en 3D et en format 2D (les éléments tridimensionnels étant dessinés sur une feuille) ont été proposées aux élèves.

6.5.1 Comparaison entre le niveau de réussite des tâches de rotation mentale en 3D et en 2D

La première hypothèse stipule que les élèves expriment des stratégies par les gestes qui ne sont pas véhiculées par le langage verbal. Pour analyser cette hypothèse, des tests de Wilcoxon ont premièrement été menés pour comparer la réussite des élèves dans les tâches en 3D et en 2D. Puis des analyses qualitatives ont été réalisées pour étayer le propos.

Figure 57

Scores de réussite aux tâches de rotation mentale en 3D et en 2D des élèves avec une DI



Le test non paramétrique de Wilcoxon met en évidence pour le groupe DI une différence significative entre les scores aux tâches spatiales tridimensionnelles et les scores à celles en 2D avec papier crayon ($z = 3.74$, $p = 0.00$, $d = 1.467$). Comme illustré dans la figure 57, les élèves avec une DI réussissent significativement mieux le test en utilisant un matériel manipulable en 3 dimensions. La prise en compte des gestes dans les réponses des élèves permet également de mettre en exergue leurs compétences (par exemple en tournant la forme correctement)

indépendamment de leur compétence en langage oral. D'ailleurs la corrélation entre le niveau de langage oral et la réussite des tâches en 3D chez les élèves avec une DI n'est pas significative ce qui suggère que, dans le dispositif prévu, les élèves peuvent montrer de bonnes performances dans les gestes indépendamment de leurs compétences en langage oral. Dans le groupe contrôle TDVS, il est intéressant de relever la même différence significative entre les tâches en 3D et en 2D ($z = 3.23, p = 0.001, d = 1.188$) tout comme dans le groupe contrôle TDL ($z = 3.66, p = 0.000, d = 1.419$). Ces résultats mettent en évidence qu'un dispositif d'évaluation prenant en compte les gestes et donnant la possibilité de manipuler du matériel permet à tous les élèves de révéler davantage de compétences. Finalement, si l'on considère les variables corrélées à la réussite des tâches en 3D dans l'ensemble de l'échantillon, plusieurs résultats ressortent : le nombre de mots prononcés par les élèves n'est pas corrélé à la réussite des tâches en 3D, mais le nombre de gestes figuratifs (iconique + pointage + métaphorique) est quant à lui corrélé à la réussite des tâches en 3D ($r = .386^{**} p < 0.01$).

Synthèse des résultats des hypothèses 5.1

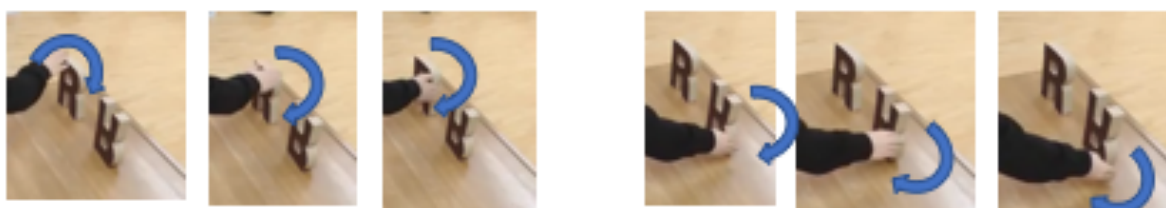
- Tous les élèves réussissent significativement mieux les tâches spatiales avec du matériel par rapport aux mêmes tâches présentées en 2D sur papier-crayon.
- Il n'y a pas de corrélations significatives entre le niveau de langage oral ou le nombre de mots prononcés et la réussite des tâches passées avec du matériel 3D.
- Le nombre de gestes figuratifs est corrélé à la réussite des tâches en 3D.

Illustrations du processus de conceptualisation

Pour illustrer de manière qualitative ce que les gestes apportent en plus à l'expression des concepts, une bibliothèque en images et en mots a été constituée (visible en annexe O). Celle-ci inventorie la manière dont les élèves expriment et argumentent leurs réponses. En voici quelques exemples :

Figure 58

Première illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes



« Non parce que là y'a »

« et là aussi y'a »

Dans cette tâche, l'élève devait indiquer si la forme de droite était la même que celle de gauche après l'avoir retournée mentalement. Dans la séquence présentée, l'élève répond : « non parce que là y'a et là aussi y'a ». Si l'on ne considère que son discours, celui-ci ne permet pas de comprendre sur quoi l'élève porte son attention et quel est l'objet de la justification donnée ; cependant en considérant les gestes iconiques, cela s'éclaire. En effet, l'élève suit du doigt l'arrondi du R sur la forme de gauche, puis suit du doigt l'arrondi du R retourné sur la forme de droite. Cela indique l'impossibilité, si l'on retourne la forme, que celle-ci soit dans le même sens.

Figure 59

Deuxième illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes



« Non, parce que c'est à l'envers »

Dans cette situation, l'élève répond que les formes ne sont pas les mêmes puis il dit « parce que c'est à l'envers ». Dans cet exemple, si seul le langage était pris en compte, l'observateur ne pourrait pas être sûr que l'élève ait bien fait la rotation mentale et ait vérifié que lorsqu'il retourne le R celui-ci fasse face au modèle. Il se pourrait également que le simple fait que le R soit tourné à 180° fasse dire à l'élève qu'il est « à l'envers ». Par contre, en observant le geste iconique de rotation effectué simultanément à la mise en mots, l'observateur est sûr que l'élève a bien fait la rotation mentale et qu'il a compris l'exercice.

Figure 60

Troisième illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes



« Non, ça c'est haut et ça c'est bas »

Ce troisième exemple est à mettre en contraste avec le précédent ; en effet, l'élève dit également que les deux formes sont différentes. Toutefois le geste effectué ne montre aucune rotation, mais pointe une fois le haut de la première forme puis une deuxième fois le bas de la seconde forme. Ces gestes permettent à l'observateur de comprendre que pour cet élève, les deux formes ne sont pas les mêmes en raison de leur positionnement de départ et non en raison du positionnement final après la rotation.

Figure 61

Quatrième illustration de la manière dont un enfant exprime, en gestes (et en mots), un argument visant à démontrer la différence entre les formes



« Non, parce que le R il est couché »

Dans cette quatrième situation, l'élève répond également que les deux lettres ne sont pas les mêmes et il dit « Non, parce que le R il est couché » en pointant le deuxième R. À nouveau, dans cet exemple son geste précise son discours et permet à l'observateur de déduire que l'élève n'a pas fait la rotation mentale, mais s'est fié aux positions de départ des formes. L'expérimentateur a donc pu lui redemander de répondre à la question en imaginant faire tourner la forme dans sa tête. Voilà la réponse produite par l'élève.



« Oui, comme ça »

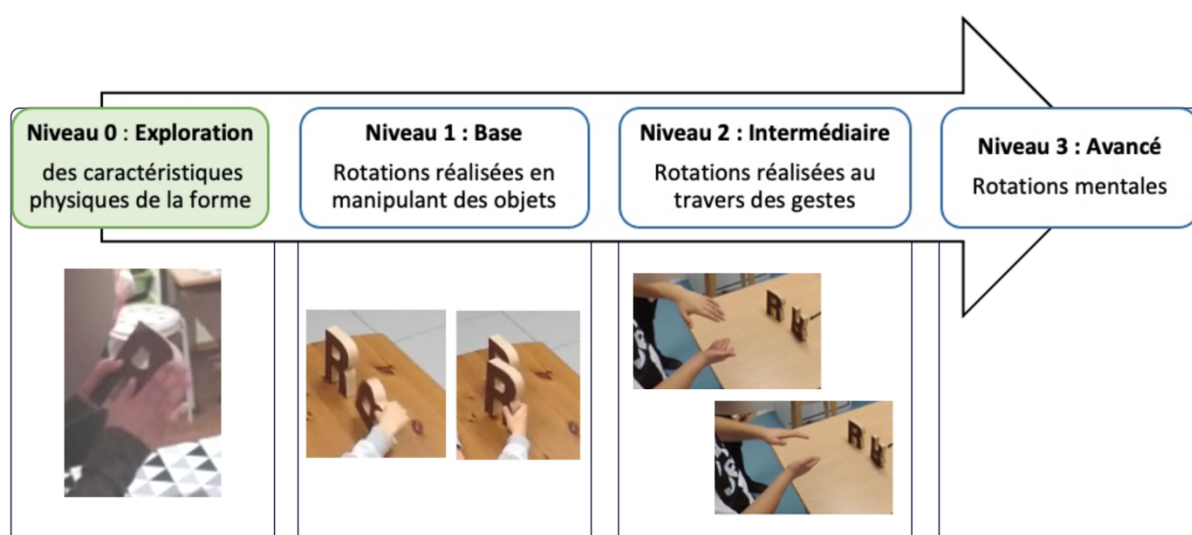
Cette fois, l'élève va répondre que oui la forme serait la même, mais sa réponse verbale intervient après avoir fait la rotation manuelle de la forme. Il est donc possible grâce à l'observation des réponses verbales et non verbales de considérer que cet élève a besoin de l'appui sur la rotation réelle de la forme pour pouvoir déterminer si celle-ci sera identique ou non au modèle.

6.5.2 Observation des niveaux de rotation mentale selon le modèle de Chu et Kita (2008)

Dans ce dernier sous-chapitre, les réponses verbales et non verbales des élèves seront mises en lien avec le modèle de Chu et Kita (2008) qui répertorie trois niveaux dans le développement de l'habileté de rotation mentale : le niveau 1 dans lequel l'enfant a besoin de s'appuyer sur la rotation réelle, le niveau 2 où l'élève effectue un geste et le niveau 3 dans lequel la rotation est réalisée uniquement de manière mentale. Les résultats de cette recherche permettent de confirmer l'observation des trois niveaux de conceptualisation chez les élèves, mais également d'ajouter un quatrième niveau, nommé « niveau 0 » dans lequel les élèves explorent manuellement la forme mais n'effectuent pas de rotation mentale, gestuelle ou physique dans le but de comparer les formes. Ces quatre niveaux sont illustrés dans la figure 62.

Figure 62

Illustration des différents niveaux de rotation mentale de Chu et Kita (2008) observés dans la présente recherche



Niveau 0

Dans ce niveau, l'élève explore les caractéristiques physiques (tactiles, olfactives, ...) de l'objet, mais ne parvient pas à analyser s'il s'agit de la même forme que l'autre. Les gestes de l'élève indiquent qu'il compare les formes au niveau du poids, de la texture ou de l'odeur.

Niveau 1 : manipulation réelle

Dans le niveau 1, les élèves effectuent la rotation réelle à l'aide d'une manipulation appelée « geste action ». Ils ne parviennent pas à faire un geste iconique pour indiquer la rotation.

Niveau 2 : gestes

Dans le niveau 2, les élèves simulent la rotation mentale au travers de gestes iconiques, afin de déterminer si les deux formes sont identiques ou différentes. Il est intéressant de relever que

plusieurs gestes iconiques différents sont observés. Parfois, le geste iconique de l'élève simule le mouvement réel, c'est-à-dire que l'élève ferme sa main au-dessus de la forme et effectue le geste de rotation exactement comme s'il tenait réellement la forme. D'autres élèves, comme illustré dans la figure 62 indiquent le sens de rotation envisagé, mais leurs gestes sont indépendants des caractéristiques physiques de la forme.

Niveau 3 : rotation mentale

Dans ce troisième niveau, très peu observé dans la présente recherche, l'élève explique sa stratégie de manière verbale uniquement. Il n'a plus besoin de s'appuyer sur un mouvement ou sur un geste de rotation.

6.6. Que retenir des résultats ?

Les chapitres précédents ont présenté les résultats aux cinq questions de recherche. Afin de synthétiser ceux-ci, quatre tableaux et/ou figures permettront de mettre en exergue les distinctions entre les groupes, les variables qui diffèrent à l'intérieur d'un même groupe, les corrélations significatives et les régressions significatives.

Tableau 46

Synthèse de la variabilité entre les groupes

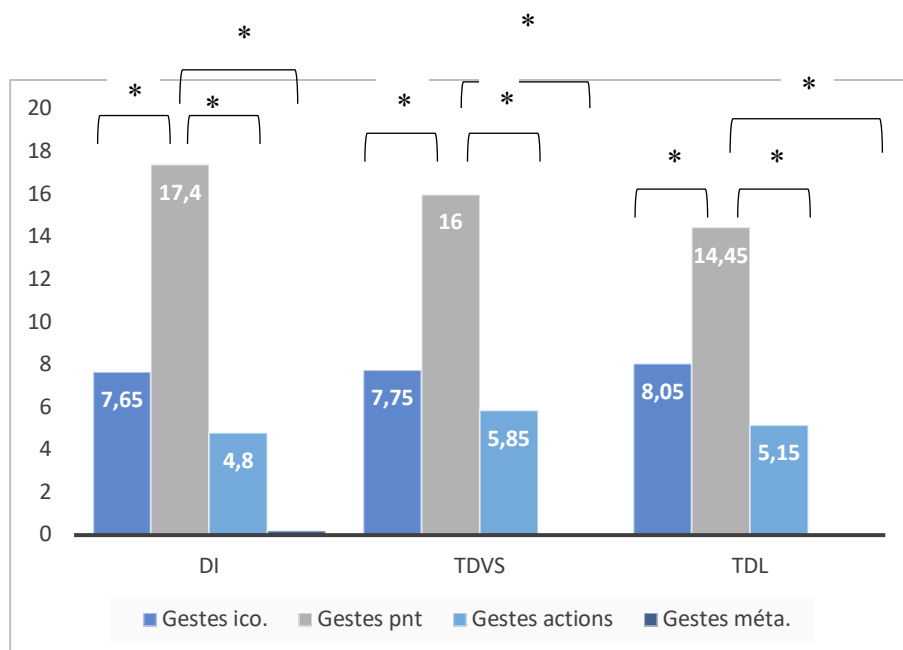
	Groupe DI	Groupe TDVS	Groupe TDL
Fréquence gestes et mots			
Nombre moyen de gestes	ns	ns	ns
Nombre moyen de mots	* ₋	* ₊	* ₊
Nombre de gestes par mot	* ₊	* ₋	* ₋
Nombre de mots spatiaux	* ₋	ns	* ₊
Types de gestes			
Gestes de pointage	ns	ns	ns
Gestes iconiques	ns	ns	ns
Gestes métaphoriques	ns	ns	ns
Gestes actions	ns	ns	ns
Modalités d'expression			
Modalité gestes seuls	* ₊	ns	* ₋
Modalité bimodal	ns	ns	ns
Modalité discours seul	ns	ns	ns
Fonctions des gestes liées au langage			
Fonction de redondance	ns	ns	ns
Fonction de précision	ns	ns	ns
Fonction de supplément	ns	ns	ns
Fonctions spatiales des gestes			
Activer des représentations	* ₊	* ₋	ns
Manipuler des représentations	ns	ns	ns
Organiser des représentations	* ₋	* ₊	* ₊
Explorer des représentations	ns	ns	ns
Réussite des tâches de rotation mentale			
Réussite aux tâches de rotation en 3D	ns	ns	ns
Réussite aux tâches de rotation en 2D	* ₋	ns	* ₊

Note : ns = non significatif ; * = différence significative ; + = groupe qui a le score le plus élevé dans la variable mesurée ; - = groupe qui a le score le plus faible dans la variable mesurée ; DI = Déficience intellectuelle ; TDVS = typical development visuo-spatial ; TDL = typical development langage oral ; en vert = le(s) groupe(s) qui ont le score le(s) plus élevé ; en rouge = le(s) groupe(s) qui ont le score le(s) plus faible

Premièrement, le tableau 46 synthétise les différences mesurées entre les trois groupes par rapport aux variables testées. Les résultats mentionnent que le groupe DI utilise un nombre de mots moyen et un nombre de mots spatiaux significativement plus faibles que les élèves typiques alors que le nombre de gestes par mots est significativement plus élevé. Pour les types de gestes, les élèves des trois groupes les utilisent à la même fréquence. Pour ce qui est des modalités d'expression, les élèves avec une DI privilégient les « gestes seuls » par rapport aux élèves TDL. D'autre part, les élèves des trois groupes emploient les fonctions liées au langage de manière similaire alors que celles liées au domaine spatial diffèrent. En effet, les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes pour activer des représentations que leurs pairs TDVS et significativement moins les gestes pour les organiser. Finalement, la tâche papier-crayon (en 2D) est significativement moins bien réussie par les élèves avec une DI.

Figure 63

Synthèse des différences d'utilisation des types de gestes à l'intérieur des groupes



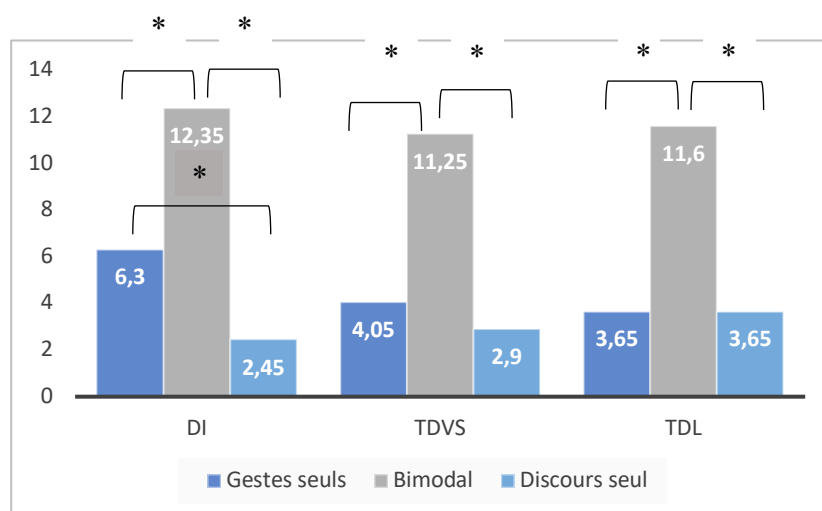
Note : * = différence significative ; DI = Déficience intellectuelle ; TDVS = typical development visuo-spatial ; TDL = typical development langage oral

Deuxièmement, les figures 63 et 64 synthétisent les résultats des différences entre les variables au sein d'un même groupe. Le graphique 64, illustre que les trois groupes recourent davantage aux gestes de pointage. Les gestes métaphoriques sont eux, les moins utilisés dans la tâche de rotation mentale et cela dans les trois groupes.

Le graphique 65 relève les différences dans les modalités d'expression des trois groupes. La modalité bimodale est significativement plus utilisée dans chacun des groupes. Dans le groupe DI, les élèves ont davantage recours aux gestes seuls qu'au discours seul.

Figure 64

Synthèse des différences d'utilisation des modalités d'expression à l'intérieur des groupes



Note : * = différence significative ; DI = déficience intellectuelle ; TDVS = typical development visuo-spatial ; TDL = typical development langage oral

Troisièmement dans le tableau 47, sont présentées les différentes corrélations testées¹⁹. Il apparaît que le nombre de gestes figuratifs est corrélé au niveau de langage oral, au niveau psychomoteur ainsi qu'à la réussite de la tâche. Le nombre de gestes iconiques augmente en fonction du niveau visuo-spatial (empan, coordination et raisonnement), du niveau de langage et du niveau psychomoteur. Dans cette recherche, les mots dynamiques sont liés au niveau visuo-spatial, au niveau de langage oral et au niveau psychomoteur. Ceux-ci sont également corrélés à la réussite de la tâche tout comme les gestes dynamiques. Finalement, les gestes actions et la modalité « gestes seuls » sont corrélés négativement à l'ensemble des variables, ce qui signifie que leur nombre est associé à un niveau visuo-spatial, un niveau de langage oral et un niveau psychomoteur plus faibles. Ils sont également négativement corrélés à la réussite de la tâche.

¹⁹ Les corrélations significatives positives sont en vert dans le tableau et les corrélations significatives négatives sont en rouge.

Tableau 47

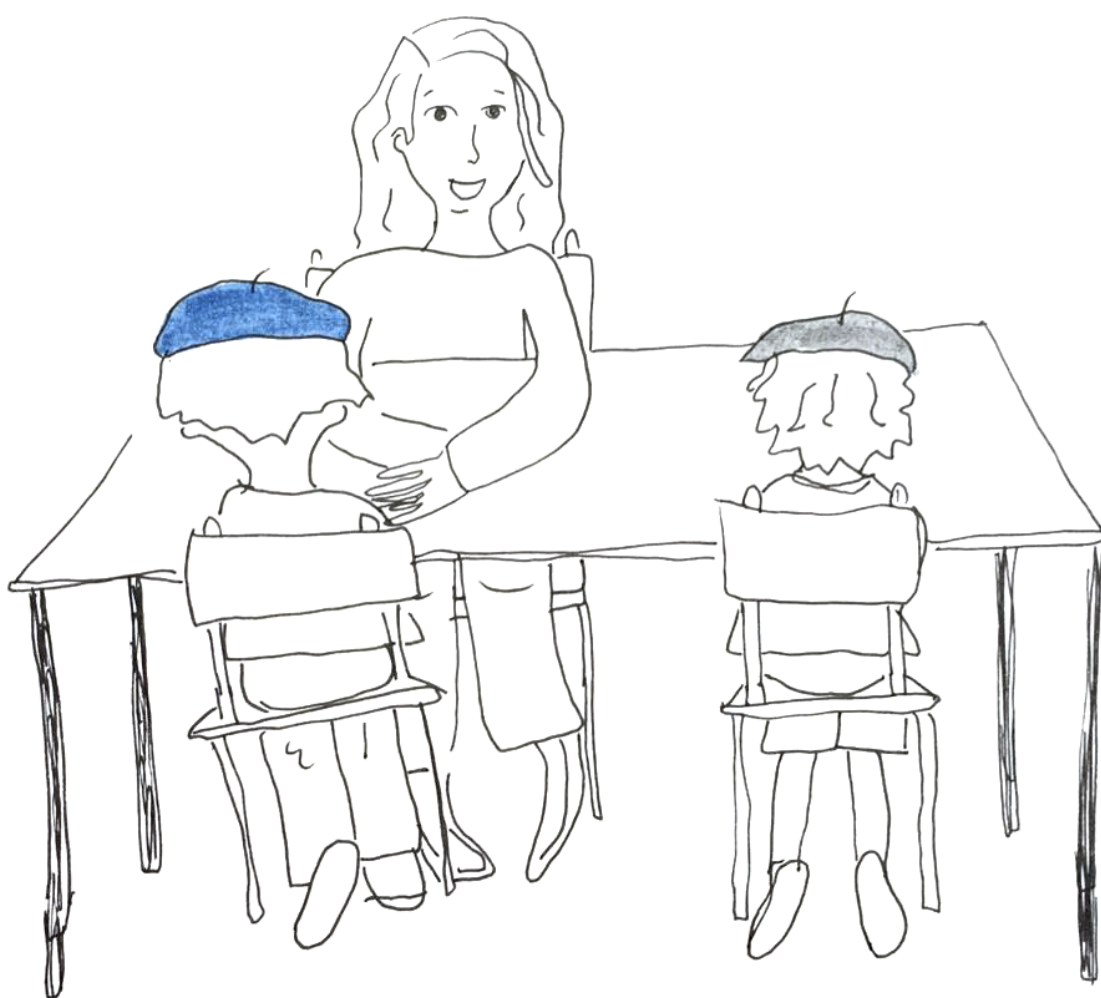
Synthèse des corrélations

	Empan visuo-spatial	Coordination visuo-motrice	Raisonnement analogique (intelligence fluide)	Niveau de langage oral	Niveau psychomoteur	Réussite de la tâche
Gestes total	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gestes figuratifs	ns	ns	ns	+	+	+
Gestes iconiques	+	+	+	+	+	+
Gestes de pointage	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gestes actions	-	-	-	-	-	-
Gestes statiques	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gestes dynamiques	ns	ns	ns	+	ns	+
Mots statiques	ns	ns	ns	ns	+	+
Mots dynamiques	+	+	+	+	+	+
Gestes seuls	-	-	-	-	-	-

Note : ns = non significatif ; * = corrélation significative $p < 0.05$; ** = corrélation significative $p < 0.01$; + = corrélation significative positive ; - = corrélation significative négative ; en vert = corrélation significative positive ; en rouge = corrélation significative négative

Finalement, le modèle de régression indique que le niveau de langage et le niveau psychomoteur sont des facteurs prédictifs du nombre de gestes iconiques utilisés. Les gestes iconiques sont eux des facteurs prédictifs de la réussite de la tâche. L'analyse de régression indique également que le niveau de langage oral et le niveau psychomoteur sont des facteurs prédictifs négatifs du nombre de gestes actions. Ce qui signifie qu'un faible niveau de langage oral ou un faible niveau psychomoteur prédit une utilisation plus importante de gestes actions.

7. Discussion



Cette étude avait pour objectif d'étudier le rôle des gestes chez les élèves avec une DI dans une tâche de rotation mentale tout en mettant en évidence les différentes variables qui influencent leur utilisation. Ce chapitre reprend les hypothèses formulées et les discute sous l'angle des deux objectifs annoncés en introduction :

Quel est le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez les élèves avec une DI ?
Quels moyens d'évaluation et d'apprentissage prenant en compte les gestes peut-on envisager dans le domaine spatial tridimensionnel ?

7.1 Le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez les élèves avec une DI

Le premier objectif de cette thèse visait à analyser l'utilisation des gestes par les élèves avec une DI dans le cadre d'une tâche de rotation mentale. À l'aide d'une méthodologie comparative impliquant trois groupes, ainsi qu'une procédure rigoureuse de récolte des données, il a été possible d'attester des effets importants des gestes sur la réussite de la rotation mentale.

7.1.1 Nombre de gestes

Notre²⁰ première question de recherche s'intéressait au nombre de gestes que les élèves avec une DI font comparativement aux élèves typiques d'âge verbal et de raisonnement visuo-spatial identiques ainsi qu'aux conditions de leur utilisation. Les résultats de notre recherche font apparaître que les trois groupes d'élèves effectuent en moyenne le même nombre de gestes. Ce constat contredit la première hypothèse, basée sur les résultats des recherches de Galeote et al. (2008, 2011), Mastrogiuseppe et Lee (2017) et Stefanini et al. (2007), qui postulait une plus grande utilisation des gestes chez les élèves avec une DI. Ils corroborent par contre les résultats des études de Stefanini et al. (2008), de Bello et al. (2004) et d'Iverson et al. (2003) qui rapportaient un nombre de gestes équivalent chez les élèves avec une DI et les élèves contrôles appariés sur l'âge mental et l'âge verbal. Pour les auteurs, une utilisation, équivalente en nombre, des gestes dans les différents groupes peut s'expliquer par leurs âges chronologiques éloignés. En effet, plusieurs recherches auprès des élèves typiques signalent un nombre plus élevé de gestes chez les élèves plus jeunes en comparaison des plus âgés (Özçalışkan & Goldin-Meadow, 2009). Dans notre échantillon, la moyenne d'âge des élèves avec une DI est de 14.8 ans, alors que celle du groupe TDVS est de 6.6 ans et celle du groupe TDL de 7.2 ans. Il est donc probable que le nombre élevé de gestes observé chez les élèves typiques soit dû à leur âge significativement plus bas que celui des élèves avec une DI. Cette interprétation rejoint aussi celle de Vandereet et al. (2011). Dans leur étude longitudinale, ils ont observé que, contrairement aux élèves typiques chez qui le nombre de gestes va décroître proportionnellement à l'augmentation du langage verbal, les élèves avec une DI gardent une proportion constante de gestes. Comparer les gestes effectués par un groupe contrôle apparié

²⁰ A partir de ce chapitre, le « nous » sera utilisé dans le travail pour faciliter la compréhension des lecteurs et différencier les résultats issus de notre recherche de ceux des autres travaux auxquels nous les comparerons.

sur l'âge chronologique aurait été intéressant. Cela aurait probablement confirmé une utilisation moins importante des gestes chez des élèves typiques de 12 à 18 ans.

Si le nombre moyen de gestes est équivalent entre les groupes, nos résultats mettent en évidence que les élèves avec une DI utilisent par contre significativement plus de gestes par mot prononcé que les élèves des deux groupes contrôles, significativement moins de mots et un pourcentage de gestes plus grand si l'on prend en compte les mots et les gestes utilisés. Cet appui plus important sur les gestes chez les élèves avec une DI corrobore les résultats de la revue systématique de littérature. En particulier, les études de Galeote et al. (2011) et Lavelli et Majorano (2016) soutiennent que les gestes facilitent l'expression du sens lorsque les capacités linguistiques sont altérées. Il est donc possible qu'en cas de difficultés d'expression verbale, les gestes expriment des caractéristiques spatiales et dynamiques du concept souhaité et facilitent l'accès au lexique mental (Saletti et al., 2007). Sur ce point, il est intéressant de reprendre l'exemple au tableau 28 dans les résultats, exemple qui illustre que l'expression d'un concept chez un élève avec une DI s'appuie davantage sur les gestes que pour son contrôle TDVS. Ces observations réalisées à de multiples reprises dans l'analyse des vidéos rejoignent les observations de Bello et al. (2004), lesquels rapportaient, dans leur étude, que les élèves avec une DI produisaient davantage de réponses verbales partielles et peu compréhensibles alors que les gestes, eux, permettaient aux élèves d'exprimer de manière synthétique le concept souhaité. Cette observation corrobore l'hypothèse de McNeill (2000) selon laquelle un geste ne correspond pas systématiquement à un seul mot, mais qu'il a la capacité de résumer un concept par « une propriété sémiotique synthétique ».

Variables influençant l'utilisation des gestes

Dans cette section, les différentes corrélations observées entre les variables indépendantes et les gestes seront commentées.

Influence du niveau visuo-spatial

Notre deuxième hypothèse, issue de la littérature sur la rotation mentale, stipulait que les élèves avec un niveau visuo-spatial plus faible produisent significativement moins de gestes iconiques. Dans notre étude, les résultats des corrélations, tout comme les analyses de cluster, corroborent les résultats de la revue de littérature : les élèves avec un faible niveau visuo-spatial utilisent moins de gestes iconiques. Cette même observation a été effectuée par Hadar et al. (1998) chez des patients ayant des déficits visuo-spatiaux. Selon ces auteurs, les difficultés relevées dans les processus conceptuels pourraient être la cause de la difficulté à se servir des gestes iconiques. Nos résultats mettent en évidence aussi que, si un niveau visuo-spatial plus faible signifie une utilisation moindre des gestes iconiques, ces élèves utilisent par contre significativement plus de gestes actions. Dans la revue de littérature sur la rotation mentale, l'opportunité d'agir réellement en manipulant le matériel est souvent présentée dans la phase

d'entraînement (Levine et al., 2018). Dans ce cadre-là, les auteurs ont confirmé que les élèves avec un niveau visuospatial plus faible s'appuient (et bénéficient) davantage de la réalisation de l'action de manipulation réelle (Wakefield, Foley et al., 2019). Les résultats de notre recherche suggèrent que les gestes actions sont liés à des compétences visuo-spatiales plus faibles, se situant au début de l'apprentissage, alors que l'utilisation de gestes iconiques s'observe davantage chez les élèves avec un meilleur niveau visuo-spatial, et lorsque les habiletés visuo-spatiales en lien avec la tâche se développent.

Influence du niveau de langage oral

En ce qui concerne le rapport entre le niveau de langage et l'utilisation des gestes, notre troisième hypothèse mettait en avant une utilisation plus importante des gestes, tous types confondus, chez les élèves ayant un niveau de langage oral plus faible. Les résultats ne permettent pas de confirmer cette hypothèse et diffèrent donc de la revue de littérature. Dans notre étude, les enfants avec un niveau verbal plus faible font en moyenne autant de gestes que leurs pairs de même niveau visuo-spatial et verbal ; par contre un bon niveau de langage oral prédit une utilisation plus fréquente de gestes iconiques, alors qu'un faible niveau de langage oral prédit une utilisation plus importante de gestes actions. Ces résultats rejoignent les conclusions de la littérature sur la co-expression des gestes et du discours (McNeill, 1992). S'appuyant sur différentes preuves empiriques, cet auteur rapporte que 90% des gestes sont produits en même temps que le langage verbal. Cela suggère que la parole et les gestes se réfèrent la plupart du temps au même contenu ; comme les gestes iconiques réfèrent à des éléments du discours, cela pourrait expliquer qu'ils soient davantage produits avec un niveau de langage élevé. Galeote et al. (2011) ont eux aussi identifié ce lien et constatent que plus le vocabulaire expressif augmente, plus les élèves utilisent des gestes iconiques. D'ailleurs, pour Goldin-Meadow (2003) et pour Iverson et al. (2003), il existe un lien étroit entre le geste et le langage et cela en particulier dans une population présentant des difficultés de langage expressif. « Lorsque le fait de parler devient difficile, les orateurs réagissent en augmentant le nombre de leurs gestes » (Goldin-Meadow, 2003, p.149). Dans notre étude, les élèves avec des difficultés d'expression augmentent le nombre de gestes actions pour décrire leur raisonnement.

Influence du niveau moteur

Notre quatrième hypothèse suggérait un lien entre le niveau psychomoteur et l'utilisation de gestes. Les résultats de notre étude corroborent ceux de la littérature et soulignent que les gestes figuratifs, tout comme les gestes iconiques, sont positivement corrélés à un niveau psychomoteur élevé. À l'inverse, il existe une corrélation négative entre les gestes actions et le niveau psychomoteur. D'autre part, le niveau psychomoteur est également lié à la performance de rotation mentale. Par exemple, Jansen et al. (2015) relèvent que la dextérité manuelle est corrélée à la performance de rotation mentale, tout comme Jansen et Heil (2010) qui observent que la performance de rotation mentale d'enfants typiques est corrélée à leurs capacités motrices. Levine et al. (2018) relèvent, dans leur recherche sur l'amélioration des compétences de rotation mentale, qu'un entraînement à l'action et aux gestes iconiques améliore les performances des élèves. Pour ces auteurs, ces résultats confirment que le système moteur est étroitement impliqué dans la réussite des tâches de rotation mentale. En effet, en encourageant les enfants à mobiliser leur système moteur par le biais de mouvements pertinents accompagnant les étapes de rotation mentale, une amélioration des performances est observée. L'analyse de régression effectuée dans notre recherche souligne qu'un bon niveau moteur est un facteur prédictif d'un nombre élevé de gestes iconiques. À l'inverse, un faible niveau moteur est un facteur prédictif de plus de gestes actions. Une dernière constatation ressort des analyses statistiques effectuées : la fonction de précision des gestes corrèle avec le niveau psychomoteur, ce qui signifie que plus le niveau psychomoteur est élevé chez un élève, plus les gestes vont préciser son langage oral. Les liens entre le langage oral et le système psychomoteur et les gestes, observés dans la présente recherche, confirment les découvertes en neurosciences. Celles-ci démontrent que, chez l'homme, les représentations cérébrales de la main et de la bouche se chevauchent sur de larges zones du réseau frontopariétal, là où se situent les neurones miroirs (Rizzolatti & Arbib, 1998). Ce qui a pour conséquence par exemple que l'aire de Broca (langage) s'active non seulement pendant la parole, mais aussi pendant l'exécution, l'imitation ou l'observation des mouvements.

L'influence du niveau de complexité de la tâche

La littérature a montré à plusieurs reprises que le niveau de complexité de la tâche constituait une variable influençant l'utilisation des gestes (Alibali et al., 2000; Hostetter et al., 2007). L'influence de ce facteur semble également confirmée dans notre recherche qui observe que plus le niveau de complexité de la tâche augmente, plus les élèves recourent aux gestes pour la réaliser ou l'expliquer. Cette hypothèse n°5 permet de confirmer la différence entre le nombre de gestes effectués dans les tâches de complexité 1 par rapport à celles de complexité 2. La production plus importante des gestes lorsque le niveau de complexité augmente se retrouve dans l'étude de Hord et al. (2016), en particulier lorsque la tâche sollicite la mémoire de travail en demandant une réalisation en plusieurs étapes. Elia et al. (2014), dans leur étude à cas unique, notent également un nombre de gestes plus élevé lorsque la tâche devient

difficile sur le plan de l'organisation des informations géométriques. Pour ces auteurs, la production de gestes fonctionne comme un outil inconscient qui réduit l'effort cognitif tout en apportant un soutien à la visualisation spatiale interne de l'enfant. Observation intéressante, dans notre recherche, le nombre de mots ne varie pas de manière significative entre les deux niveaux de complexité, ce qui semble suggérer que ce sont les gestes et non la parole qui apportent ici un soutien à la visualisation spatiale et à l'expression des stratégies de résolution de la tâche.

L'influence de la déficience intellectuelle

Finalement, la revue de littérature sur l'habileté de rotation mentale chez les élèves avec une DI mettait en évidence un lien entre la DI et un niveau de performance plus faible dans la résolution d'une tâche de rotation mentale (Broadbent et al., 2014; Vicari et al., 2006). Cette hypothèse est partiellement validée par les résultats de notre recherche. En effet, lorsque les élèves travaillent avec du matériel manipulable et ont la possibilité d'exprimer des contenus au travers des gestes, leur performance ne diffère pas de celles des enfants typiques. Cette constatation est particulièrement intéressante, car elle met en lumière l'influence du cadre choisi dans une tâche (ici avec du matériel en 3D manipulable) sur la réussite des élèves avec une DI. Cette observation rejoint la vision de l'AAIDD qui met en évidence avec l'échelle d'intensité du soutien, le rôle facilitateur ou handicapant de l'environnement sur le fonctionnement de la personne. Les résultats de plusieurs recherches observent également que les enfants obtiennent de meilleures performances de rotation mentale si du matériel tridimensionnel leur est proposé (Frick et al., 2013; Örnkloo & von Hofsten, 2007). Hawes et al. (2015) par exemple, confirment que les enfants, notamment les plus jeunes, rencontrent des difficultés importantes lorsqu'il s'agit de faire tourner des formes 3D dessinées en 2D, cette tâche étant exigeante au regard du niveau d'abstraction important sollicité. Nos résultats rejoignent également ce dernier point : lorsque le test de rotation mentale est passé en 2D, alors le groupe avec une DI réussit significativement moins bien que le groupe TDL. La performance est néanmoins identique entre les groupes DI et TDVS. Ceci signifie qu'à niveau visuo-spatial équivalent, on ne rencontre pas de différence de performance entre les enfants qu'ils soient typiques ou avec une DI. Cette même observation ressort de l'étude de Hinnell et Virji-Babul (2004) chez des élèves avec un syndrome de Down. Dans cette étude, les élèves avec une DI et les élèves typiques appariés sur l'âge mental ont une vitesse d'exécution et une performance similaire dans une même tâche de rotation mentale.

En résumé, en réponse à la première question de recherche formulée, à savoir « Combien de gestes les élèves avec une DI utilisent-ils comparativement aux élèves typiques ? », nos résultats à la fois confirment, nuancent ou infirment nos hypothèses comme en témoigne le tableau 48 :

Tableau 48

Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la première question de recherche

Hypothèses	Remarques
H1 Le nombre de gestes est plus élevé chez les élèves avec une déficience intellectuelle par rapport aux enfants typiques	Invalidée ↓
New H1 Les élèves avec une DI utilisent une plus grande proportion de gestes par rapport au langage verbal utilisé en particulier significativement plus de gestes par mot par rapport aux enfants typiques	nouvelle hypothèse
H2 Les élèves ayant un empan visuo-spatial et une coordination visuo-motrice plus faible produisent significativement moins de gestes	validée
H3 Plus le niveau de langage oral de l'élève est faible, plus la production de gestes est importante.	Invalidée ↓
New H3 Un bon niveau de langage oral prédit une utilisation plus fréquente de gestes iconiques alors qu'un faible niveau de langage oral prédit une utilisation plus importante de gestes actions	nouvelle hypothèse
H4 Le nombre de gestes produit est plus élevé chez les élèves ayant un niveau psychomoteur élevé par rapport à ceux ayant un niveau psychomoteur plus faible	validée
H5 Plus le niveau de complexité de la tâche augmente, plus l'élève a recours aux gestes pour réaliser ou expliquer la tâche	validée
H6 Les élèves avec une DI obtiennent des performances plus faibles dans une tâche de rotation mentale par rapport à leurs pairs typiques appariés sur l'âge mental.	nuancée Tâche en 3D invalidée Tâche en 2D validée

7.1.2 Types de gestes utilisés

La deuxième question de recherche était la suivante : Quels sont les gestes utilisés par les élèves avec une DI, respectivement les élèves typiques ? Certains types de gestes, respectivement de discours, sont-ils corrélés à la réussite des tâches de rotation mentale ?

Nombre de gestes de pointage

La première hypothèse postulait une utilisation plus importante des gestes de pointage chez tous les élèves par rapport aux autres types de gestes. Cette hypothèse est confirmée dans notre étude : dans les trois groupes, les gestes de pointage représentent plus de la moitié de tous les gestes effectués. Ces résultats corroborent ceux de la revue de littérature sur le rôle des gestes. En effet, dans 4 études sur les 5 répertoriées (Bello et al., 2004; Iverson et al., 2003; Stefanini et al., 2007, 2008), les gestes de pointage sont les plus employés. Les auteurs de la revue mettent en évidence que l'usage important des gestes de pointage permet à l'enfant de créer du sens en indiquant à l'adulte le référent sur lequel il souhaite donner des informations (Stefanini et al., 2008). Pour Stefanini et al. (2007), les gestes de pointage peuvent aussi déclencher en mémoire la connaissance sémantique d'un mot recherché ou focaliser l'attention sur certaines caractéristiques d'un objet (Levine et al., 2018). Les gestes de pointage semblent donc fortement liés à l'interaction entre l'élève et le chercheur ou à la mise en évidence des caractéristiques des formes et moins directement à la réalisation de la tâche de rotation mentale elle-même. Ce constat corrobore les résultats de trois études de la revue sur la rotation mentale (Goldin-Meadow, Levine et al., 2012 ; Levine et al., 2018 ; Wakefield, Foley et al., 2019). Ceux-ci ont mis en évidence que lors de l'entraînement à la rotation mentale, les enfants qui font des gestes de pointage n'améliorent pas leur performance. Pour les auteurs, les gestes de pointage n'entraînent pas d'apprentissage, car ils ne recrutent pas le système moteur d'une manière pertinente pour la tâche, le pointage n'étant pas utilisé pour réaliser la rotation mentale, mais uniquement pour mettre en évidence des caractéristiques d'un objet (Levine et al., 2018). Elia et al. (2014) confirment, eux aussi, que les gestes iconiques sont plus représentatifs de la pensée géométrique de l'enfant.

Prévalence des gestes iconiques

Notre seconde hypothèse postulait une utilisation des gestes iconiques plus importante chez les élèves avec une DI par rapport à leurs pairs appariés. Les résultats de notre étude nous amènent à nuancer cette hypothèse. En effet, dans notre étude, il n'y a pas de différence dans le nombre de gestes iconiques produits par les élèves avec une DI et les élèves typiques. Cependant, les résultats révèlent que les élèves avec une DI légère (mesurée par l'ABAS-II et les Matrices de Raven) font davantage de gestes iconiques que les élèves avec une DI plus modérée qui eux privilégient les gestes actions. Il est difficile de commenter ce résultat, car à notre connaissance, les gestes actions n'ont jamais été étudiés en même temps que les gestes

iconiques dans une population avec une DI. Toutefois, dans l'étude à cas unique d'Elia et al. (2014) sur la rotation mentale, les auteurs ont fait la même observation. Lorsque leur élève devait décrire des formes complexes et que les gestes iconiques ou de pointage n'étaient pas suffisants pour faciliter la description, l'élève cherchait à prendre les objets dans ses mains et à les manipuler. L'usage d'action pour appréhender les objets mathématiques se retrouve également dans les travaux de Radford et al. (2017), lesquels mettent en évidence, dans une tâche visant à identifier le nombre de faces du prisme à partir d'un prisme en particulier, que c'est « en touchant, en percevant, en tenant et en déplaçant ses mains sur le prisme, que l'élève va se forger des idées (p.702) ». Finalement, Lunkenbein et al. (1983, p.82) relèvent que la manipulation des objets permet « d'observer les activités mentales de l'individu sans que celui-ci n'ait à les décrire verbalement ».

Notre troisième hypothèse stipulait que les gestes iconiques étaient corrélés à la réussite de la tâche. Les résultats de notre recherche permettent de valider cette hypothèse et corroborent ceux de la littérature. En effet, dans notre étude, les gestes iconiques sont prédictifs de la réussite dans la tâche de rotation mentale. Ce lien entre la performance dans une tâche de rotation mentale et les gestes iconiques se retrouve dans les 5 études de la revue de littérature (Ehrlich et al., 2006; Goldin-Meadow, Levine et al., 2012; Levine et al., 2018; Ping et al., 2011; Wakefield, Foley et al., 2019). En effet, les résultats sont unanimes : les gestes iconiques sont le moyen le plus efficace pour développer les compétences de rotation mentale. Levine et al. (2018) observent par exemple, que les gestes iconiques permettent non seulement un apprentissage significatif de la rotation mentale lors de l'entraînement, mais également de manière durable, plusieurs semaines après l'entraînement contrairement aux manipulations réelles qui permettent un apprentissage, mais uniquement lors de l'entraînement. La raison mise en avant par les auteurs est que les gestes iconiques permettent une simulation de la rotation physique sans qu'il ne soit lié aux contraintes physiques ou au résultat de la rotation. En effet, lorsque l'élève fait un geste iconique pour simuler la rotation, il n'a pas accès au résultat visible de la rotation, il doit le faire mentalement. C'est cette simulation basée sur un geste moteur qui serait particulièrement bénéfique à l'amélioration des compétences de rotation mentale (Levine et al., 2018).

Gestes et mots ayant un contenu dynamique

Finalement, notre quatrième hypothèse stipulait que les mots et les gestes dynamiques (indiquant un mouvement ou une direction) étaient corrélés à la réussite de la tâche. Celle-ci est validée dans notre recherche et corrobore les résultats de la revue sur le rôle des gestes dans la rotation mentale. Décrire des mouvements et/ou des directions par le langage et les gestes améliore la réussite de la tâche comme montré par Ehrlich et al. (2006) et Clingan-Siverly et al. (2021). Ces derniers ont du reste relevé que les gestes spatiaux sont des facteurs prédictifs de la réussite dans une tâche de rotation mentale ce qui, dans leur recherche, n'est pas le cas du langage spatial. Les auteurs expliquent cette différence par la nature dynamique des gestes

dans l'espace et leur capacité à exprimer tous les types de relations spatiales, les rendant ainsi étroitement liés à la pensée spatiale.

En résumé, les résultats présentés apportent plusieurs éléments pour répondre à la deuxième question de recherche, à savoir « quels sont les types de gestes utilisés par les élèves avec une DI comparativement aux élèves typiques et à quelle fréquence le sont-ils ? » Le tableau 49 présente la synthèse de la confrontation entre les résultats et les hypothèses formulées.

Tableau 49

Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la deuxième question de recherche

Hypothèses	Remarques
H1 Les gestes les plus utilisés sont les gestes de pointage	validée
H2 Les gestes iconiques sont plus utilisés par les élèves avec une DI	Invalidée ↓
New H2 Les élèves avec une DI légère utilisent plus de gestes iconiques que les élèves avec une DI modérée. À l'inverse, les élèves avec un niveau de raisonnement analogique plus faible ou un comportement adaptatif plus faible privilégient les gestes actions	nouvelle hypothèse
H3 L'utilisation des gestes iconiques est corrélée avec la réussite de la tâche	validée
H4 Les gestes et le discours faisant référence au mouvement sont corrélés avec la réussite dans une tâche	validée

7.1.3 Modalités d'expression utilisées

Notre première hypothèse, concernant les modalités d'expression, stipulait que les élèves avec une DI utilisaient moins de « discours seul » que les élèves typiques. Dans la présente recherche, les résultats indiquent que les élèves avec une DI utilisent en moyenne moins de discours seul que les élèves typiques, mais les différences ne sont pas significatives. Notre première hypothèse ne peut donc pas être validée. La différence importante entre l'âge chronologique des élèves avec une DI et celui des élèves typiques pourrait expliquer ce résultat. En effet, plusieurs études montrent d'une part que le nombre de mots utilisés est plus faible au début du développement, et d'autre part que le nombre de gestes diminue en relation directe avec la quantité de langage oral produite (Özçalışkan & Goldin-Meadow, 2009). Dans notre recherche, les élèves des groupes contrôles ont entre 3 et 11 ans ($M = 6.6$ ans pour le groupe TDVS et $M = 7.2$ ans pour le groupe TDL), alors que les élèves avec une DI ont entre 12 et 18 ans ($M = 14.8$ ans). Dès lors l'utilisation fréquente des gestes par rapport au discours seul chez les élèves typiques peut être justifiée sur le plan développemental.

Notre deuxième hypothèse postulait une plus grande utilisation de la modalité « gestes seuls » par les élèves avec une DI. Nos résultats confirment cette hypothèse en montrant une différence significative entre les groupes avec une DI et les groupes de comparaison. L'écart reste cependant moindre, probablement en raison du faible nombre de gestes seuls produits dans la tâche concernée. Ces résultats corroborent ceux de la revue de littérature sur le rôle des gestes qui constatait cette même différence dans 5 études sur 5 (Galeote et al., 2008 ; Galeote et al., 2011 ; Mastrogiuseppe & Lee, 2017 ; Stefanini et al., 2007 ; Stefanini et al., 2008). Dans le groupe avec une DI, les élèves privilégient d'ailleurs la modalité « gestes seuls » par rapport au « discours seul », ce qui n'est pas le cas des élèves des deux groupes contrôles chez qui ces deux modalités sont utilisées avec une fréquence similaire. Cette observation se retrouve dans l'étude de Mastrogiuseppe et Lee (2017) qui confirme que seuls les participants du groupe avec une DI (dans ce cas avec un syndrome de Williams) avaient une tendance plus importante à produire une communication uniquement gestuelle. Les auteurs avaient interprété la préférence de leurs participants pour les « gestes seuls » comme une indication du rôle compensatoire des gestes lorsque des difficultés de langage sont présentes. Dans notre recherche, la modalité « gestes seuls » corrèle elle aussi de manière négative avec le niveau de langage oral des élèves et nos résultats indiquent que plus le niveau de langage est faible, plus les élèves utilisent les « gestes seuls ». Ce lien entre l'utilisation plus fréquente des « gestes seuls » et les difficultés de langage corrobore les résultats de Vandereet et al. (2011) qui indiquent que l'utilisation de gestes isolés est particulièrement fréquente pour exprimer des significations qui ne peuvent pas être transmises par la parole. Dans notre recherche, les gestes iconiques sont corrélés de manière positive avec la modalité « gestes seuls », ce qui signifie que plus les élèves produisent des gestes iconiques, moins ils utilisent les gestes seuls. Les gestes iconiques sont donc le plus souvent accompagnés par du langage verbal, ce qui permet de dire que les gestes iconiques sont utiles pour illustrer les propos exprimés. Cette constatation

souligne, comme dans de nombreuses autres études chez les élèves avec une DI, que les gestes renforcent et complètent les informations véhiculées par le langage verbal (Stefanini et al., 2007).

Notre dernière hypothèse stipulait que la « parole seule » n'était pas un facteur prédictif de la réussite à une tâche de rotation mentale. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de notre recherche puisque la parole seule n'est ni un facteur prédictif, ni même corrélée à la réussite de la tâche. Ces résultats corroborent ceux de la littérature. Citons en particulier les résultats d'Ehrlich et al. (2006) qui ont mis en exergue que si la parole seule n'est pas prédictive de la réussite, les explications comportant au moins un geste le sont. Cette dernière constatation se retrouve également dans notre étude puisque les gestes figuratifs, sont eux, corrélés à la réussite de la tâche de rotation mentale. Pour Ehrlich et al. (2006), ces interactions significatives entre les gestes et la réussite de la tâche laissent supposer que si les gestes ne sont pas pris en compte par l'observateur, une part importante des stratégies exprimées par l'enfant ne sont pas considérées. Le geste est donc un outil d'expression des stratégies des enfants et ce n'est qu'en analysant à la fois les gestes et la parole qu'il est possible d'avoir un aperçu précis et plus complet des connaissances conceptuelles des enfants (Stefanini et al., 2007).

Le tableau 50 confronte nos résultats et les hypothèses relatives aux modalités d'expression présentes dans notre troisième question de recherche.

Tableau 50

Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la troisième question de recherche

Hypothèses	Remarques
H1 Les élèves typiques utilisent plus de discours seul que les élèves avec une DI	Invalidée ↓
New H1a : A l'intérieur du groupe avec une DI, les élèves utilisent significativement plus souvent la modalité « gestes seuls » que le « discours seul », ce qui n'est pas le cas des deux groupes contrôles New H1b : Les élèves avec une DI prononcent significativement moins de mots que les élèves des deux groupes contrôles	
	nouvelles hypothèses
H2 Les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes seuls que les élèves typiques	Nuancée Ok pour DI > TDL Non pour DI = TDVS
H3 Les stratégies spatiales exprimées par la parole seule ne sont pas un facteur prédictif de la réussite dans une tâche de rotation mentale	validée

7.1.4 Fonctions des gestes

Cette partie discute les résultats concernant les différentes fonctions des gestes.

Fonctions de redondance, précision et supplément liées au langage

La première hypothèse indiquait que les élèves avec une DI se servaient des gestes principalement pour préciser leur langage verbal. Cette hypothèse est confirmée par nos résultats. Toutefois, dans la revue de littérature, la fonction la plus sollicitée par les élèves avec une DI est la redondance. Pour Saletti et al. (2007), l'exécution d'un geste redondant pendant la prononciation d'un mot renforce la compréhension de l'auditeur. Deux recherches ont montré que les élèves avec une DI ont tendance à se servir davantage des gestes redondants par rapport aux gestes de précision ou de supplément (Iverson et al., 2003 ; Stefanini et al., 2007). Pour ces auteurs, les combinaisons complémentaires et supplémentaires sont cognitivement plus sophistiquées, ce qui explique que les enfants avec une DI puissent être retardés dans la production de ces combinaisons. Cette constatation se retrouve dans le développement des gestes des élèves typiques, chez qui les productions redondantes sont les premières à faire leur apparition. Les combinaisons complémentaires apparaissent, elles, vers 20 mois, en même temps que la combinaison de deux mots (Capirci et al., 1996). Dans notre recherche, les élèves avec une DI produisent déjà des combinaisons de plusieurs mots et sont sensiblement plus âgés (12 à 17 ans) que ceux d'Iverson et al. (2003) et de Stefanini et al. 2007 qui avaient entre 2 et 8 ans. C'est la raison pour laquelle nous avons émis l'hypothèse que les combinaisons principalement redondantes des jeunes élèves ont laissé la place aux combinaisons précisant le discours. Ces dernières sont d'ailleurs corrélées à la réussite de la tâche, ce qui signifie que plus les élèves se servent des gestes pour préciser leurs réponses et leurs stratégies, meilleurs sont les résultats obtenus à la tâche. L'usage principal des gestes pour préciser le langage verbal est conforme aux résultats de Galeote et al. (2011) qui constatent que les enfants atteints d'un syndrome de Down, tout comme les enfants typiques, utilisent des gestes pour préciser leur pensée lorsqu'ils ne disposent pas de mots pour le faire. Chez Ehrlich et al. (2006), les enfants transmettent fréquemment par des gestes des stratégies qui ne sont pas exprimées dans le discours. Finalement, dans leur étude à cas unique, Elia et al. (2014) relèvent que les gestes de l'élève complètent, enrichissent et spécifient des descriptions verbales, en particulier lorsque celles-ci sont peu claires ou incomplètes.

Une deuxième corrélation significative ressort de notre recherche : la fonction de supplément est négativement corrélée au niveau de langage oral. Cela signifie que plus les élèves éprouvent des difficultés de langage, plus ils recourent aux gestes pour transmettre des informations supplémentaires, tandis que les élèves avec un bon niveau de langage verbal les utilisent moins. Ces observations rejoignent les conclusions de la littérature qui s'accordent pour dire qu'en influençant la pensée, grâce notamment à sa capacité à schématiser, le geste participe

directement, chez les élèves avec une DI, à la construction des concepts et à l'expression de ceux-ci (Mastrogiuseppe & Lee, 2017). L'étude de Hord et al. (2016) confirme que les gestes sont fréquemment produits en même temps que d'autres moyens de communication et qu'ils constituent un complément crucial au processus d'apprentissage. Dans ce même ordre d'idées, Manghi Haquin et al. (2019) mettent en exergue que la prise en compte des gestes, en tant que moyens sémiotiques d'expression à part entière, permet de rendre visibles un grand nombre de significations narratives qui restent sans interprétation si les observateurs réduisent la communication au seul canal verbal.

Fonctions spatiales

La seconde hypothèse postulait que les quatre fonctions spatiales des gestes étaient observables dans la tâche de rotation mentale retenue dans notre recherche. Nos résultats confirment cette hypothèse bien qu'il existe des différences conséquentes dans la fréquence d'utilisation des fonctions gestuelles observées. Dans la tâche de rotation mentale retenue, c'est principalement la fonction de « manipulation » qui est privilégiée par les élèves, ceci dans les trois groupes. Cela rejoint les observations de Hord et al. (2016) qui soulignent que les gestes aident les élèves avec une DI à comprendre un concept, en particulier lorsque celui-ci est nouveau. Chez les élèves typiques, des observations analogues ont été réalisées par Chu et Kita (2011). Ces chercheurs ont demandé aux élèves d'effectuer des rotations mentales avec ou sans gestes. Leurs conclusions mettent en évidence que le groupe pouvant recourir aux gestes pour simuler la rotation a des résultats significativement meilleurs et cela même lorsque, lors du deuxième temps de mesure, ils sont empêchés de faire des gestes. Le geste semble avoir un impact durable sur la manière dont les personnes traitent mentalement l'information et dans cette tâche en particulier, sur la manière dont les élèves manipulent les représentations spatiales (Kita et al., 2017).

Concernant la fonction d'activation, elle peut être observée dans les trois groupes ; cependant les élèves avec une DI l'utilisent davantage que ceux des deux autres groupes. Pour Kita et al. (2017), les gestes permettent d'activer des représentations spatiales pendant que le locuteur parle ou pense, mais également d'activer des représentations inédites l'aidant à concrétiser des idées abstraites et lui permettant d'envisager des solutions variées (Kirk & Lewis, 2016). L'étude de Hord et al. (2016) chez des élèves avec une DI confirme, elle aussi, que les gestes aident les élèves à visualiser et à se représenter les données d'un problème. Il est intéressant de relever que, dans notre recherche, la fonction d'activation est corrélée à la mémoire visuo-spatiale. Ceci soutient donc l'hypothèse du lien entre les compétences de mémoire visuo-spatiale et la possibilité de se servir des gestes pour activer des représentations.

La fonction d'organisation est significativement moins sollicitée par les élèves avec une DI. Cette fonction est pourtant corrélée à une plus grande réussite de la tâche. Tous types confondus, les élèves qui recourent aux gestes pour organiser leur pensée ou leur discours

réussissent mieux la tâche de rotation mentale. Cette fonction demande toutefois de bonnes compétences de raisonnement et de coordination visuo-motrice puisqu'elle est corrélée aux résultats des Matrices de Raven et du Beery-VMI. Il semble donc possible que les élèves avec une DI emploient moins cette fonction qui est plus exigeante sur le plan cognitif.

La fonction d'exploration est utilisée de manière similaire dans les trois groupes. Il est intéressant d'observer que les élèves y recourent principalement lorsqu'ils ne sont pas sûrs de leur réponse. Ils ont par exemple testé une rotation mentale à l'aide de gestes, puis se sont arrêtés pour en essayer une autre. Cette utilisation des gestes correspond à ce qui est rapporté dans la littérature. Les travaux de Chu et Kita (2008) constatent que, lors d'explications verbales, les individus suspendent parfois leurs gestes en cours de réalisation, marquent une légère pause, puis commencent un nouveau geste, comme s'ils changeaient d'avis sur les informations qu'ils souhaitent exprimer. Ces interruptions de gestes sont particulièrement observées dans la résolution de problèmes complexes, montrant ainsi que les personnes produisent des gestes pour activer leur raisonnement hypothétique avant de le verbaliser.

En résumé, les hypothèses relatives aux fonctions des gestes présentes dans notre troisième question de recherche, à savoir « quelles sont les fonctions des gestes qui sont utilisées par les élèves avec une DI, respectivement par les élèves typiques ? », sont validées, comme le met en évidence le tableau 51.

Tableau 51

Confrontation des résultats et des hypothèses consécutives à la troisième question de recherche

Hypothèses	Remarques
H1 Les élèves avec une DI utilisent les gestes davantage pour préciser le langage verbal que pour donner des informations redondantes ou supplémentaires	validée
H2 Les élèves avec une DI utilisent les gestes pour activer, manipuler, organiser, explorer les contenus	validée

7.1.5 Processus de conceptualisation au travers des gestes

En analysant les résultats du nombre, des types de gestes, des modalités d'expression et des fonctions des gestes, nos données indiquent que :

- a) Les gestes font partie intégrante de l'expression des concepts, de la pensée et de la réussite aux tâches spatiales.
- b) Les élèves avec une DI tout comme les élèves typiques réussissent significativement mieux les tâches proposant un matériel manipulable en 3 dimensions par rapport aux tâches en 2D avec papier-crayon.
- c) Le nombre de mots prononcés par les élèves n'est pas corrélé à la réussite des tâches en 3D, par contre, le nombre de gestes figuratifs (iconique + pointage + métaphorique) l'est ($r = .386^{**}$ $p < 0.01$).

Ces résultats rejoignent ceux de la littérature (Kim et al., 2011 ; Kita, et al., 2017). À titre d'exemple, Lunkenbein et al. (1983, p.82) expliquent que l'analyse des gestes dans le domaine spatial, permet « *d'observer les activités mentales de l'individu, sans que celui-ci n'ait à les décrire verbalement. Les actions concrètes que l'individu effectue sur un objet, les mouvements des doigts (...) ainsi que quelques expressions gestuelles ou verbales, nous semblent dévoiler, au moins partiellement, les images mentales et structurales que l'individu se construit d'un objet donné dans le cadre de la tâche qui lui est proposée.* » Ces observations impliquent qu'une évaluation proposée uniquement dans un format 2D limite la possibilité d'observer les activités mentales de l'individu par le biais d'actions concrètes sur des objets (Lunkenbein et al., 1983). Or une analyse détaillée de l'interaction entre le geste et la cognition spatiale permet aux enseignants d'observer les représentations spatiales non linguistiques des élèves avec une DI (Mastrogiuseppe & Lee, 2017). D'ailleurs, Elia et al. (2014, p.756) expliquent que « *l'interprétation des significations géométriques représentées dans les différents gestes produits par l'enfant sert d'outil de communication précieux, car il informe l'observateur non seulement des aspects de la forme et de l'espace dont l'enfant est conscient et qu'il décrit explicitement, mais aussi des aspects de la pensée géométrique (par exemple, les transformations spatiales) pour lesquels l'enfant peut encore développer une conscience plus approfondie.* » Finalement, dans l'étude de Calero et al. (2019), les auteurs mettent en évidence qu'au travers des gestes les enfants révèlent des connaissances implicites sur les concepts géométriques émergents qu'ils ne parviennent pas à exprimer dans les choix ou les justifications verbales. Dans l'étude de Stefanini et al. (2007), un constat identique est relevé chez les élèves avec une DI, les élèves utilisent des gestes iconiques qui transmettent des informations correctes manquantes dans l'explicitation orale. Si l'observateur prend en compte les réponses non verbales, le niveau de précision des enfants avec une DI croît de manière significative.

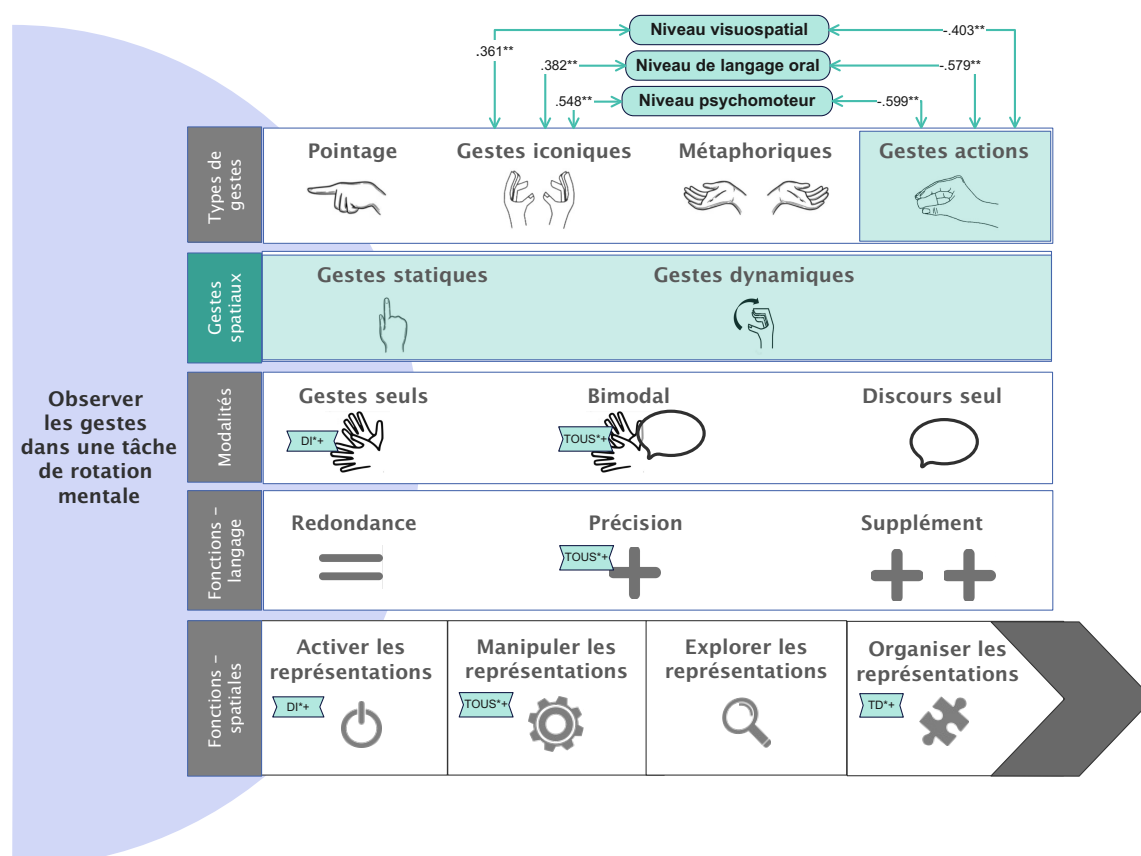
7.1.6 Que retenir ?

La discussion liée au rôle des gestes chez des élèves avec une DI dans le cadre d'une tâche de rotation mentale permet d'ajouter plusieurs éléments au schéma théorique (cf. figure 7 complétée dans la figure 65).

Premièrement, les gestes actions ont été ajoutés aux différents types de gestes analysés, car les résultats à l'issue de notre recherche indiquent qu'ils interviennent dans la première étape du traitement de la rotation mentale et qu'ils permettent aux élèves avec un niveau psychomoteur, un niveau de langage, une intelligence fluide ou un niveau visuo-spatial plus faible-s de réaliser et/ou d'expliquer la tâche. Deuxièmement, les deux catégories de gestes spatiaux, à savoir les gestes dynamiques et statiques, ont été ajoutées aux types de gestes, car elles offrent l'opportunité, selon notre étude, d'observer sur quels éléments l'élève se centre (description de la forme ou mouvement de celle-ci). Nos résultats ont notamment montré que les gestes dynamiques sont corrélés à la réussite de la tâche. Troisièmement, les différentes corrélations significatives trouvées dans notre recherche sont désormais rendues visibles dans le schéma. Finalement, les différences significatives entre les groupes ont été mises en évidence par des petits encadrés indiquant si l'ensemble des élèves utilise davantage cette catégorie ou si seul un groupe spécifique s'en sert majoritairement.

Figure 65

Modèle complété suite aux connaissances dégagées par notre recherche



7.2 Les moyens d'évaluation et d'apprentissage dans le domaine spatial tridimensionnel

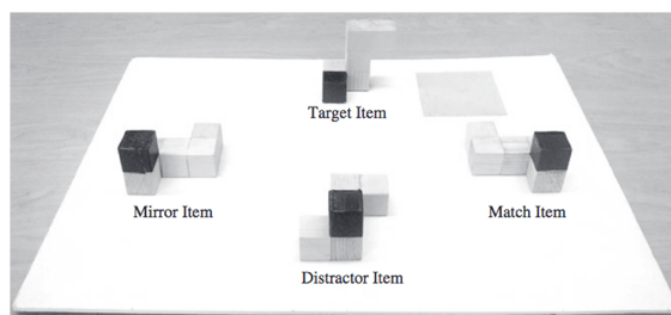
Le deuxième objectif de la thèse était de proposer des moyens d'évaluation et d'apprentissage dans le domaine spatial tridimensionnel permettant l'observation des gestes. En effet, l'étude du domaine spatial tridimensionnel chez des élèves avec une DI apparaît nécessaire et opportune en raison de l'importance du domaine pour la population concernée et du manque de connaissances et d'outils y relatifs. Notre recherche propose une batterie de tâches tridimensionnelles avec différents outils permettant de considérer les gestes. Celle-ci peut constituer un point de départ dans l'évaluation des compétences de rotation mentale des élèves.

7.2.1 Propositions de moyens d'évaluation de la rotation mentale

Comme l'ont montré les deux revues de littérature sur la rotation mentale, les tests d'évaluation sont souvent proposés sous forme « papier-crayon » et la 3D est donc représentée en perspective. Une étude répertoriée a toutefois testé un dispositif en 3D mesurant la rotation mentale chez les enfants (Hawes et al., 2015). Ces auteurs ont conçu une tâche utilisant des blocs de bois réalisés à partir des dessins de Shepard et Metzler (1971). Dans cette tâche (figure 66), l'enfant doit observer les trois éléments et choisir celui qui correspond à la forme qu'il a devant lui. Il l'a fait ensuite tourner manuellement pour la positionner dans la même orientation que la forme cible placée devant lui. En observant les manipulations réelles et les gestes, les auteurs mettent en évidence que les enfants, dès l'âge de 5 ans, sont capables de faire des rotations mentales en 3D bien que celles-ci soient en principe mieux réussies à l'âge de 7 ans (lorsqu'elles sont mesurées sur papier-crayon).

Figure 66

Tâche d'évaluation en 3D proposée dans l'étude de Hawes et al. (2015)




La batterie de tâches créée dans notre recherche (basée sur les trois habiletés spatiales de Pittalis et Christou, 2010) poursuit également cet objectif. Elle permet d'avoir un aperçu des habiletés spatiales des enfants (orientation, visualisation et rotation), au travers de matériel et















de la prise en compte des gestes, et cela dès l'âge scolaire puisque cette batterie a été utilisée également avec des enfants typiques de 4 ans. Différentes variantes ont été testées lors de sa création et celles-ci sont présentées dans des tableaux récapitulatifs présents en annexes G et H.

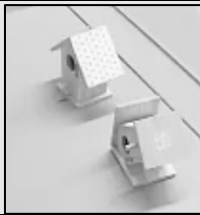


A partir de notre tâche de rotation mentale, une grille d'observation et d'évaluation de la rotation mentale au travers des gestes a été construite. Les différentes catégories correspondent au modèle élaboré pour cette thèse (mots, types de gestes, modalités et fonctions). Cette grille s'organise en deux parties. Une première partie (partie A) évalue la réussite des différentes rotations demandées au moyen de trois possibilités (correcte, partiellement, fausse), à deux temps de mesure différents : la réponse spontanée donnée (T1), puis la réponse donnée lors de l'explicitation demandée par l'enseignant (T2). Il arrive parfois qu'un élève donne une première réponse rapide puis, lorsqu'il explique/justifie sa réponse, il change d'avis. Une seconde partie (partie B) évalue l'utilisation des mots et des gestes de l'enfant. Le tableau est à double entrée : les différentes lignes correspondent aux mots, aux types de gestes, aux modalités ainsi qu'aux fonctions ; et les colonnes prennent en compte les aspects statiques ou dynamiques des gestes. Cette grille permet donc d'indiquer si le geste iconique de l'élève décrit les caractéristiques de l'objet (statique) ou la rotation de celui-ci (dynamique) et si cette description cible les aspects pertinents des objets. Afin d'observer et d'analyser les gestes de l'élève, nous suggérons dans un premier temps de filmer l'élève. En effet, les mouvements des bras et des mains sont très rapides et il est difficile de les observer en temps réel sans un entraînement préalable.















Tableau 52

Proposition de grille pour observer les gestes dans une tâche de rotation mentale

Niveau 1				
Réponse spontanée	Correcte			
	Partiellement			
	Fausse			
Réponse donnée lors de l'explication	Correcte			
	Partiellement			
	Fausse			

Observation des gestes et du discours			Gestes/mots montrant les caractéristiques cibles des objets	Gestes/mots ne montrant pas les caractéristiques cibles des objets	Gestes/mots décrivant le mouvement de rotation correct des objets	Gestes/ mots décrivant un mouvement incorrect des objets
Discours	Mots					
	Mots spatiaux					
Types de gestes	Gestes de pointage					
	Gestes iconiques					
	Gestes métaphoriques					
	Gestes avec le corps					
	Gestes actions					
Modalités	Gestes seuls					
	Production bimodale					
	Discours seul					
Fonctions en lien avec le langage	Redondance					
	Précision					
	Supplément					
Fonctions spatiales	Activation					
	Exploration					
	Manipulation					
	Organisation					

Niveau 2				
Réponse spontanée	Correcte			
	Partiellement			
	Fausse			
Réponse donnée lors de l'explication	Correcte			
	Partiellement			
	Fausse			

Observation des gestes et du discours			Gestes/mots montrant les caractéristiques cibles des objets	Gestes/mots ne montrant pas les caractéristiques cibles des objets	Gestes/mots décrivant le mouvement de rotation correct des objets	Gestes/ mots décrivant un mouvement incorrect des objets
Discours	Mots					
	Mots spatiaux					
Types de gestes	Gestes de pointage					
	Gestes iconiques					
	Gestes métaphoriques					
	Gestes avec le corps					
	Gestes actions					
Modalités	Gestes seuls					
	Production bimodale					
	Discours seul					
Fonctions en lien avec le langage	Redondance					
	Précision					
	Supplément					
Fonctions spatiales	Activation					
	Exploration					
	Manipulation					
	Organisation					

Finalement, un autre moyen d'évaluer les compétences 3D dans un environnement 3D serait la passation de tests spatiaux en réalité augmentée. À ce sujet, Papakostas et al. (2021), dans leur revue systématique de littérature, relèvent que l'usage de la réalité augmentée pour travailler les compétences spatiales améliore la performance des élèves, réduit la charge cognitive par rapport aux groupes témoins utilisant les moyens traditionnels et accroît la motivation des élèves. Grâce à l'imagerie 3D, les étudiants peuvent visualiser les concepts abstraits, qui ne peuvent pas être vus/expérimentés facilement dans une situation réelle (par exemple une tâche d'orientation spatiale à large échelle supposant l'observation depuis différents points de vue, rotation mentale impliquant des grands objets). La réalité augmentée offre l'opportunité elle aussi aux étudiants de manipuler un objet virtuel en utilisant leurs mains pour effectuer cette manipulation (Phon et al., 2019). Chez les élèves avec une DI dans le cadre de l'orientation spatiale, Mengue-Topio et al. (2015) rapportent également une amélioration significative des performances dans un environnement virtuel. Si l'entraînement virtuel obtient des résultats très prometteurs, il s'agit ici d'environnement tridimensionnel et non de formes 3D dessinées en 2D sur un écran d'ordinateur.

7.2.2 Propositions de séquences d'enseignement-apprentissage

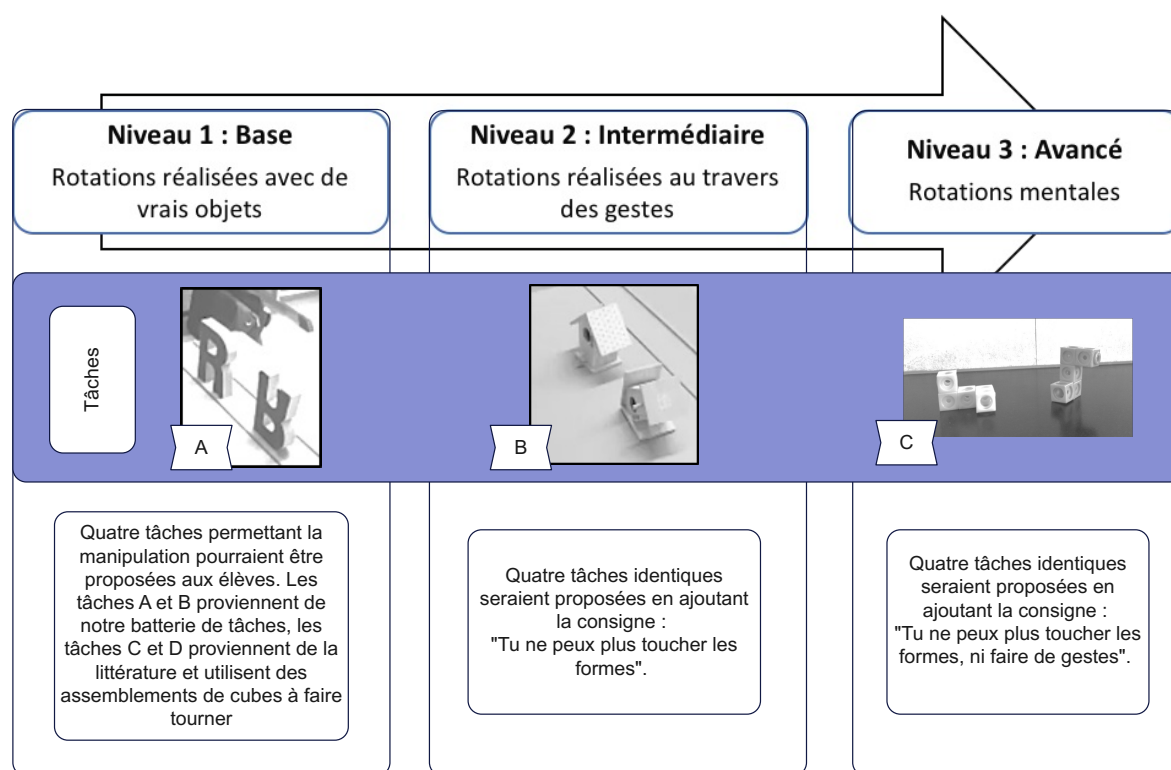
Après avoir abordé les apports de notre recherche sur l'importance et la manière d'observer et d'évaluer les compétences des élèves au travers des gestes, ce chapitre propose quelques séquences d'enseignement-apprentissage visant à entraîner les compétences de rotation mentale selon les trois étapes du modèle de Chu et Kita (2008). Dans un deuxième temps, il décrira comment les enseignants peuvent prêter une attention soutenue à leurs propres gestes puisque ceux-ci influencent également les apprentissages des élèves.

Séquence d'enseignement en trois étapes d'après le modèle de Chu et Kita (2008)

Plusieurs recherches confirment les différents stades d'acquisition de la rotation mentale mis en évidence dans le modèle de Chu et Kita (2008). Wakefield, Foley et al. (2019) relèvent trois aspects particulièrement importants. Il s'agit de **commencer par des rotations physiques d'objets**, afin de préparer les enfants à bénéficier d'une formation contenant des manipulations. En effet, les actions/manipulations que vont faire les enfants influencent leur manière de penser le monde et ces expériences de rotation réelle améliorent l'aptitude de rotation mentale (Frick et al., 2013). Le deuxième point à considérer consiste à **travailler la rotation mentale au travers des gestes**. Comme cela a été montré dans la revue de littérature, faire des gestes permet à l'élève d'être libéré des contraintes physiques de la manipulation et de simuler mentalement la rotation sans avoir besoin d'un accès au résultat de celle-ci. Le geste permet une amélioration des compétences directement après l'entraînement, mais également plusieurs semaines après, dans des situations de transfert (Levine et al., 2018 ; Wakefield, Foley et al., 2019). Finalement, **la simulation uniquement mentale de la rotation** permet, dans un dernier temps, des gains significatifs (Wakefield, Foley et al., 2019). La figure 67 propose quelques tâches permettant de travailler ces trois étapes.

Figure 67

Tâches permettant d'entraîner la rotation mentale d'après le modèle de Chu et Kita (2008)



Grâce à l'évaluation du niveau de conceptualisation de l'enfant (par exemple au travers de la grille présentée au chapitre précédent), l'enseignant pourra déterminer si l'élève : ne parvient pas à effectuer de rotation mentale (niveau 0 de conceptualisation), s'il arrive à les réaliser principalement par la manipulation (niveau 1), s'il utilise principalement des gestes (niveau 2) ou s'il réalise la rotation mentalement (niveau 3). Ensuite, il pourra proposer des séquences d'enseignement correspondant au niveau de l'enfant dans le but de le faire progresser. Par exemple, pour l'élève qui ne parvient pas à réaliser de rotation, il pourra proposer l'une des trois tâches permettant la manipulation décrites dans la figure 67. En commençant par la tâche avec le R (tâche A, dans laquelle la forme comporte une composante saillante), puis celle avec la maison (tâche B qui utilise un objet familier), le professionnel pourra observer les progrès de l'élève puis il pourra proposer une tâche contenant des cubes (tâches C qui utilisent un matériel plus abstrait). Dans la figure 67, les tâches A et B proviennent de notre batterie de tâches, la tâche C est utilisée dans les recherches de Bruce et Hawes (2015) et de Hawes et al. (2015). Si l'élève parvient déjà à effectuer des rotations manuellement, des tâches identiques seront utilisées, mais il sera demandé à l'élève de ne plus manipuler les formes. Il pourra faire des gestes puis effectuer la rotation mentalement.

Séquence d'enseignement où les gestes des enseignants influencent les apprentissages des élèves.

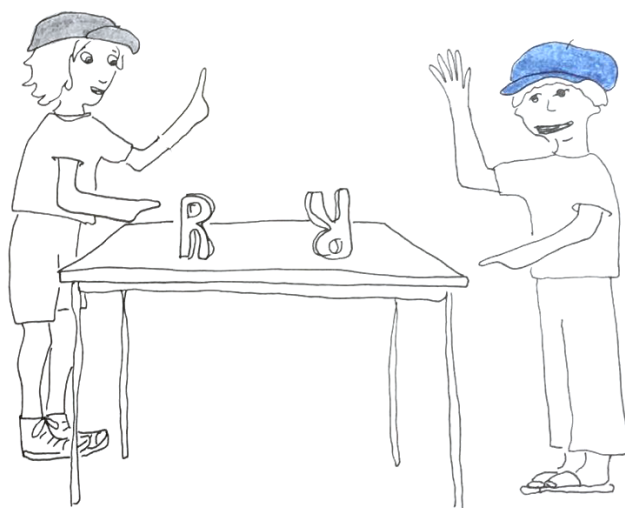
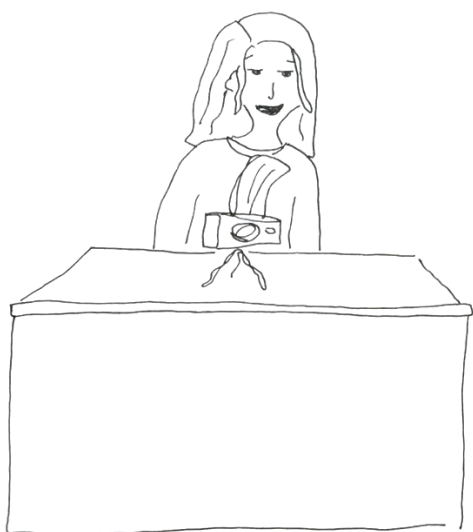
Finalement, après avoir proposé des moyens d'enseignement concrets permettant la mobilisation et l'observation des gestes des élèves, l'enseignant pourra également mettre en oeuvre ses propres gestes dans son enseignement. À ce sujet, plusieurs études se sont intéressées en particulier à l'influence des gestes des enseignants sur les apprentissages des élèves. Elles ont montré que ces gestes favorisent l'attention, la mémoire de travail, la mémoire à long terme, mais également la création de représentations mentales et le contrôle exécutif (Austin & Sweller, 2014; Dargue & Sweller, 2020; Guarino et al., 2021). Le fait de reprendre, dans son enseignement, les gestes produits par les élèves lors de leurs explications, permet à l'enseignant d'ajouter des compléments gestuels à ses explications verbales, ce qui favorise l'encodage des élèves. L'étude de Wakefield et al. (2018) montre que lorsque l'instructeur fait des gestes, les enfants prêtent plus d'attention à la tâche (64% du temps contre 50% du temps s'il n'y a pas de gestes). Alors que, lorsque l'instructeur ne fait pas de gestes, les élèves portent davantage leur attention sur l'instructeur lui-même (45% contre 14% chez les élèves qui sont dans la condition gestes) au détriment de la tâche. Les chercheurs ont de plus montré que l'attention sur la tâche prédit une meilleure réussite au post-test. De plus, les gestes des enseignants amènent les élèves à mieux inhiber les stimuli parasites (Guarino et al., 2021) et à stocker les informations en mémoire de travail. Les élèves retiennent par exemple deux fois mieux les phrases d'une histoire présentée en langue étrangère lorsque l'enseignant fait des gestes en comparaison à une condition sans gestes (Porter, 2016). Les gestes permettent également une meilleure rétention en mémoire des tâches spatiales (Kartalkanat et Göksun (2020). Ces différents constats alimentent la réflexion d'Austin et Sweller (2017, p.10), selon lesquels « les enseignants sont en mesure de faciliter l'acquisition de compétences simplement en utilisant les mains lorsqu'ils parlent ».

7.2.3 Que retenir ?

La discussion du deuxième objectif de la thèse met en évidence deux éléments :

- Premièrement, notre recherche confirme qu'il est possible et profitable d'observer et d'évaluer la conceptualisation des élèves par la prise en compte de leurs gestes, en particulier le nombre et le type de gestes qu'ils effectuent, les modalités d'expression de ces derniers et finalement, la fonction des gestes qu'ils utilisent. Une proposition de grille a été élaborée dans ce sens.
- Deuxièmement, notre recherche suggère qu'après avoir évalué le niveau de l'élève, l'enseignant pourra lui proposer différentes tâches de rotation en 3D permettant d'entraîner ses habiletés de rotation et de progresser selon les trois niveaux du modèle de Chu et Kita (2008).

8. Conclusion



L'étude du rôle des gestes chez des élèves avec une DI est un domaine de recherche récent et en pleine expansion. La présente recherche a souhaité apporter une contribution nouvelle en choisissant une démarche en deux volets, l'un théorique et l'autre empirique. Le premier volet a proposé trois revues systématiques et permis de faire un état des lieux du rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale, ainsi que du rôle des gestes chez les élèves avec une DI. Ces trois revues systématiques ont mis en évidence un état lacunaire de la recherche sur le *rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez les élèves avec une DI*, alors que l'étude empirique a permis de confirmer l'importance des gestes dans l'apprentissage des compétences spatiales tridimensionnelles des élèves avec une DI. Sur la base des résultats obtenus, des recommandations ont été formulées pour la prise en compte des gestes dans l'évaluation des élèves avec une DI, ainsi qu'au niveau des activités d'enseignement-apprentissage.

La première revue systématique, basée sur 12 études impliquant 927 enfants typiques, a mis en exergue quatre résultats clés concernant le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale. Pour rappel, il s'agit du fait que les habiletés de rotation mentale se construisent en trois étapes, d'abord sur la base de la manipulation d'objets réels, puis grâce aux gestes simulant le mouvement de rotation de l'objet et finalement, au travers d'une simulation en pensée (rotation mentale) uniquement. Deuxièmement, les enfants progressent davantage lorsqu'ils peuvent bénéficier de conditions d'apprentissage incluant une phase d'entraînement aux gestes iconiques. En effet, cette condition permet à l'enfant de s'appuyer sur un mouvement moteur (une représentation visuelle) qui simule la rotation mentale sans donner accès au résultat de celle-ci. Troisièmement, il est important de prendre en compte les gestes dans l'évaluation des stratégies, car ils permettent à l'enfant d'exprimer des concepts spatiaux qui n'apparaissent pas ou pas encore dans le langage. Les gestes sont d'ailleurs corrélés à la réussite de la tâche de rotation mentale. Finalement, l'implication du système moteur dans les tâches de rotation mentale (y compris lors de simulation mentale) est attestée.

La deuxième revue sur l'habileté de rotation mentale chez les élèves avec une DI implique 92 participants avec une DI et 5 études expérimentales. Elle met premièrement en évidence que les élèves avec une DI obtiennent des performances plus faibles dans une tâche de rotation mentale que leurs pairs typiques appariés sur l'âge chronologique et l'âge mental. Deuxièmement, le fait de proposer des formes avec un côté « plus saillant » facilite la rotation mentale chez les élèves avec une DI.

La troisième revue systématique concerne le rôle des gestes chez les élèves avec une DI. Elle est basée sur 11 études qui impliquent 364 enfants avec une DI. Elle souligne que les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes lorsqu'ils exécutent une tâche que les enfants typiques appariés sur l'âge mental ou sur l'âge chronologique. L'hypothèse, émise par les auteurs, stipule que les élèves avec une DI utilisent davantage les gestes (en particulier iconiques) pour compenser les difficultés qu'ils rencontrent dans la maîtrise du langage oral

lorsqu'ils souhaitent exprimer une connaissance conceptuelle plus approfondie. Les résultats de la revue mettent également en évidence que les élèves avec une DI utilisent significativement plus la modalité « gestes seuls » et moins celle de « discours seul » que les élèves typiques. Finalement, exploiter pleinement le potentiel du langage verbal et des gestes, permet à la communication de gagner en efficacité, car la prise en compte et la valorisation des gestes aident l'élève à organiser, à mémoriser, et à communiquer des contenus et des concepts de manière améliorée.

Les résultats de la recherche empirique ont permis de confirmer les effets importants des gestes dans la réussite des tâches de rotation mentale chez les élèves avec une DI au travers de plusieurs observations :

- a. Tous les élèves, qu'ils soient avec DI ou contrôles, réussissent significativement mieux des tâches spatiales présentées avec du matériel tridimensionnel que les mêmes tâches en format 2D. Ce résultat implique qu'un environnement matériel et la prise en compte des gestes comme modalité de réponse effective augmentent la possibilité pour les élèves de révéler des compétences acquises.
- b. Le nombre de mots prononcés par les élèves n'est pas corrélé à la réussite des tâches en 3D ; par contre, le nombre de gestes figuratifs l'est. Cela confirme l'importance de proposer des tâches permettant aux élèves de faire des gestes pour avoir accès à leur processus de conceptualisation.
- c. Les élèves avec une DI font significativement plus de gestes par rapport au nombre de mots prononcés en comparaison avec leurs pairs typiques.
- d. Les élèves avec une DI, tout comme les élèves typiques utilisent significativement plus de gestes de pointage.
- e. Le niveau d'intelligence fluide, le niveau de langage oral, le niveau visuo-spatial et le niveau moteur sont positivement corrélés au nombre de gestes iconiques produits et négativement corrélés aux gestes actions.
- f. Le niveau de langage et le niveau psychomoteur sont prédictifs du nombre de gestes iconiques utilisés. Ces gestes sont d'ailleurs prédictifs également de la réussite de la tâche.
- g. Le niveau de langage oral et le niveau psychomoteur sont des facteurs prédictifs négatifs du nombre de gestes actions. Cela signifie qu'un faible niveau de langage oral ou un faible niveau psychomoteur prédit une utilisation plus importante de gestes actions.
- h. Les élèves avec une DI utilisent significativement plus la modalité d'expression « gestes seuls » que le « discours seul ».

Étant donné que, chez les élèves avec une DI, plusieurs contenus de pensée ne sont pas directement évoqués via le langage verbal, l'enseignement spécialisé met les professionnels au défi de comprendre ces élèves au-delà de leurs mots en observant ce qu'ils communiquent en actions avant d'observer ce qui leur manque (Manghi Haquin et al. 2019). Comme relevé dans

le rapport de l'INSERM (2016), la prise en compte de la dimension gestuelle dans le cadre de l'analyse des processus de conceptualisation ouvre de nouvelles perspectives en termes d'évaluation et d'intervention. La création de tâches ou de situations favorisant la manipulation d'un matériel tridimensionnel, l'observation des gestes et la mise en place d'un espace-temps suffisant pour que les élèves s'expriment peuvent faire évoluer les pratiques enseignantes et améliorer l'apprentissage, l'évaluation et le développement de chaque élève.

Au terme de notre étude, certaines limites doivent être mentionnées. Elles se situent tant au niveau théorique et que méthodologique.

Au niveau théorique, les trois revues de littérature ont été tributaires du nombre relativement faible d'études. Ces domaines de recherche étant très récents, peu de résultats étaient disponibles. Les tailles des échantillons des deux revues étaient par ailleurs restreintes ; ce qui nous a conduits à conserver certaines études n'ayant pas toute la puissance souhaitée. Compte tenu de cet état de fait, une certaine prudence dans la généralisation des résultats s'impose malgré la convergence des constats. À la décharge des travaux concernés, il s'agissait de tailles d'échantillons couramment observées dans les études comprenant des participants avec une DI, mais qui impactent néanmoins la robustesse des résultats statistiques. Les différents articles sélectionnés dans la revue sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI proposent plusieurs hypothèses quant aux différentes fonctions des gestes. Cependant, toutes les études infèrent les fonctions gestuelles à partir de la fréquence, du type de gestes et des liens avec la parole. Aucune des études n'a manipulé la présence ou l'absence de gestes pour tester l'effet réel de l'une des fonctions. Ainsi, dans ces recherches, seules des preuves indirectes étaient apportées.

Dans la partie empirique, le choix de certains des tests utilisés peut être discuté. En effet, si l'ABAS-II est une échelle standardisée recommandée, pour évaluer le comportement adaptatif lors du diagnostic de la DI, le test des « Matrices de Raven » n'est pas en soi un test permettant d'obtenir un score de QI. Bien qu'il soit couramment utilisé dans les études pour mesurer l'intelligence fluide et qu'il soit particulièrement adapté aux élèves avec une DI, il aurait été possible de prévoir également un test permettant de mesurer le QI tel que le WISC par exemple. Toutefois, pour les raisons évoquées précédemment, les Matrices de Raven ont été privilégiées. Par ailleurs, contrairement à la plupart des études répertoriées dans la revue systématique sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI, cette étude n'a pas intégré de groupe contrôle apparié sur l'« âge chronologique ». La crainte d'effets plafonds dans les tâches tridimensionnelles, ainsi que dans les tests mesurant les variables indépendantes chez les élèves typiques de 12 à 18 ans, a guidé ce choix. Toutefois, une telle comparaison aurait permis d'observer si l'utilisation des gestes différait entre les élèves typiques et avec une DI à âge chronologique équivalent. Une troisième limite concerne les conditions d'administration de la batterie de tâches spatiales en 3D. En effet, l'administration des tâches s'est déroulée en individuel dans une pièce sans stimulation parasite. Les recherches futures devraient examiner si l'observation des gestes dans des environnements de classe avec de plus grands groupes

modifie les résultats obtenus. La représentativité de l'échantillon peut également être considérée comme une limite supplémentaire. Vingt élèves avec une DI ont participé à cette recherche, ce qui représente somme toute un nombre de participants assez faible. Une question ouverte réside dans le choix de sélectionner un échantillon d'élèves hétérogènes au niveau de la DI. D'une part, ce choix a permis l'observation de différences intéressantes, d'autre part il génère la difficulté de définir précisément, quelquefois, l'origine exacte différences constatées, et si elles sont explicables par l'étiologie. D'autres recherches seront donc nécessaires, afin de pouvoir comparer l'usage des gestes dans des étiologies précises et avec de plus grands échantillons.

Les limites de la recherche sont contrebalancées par ses forces aussi bien au niveau théorique qu'au niveau empirique. La force des trois revues systématiques réside dans le fait qu'il s'agit, à notre connaissance, des premières tentatives de recension systématique du rôle des gestes dans des tâches de rotation mentale, chez des élèves avec une DI. Malgré le petit nombre d'études identifiées, la convergence des résultats offre des perspectives de recherche intéressantes, ainsi que des outils pour mesurer les gestes grâce à différentes variables. Plusieurs dimensions observables sont signalées, comme : le nombre de gestes, les types de gestes, les modalités d'expression, les fonctions liées au langage et les fonctions spatiales. Des grilles pour mesurer le contenu transmis dans les gestes et le discours spatial sont également proposées (par exemple en différenciant les gestes et le discours statiques de leurs pendants dynamiques).

Au niveau empirique, l'une des forces concerne la méthodologie rigoureuse utilisée. En effet, celle-ci a débuté par une phase pré-expérimentale contenant deux temps de mesure (une phase à blanc puis une phase pilote) qui ont permis d'éprouver l'ensemble des tests standardisés ainsi que la batterie de tâches spatiales avec plusieurs compositions possibles (cf. annexes G et H). Les tâches de la batterie ont par exemple été proposées en groupe, avec plusieurs exercices différents par habileté spatiale, avec la mise en place ou l'absence d'exemples, etc. Cette démarche a permis de multiples réflexions aussi bien *a priori* qu'*a posteriori*, pour ajuster les tâches proposées dans la phase expérimentale. Une deuxième force concerne les conditions d'administration. En effet, toutes les consignes des tâches (annexe D) ont été écrites pour correspondre au Facile à Lire et à Comprendre (FALC) et tous les gestes effectués par nous-mêmes lors de l'explication de la tâche ont été décrits (cf. annexe F) pour garantir une fidélité procédurale la plus proche possible entre les participants. La mesure de cette fidélité procédurale a ensuite été vérifiée pour tous les participants par une personne externe à la recherche qui l'a codée au travers de 7 critères différents. Finalement, une seule et même personne (nous-même) a fait passer tous les tests et toutes les batteries de tâches spatiales à la fois aux élèves avec une DI et aux élèves typiques ce qui garantit une administration la plus homogène possible.

Une deuxième force de la partie empirique réside dans les deux types de groupes contrôles choisis. En effet, le choix de constituer deux groupes contrôles, l'un composé d'élèves typiques appariés sur le niveau visuo-spatial, l'autre sur le niveau de langage oral, a permis une

comparaison et un contrôle efficace de deux variables clés susceptibles d'influencer l'utilisation des gestes. L'appariement sur le niveau visuo-spatial reposait sur trois mesures (niveau de raisonnement analogique, empan visuo-spatial et coordination visuo-motrice) provenant de trois tests différents pour augmenter la force de l'appariement. Au niveau du langage oral, l'appariement reposait sur trois sous-échelles faisant partie du test de langage BILO 3C, à savoir la répétition de mots, la production de lexique et la production d'énoncés, ce qui a permis d'identifier des élèves typiques utilisant un langage oral de manière très similaire aux élèves avec une DI. Avec le recul, il aurait été également intéressant d'ajouter un troisième groupe contrôle apparié sur le niveau psychomoteur comprenant par exemple une mesure de la motricité gnosopraxique distale, étant donné qu'il est apparu qu'il s'agit d'une variable clé de l'utilisation des gestes.

Une force supplémentaire de cette recherche est la prise en compte de nombreuses variables indépendantes préalablement mesurées telles que le raisonnement analogique, l'empan visuo-spatial, la perception visuelle, le niveau de coordination visuo-motrice, la motricité gnosopraxique distale, le niveau de langage oral et le comportement adaptatif qui permettent d'effectuer à la fois des analyses de corrélation et des analyses de régression pour tester leur influence sur le nombre de gestes, les types de gestes, les modalités d'expression, les fonctions des gestes et la réussite de la tâche.

En définitive, l'intérêt principal de cette recherche réside dans le fait qu'elle permet l'observation des processus de conceptualisation au travers des gestes dans une tâche tridimensionnelle chez des élèves avec une DI montrant que des contenus mathématiques complexes sont accessibles à ces mêmes élèves. En effet, en proposant des tâches permettant la manipulation d'objets et l'observation des gestes, les élèves avec une DI, tout comme les jeunes enfants typiques, ont pu montrer des compétences qui ne transparaissaient pas dans l'épreuve papier-crayon. L'ajout des gestes actions dans la typologie des gestes observés est également une plus-value de la recherche, car cette catégorie de gestes n'avait pas encore été mesurée dans des tâches de rotation mentale chez les élèves avec une DI. Pourtant ceux-ci permettent d'évaluer le niveau de conceptualisation de l'élève montrant un appui plus important sur le mouvement réel lorsque le niveau visuo-spatial, le niveau moteur ou le niveau de langage est plus faible. À l'inverse, l'observation chez un élève quel qu'il soit de gestes iconiques permet aux enseignants de considérer que cet élève a atteint l'étape 2 dans la conceptualisation de la rotation mentale. Finalement, au travers de propositions d'activités concrètes, cette recherche ouvre des perspectives nouvelles en termes d'apprentissage et d'évaluation, tout en élaborant également des exemples de grilles pour observer les gestes des élèves.

Des recherches complémentaires dans le domaine demeurent nécessaires pour confirmer ou nuancer les résultats obtenus. Les propositions d'activités d'évaluation et d'apprentissage doivent également faire l'objet de recherches ultérieures dans des contextes de classe ou de petits groupes afin d'évaluer leur pertinence et les adaptations nécessaires dans ces environnements. Ces activités seraient aussi intéressantes à tester dans différentes

populations d'élèves avec une DI afin d'établir de possibles nuances selon le diagnostic des élèves.

Cette recherche ne saurait se terminer sans évoquer les perspectives qu'elle contribue à ouvrir. Comme l'ont souligné Hord et al. (2016) à la fin de leur recherche, la prise en compte des gestes par l'enseignant lorsque celui-ci propose un contenu complexe peut être précisément ce dont l'élève avec une DI a besoin pour saisir le concept et pour en exprimer la signification. Il serait dès lors intéressant de mesurer l'influence d'un enseignement avec et sans gestes sur l'apprentissage d'un même contenu. Dans un premier groupe, les élèves avec une DI résoudraient des tâches spatiales avec l'autorisation de faire des gestes, alors que dans le second groupe, ils en seraient empêchés ; la réussite serait ensuite comparée entre les groupes. Une autre recherche possible serait l'étude du rôle des gestes dans d'autres tâches spatiales (par exemple la visualisation et l'orientation spatiale). Notre thèse présente les résultats du rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale, toutefois la partie empirique a été réalisée sur deux autres tâches dont les résultats n'ont pas pu être présentés en raison des limites de temps et de volume inhérents à la rédaction de la thèse. En temps utile, il sera, dès lors, intéressant de comparer les résultats obtenus à chacune des trois autres tâches pour confirmer ou infirmer les hypothèses testées. Un troisième volet consisterait finalement à pouvoir proposer une intervention visant l'amélioration de la rotation mentale chez les élèves avec une DI. En effet, lors de la passation des tâches, un grand potentiel d'apprentissage a pu être observé. Les élèves ont manifesté beaucoup d'intérêt pour les tâches et ont souvent demandé à la fin de la séance si leurs résultats étaient corrects et pourquoi ou comment ils auraient pu faire autrement. Sachant l'importance des compétences spatiales pour la réussite en mathématiques, en science, en technologie et en ingénierie, la mise en place d'une intervention prendrait tout son sens chez les élèves avec une DI et pourrait s'appuyer sur la revue de littérature systématique analysant le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale, car celle-ci contient cinq recherches ayant testé différentes conditions d'intervention.

Pour terminer ce travail, osons la citation de Vergnaud (2002) : « *C'est dans les gestes que l'on trouve les meilleurs exemples de l'activité, les plus incontournables pour l'analyse de la pensée non verbale, et en même temps les modèles les plus suggestifs pour l'analyse de la pensée et du raisonnement. Le geste est pensée (p.110)* ».

9. Bibliographie

- Abbeduto, L., Warren, S. F., & Conners, F. A. (2007). Language development in Down syndrome : From the prelinguistic period to the acquisition of literacy. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 13(3), 247-261.
<https://doi.org/10.1002/mrdd.20158>
- Alibali, M. W. (2005). Gesture in Spatial Cognition : Expressing, Communicating, and Thinking About Spatial Information. *Spatial Cognition & Computation*, 5(4), 307-331.
https://doi.org/10.1207/s15427633scc0504_2
- Alibali, M. W., Kita, S., & Young, A. J. (2000). Gesture and the process of speech production : We think, therefore we gesture. *Language and Cognitive Processes*, 15(6), 593-613.
<https://doi.org/10.1080/016909600750040571>
- Alibali, M. W., Spencer, R. C., Knox, L., & Kita, S. (2011). Spontaneous Gestures Influence Strategy Choices in Problem Solving. *Psychological Science*, 22(9), 1138-1144.
<https://doi.org/10.1177/0956797611417722>
- Altman, D. (1999). *Practical Statistics for Medical Research*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press.
- American Psychiatric Association. (APA, 2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders Fifth Edition (DSM-5). Washington, DC, American Psychiatric Association.
- Arzarello, F., Paola, D., Robutti, O., & Sabena, C. (2009). Gestures as semiotic resources in the mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 97-109.
<https://doi.org/10.1007/s10649-008-9163-z>
- Austin, E. E., & Sweller, N. (2014). Presentation and production : The role of gesture in spatial communication. *Journal of Experimental Child Psychology*, 122, 92-103.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.12.008>
- Austin, E. E., & Sweller, N. (2017). Getting to the elephants : Gesture and preschoolers' comprehension of route direction information. *Journal of Experimental Child Psychology*, 163, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.05.016>
- Bates, E., & Dick, F. (2002). Language, gesture, and the developing brain. *Developmental Psychobiology*, 40(3), 293-310. <https://doi.org/10.1002/dev.10034>
- Beaudoin-Ryan, L., & Goldin-Meadow, S. (2014). Teaching moral reasoning through gesture. *Developmental Science*, 17(6), 984-990. <https://doi.org/10.1111/desc.12180>
- Beery, K. E., & Beery, N. A. (2010). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration (Beery VMI): With Supplemental Developmental Tests of Visual Perception and Motor Coordination and Stepping Stones Age Norms from Birth to Age Six. Administration, Scoring, and Teaching Manual*. Pearson

- Bello, A., Capirci, O., & Volterra, V. (2004). Lexical production in children with Williams syndrome : Spontaneous use of gesture in a naming task. *Neuropsychologia*, 42(2), 201-213. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00172-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00172-6)
- Bello, K. D., Goharpey, N., Crewther, S. G., & Crewther, D. P. (2008). A puzzle form of a non-verbal intelligence test gives significantly higher performance measures in children with severe intellectual disability. *BMC Pediatrics*, 8(1), 30. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-8-30>
- Berglund, E., Eriksson, M., & Johansson, I. (2001). Parental Reports of Spoken Language Skills in Children With Down Syndrome. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(1), 179-191. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/016\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/016))
- Bergmann, K., & Kopp, S. (2006). *Verbal or visual? How information is distributed across speech and gesture in spatial dialog* (pp. 90-97). Universität Potsdam.
- Bikner-Ahsbahr, A. (2004). Towards the Emergence of Constructing Mathematical Meanings. In *International Group for the Psychology of Mathematics Education*. International Group for the Psychology of Mathematics Education, 35 Aandwind Street, Kirstenhof, Cape Town, 7945, South Africa. <https://eric.ed.gov/?id=ED489695>
- Bildiren, A. (2017). Reliability and Validity Study for the Coloured Progressive Matrices Test between the Ages of 3-9 for Determining Gifted Children in the Pre-School Period. *Journal of Education and Training Studies*, 5(11), 13. <https://doi.org/10.11114/jets.v5i11.2599>
- Broadbent, H. J., Farran, E. K., & Tolmie, A. (2014). Object-Based Mental Rotation and Visual Perspective-Taking in Typical Development and Williams Syndrome. *Developmental Neuropsychology*, 39(3), 205-225. <https://doi.org/10.1080/87565641.2013.876027>
- Broaders, S. C., Cook, S. W., Mitchell, Z., & Goldin-Meadow, S. (2007). Making children gesture brings out implicit knowledge and leads to learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 539-550. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.4.539>
- Browder, D. M., Jimenez, B. A., & Trela, K. (2012). Grade-Aligned Math Instruction for Secondary Students with Moderate Intellectual Disability. *Education and Training in Autism and Developmental Disabilities*, 47(3), 373-388.
- Browder, D. M., Spooner, F., Ahlgrim-Dezell, L., Harris, A. A., & Wakemanxya, S. (2008). A Meta-Analysis on Teaching Mathematics to Students with Significant Cognitive Disabilities. *Exceptional Children*, 74(4), 407-432. <https://doi.org/10.1177/001440290807400401>
- Bruce, C. D., & Hawes, Z. (2015). The role of 2D and 3D mental rotation in mathematics for young children : What is it? Why does it matter? And what can we do about it? *ZDM*, 47(3), 331-343. <https://doi.org/10.1007/s11858-014-0637-4>

- Butcher, C., & Goldin-Meadow, S. (2000). Gesture and the transition from one- to two-word speech: when hand and mouth come together. In D. McNeill (Ed.), *Language and gesture* (pp. 235– 258). New York: Cambridge University Press
- Butterworth, B., & Beattie, G. (1978). Gesture and Silence as indicators of planning in speech. In *Recent Advances in the Psychology of Language : Formal and Experimental Approaches* (Vol. 4b, p. 347-360). Plenum Publishers.
- Butterworth, G. (2003). Pointing Is the Royal Road to Language for Babies. In *Pointing* (pp. 17-42). Psychology Press.
- Calero, C. I., Shalom, D. E., Spelke, E. S., & Sigman, M. (2019). Language, gesture, and judgment : Children's paths to abstract geometry. *Journal of Experimental Child Psychology*, 177, 70-85. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.07.015>
- Capirci, O., Iverson, J. M., Pizzuto, E., & Volterra, V. (1996). Gestures and words during the transition to two-word speech. *Journal of Child language*, 23(3), 645-673.
- Capirci, O., & Volterra, V. (2008). Gesture and speech : The emergence and development of a strong and changing partnership. *Gesture*, 8(1), 22-44. <https://doi.org/10.1075/gest.8.1.04cap>
- Capone, N. C., & McGregor, K. K. (2004). Gesture Development : A Review for Clinical and Research Practices. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47(1), 173-186. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/015\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/015))
- Chapman, R. S., & Hesketh, L. J. (2000). Behavioral phenotype of individuals with Down syndrome. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(2), 84-95. [https://doi.org/10.1002/1098-2779\(2000\)6:2<84::AID-MRDD2>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1098-2779(2000)6:2<84::AID-MRDD2>3.0.CO;2-P)
- Chu, M., & Kita, S. (2008). Spontaneous gestures during mental rotation tasks : Insights into the microdevelopment of the motor strategy. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(4), 706-723. <https://doi.org/10.1037/a0013157>
- Chu, M., & Kita, S. (2011). The nature of gestures' beneficial role in spatial problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(1), 102-116. <https://doi.org/10.1037/a0021790>
- Church, R. B., & Goldin-Meadow, S. (1986). The mismatch between gesture and speech as an index of transitional knowledge. *Cognition*, 23(1), 43-71.
- Clements, D. H., & Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In *Handbook of research on mathematics teaching and learning : A project of the National Council of Teachers of Mathematics* (p. 420-464). Macmillan Publishing Co, Inc.

- Clingan-Siverly, S., Nelson, P. M., Göksun, T., & Demir-Lira, Ö. E. (2021). Spatial Thinking in Term and Preterm-Born Preschoolers : Relations to Parent–Child Speech and Gesture. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.651678>
- Colletta, J.-M. (2009). Comparative analysis of children's narratives at different ages. *Gesture*, 9(1), 61-96. <https://doi.org/10.1075/gest.9.1.03col>
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W.G. Chase (Ed.), *Visual Information processing*. New York: Academic Press.
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, 819B.
- Courbois, Y. (2000). The role of stimulus axis salience in children's ability to mentally rotate unfamiliar figures. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12(2), 261-269.
- Courbois, Y., Oross, S., III, & Clerc, J. (2007). Mental Rotation of Unfamiliar Stimuli by Teenagers With Mental Retardation : Role of Feature Salience. *American Journal on Mental Retardation*, 112(5), 311-318.
[https://doi.org/10.1352/0895-8017\(2007\)112\[0311:MROUSB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1352/0895-8017(2007)112[0311:MROUSB]2.0.CO;2)
- Crollen, V., & Noël, M.-P. (2017). How Does Space Interact with Numbers? In M. S. Khine (Éd.), *Visual-spatial Ability in STEM Education : Transforming Research into Practice* (p. 241-263). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_12
- D'Amore, B. (2001). Conceptualisation, registres de représentations sémiotiques et noétiques: Interactions constructivistes dans l'apprentissage des concepts mathématiques et hypothèse sur quelques facteurs inhibant la dévolution. *Scientia Paedagogica Experimentalis*, 38(2), 143-168.
- Dargue, N., & Sweller, N. (2020). Learning Stories Through Gesture : Gesture's Effects on Child and Adult Narrative Comprehension. *Educational Psychology Review*, 32(1), 249-276. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09505-0>
- David, M., Dieterich, K., Billette de Villemeur, A., Jouk, P.-S., Counillon, J., Larroque, B., Bloch, J., & Cans, C. (2014). Prevalence and characteristics of children with mild intellectual disability in a French county. *Journal of Intellectual Disability Research*, 58(7), 591-602. <https://doi.org/10.1111/jir.12057>
- Davis, B. (2015). *Spatial Reasoning in the Early Years : Principles, Assertions, and Speculations*. Routledge.
- De Ruiter, J. P. (1998). Gesture and speech production. Unpublished Dissertation, Nijmegen.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*, Berne : Peter Lang.

- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée, *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives* 5, 37–65.
- Duval, R. (2006). A Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1-2), 103-131.
<https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Duval, R. (2007). La conversion des représentations: Un des deux processus fondamentaux de la pensée. *Du mot au concept: Conversion*, 9-46.
- Ehrlich, S. B., Levine, S. C., & Goldin-Meadow, S. (2006). The importance of gesture in children's spatial reasoning. *Developmental Psychology*, 42(6), 1259-1268.
<https://doi.org/10.1037/0012-1649.42.6.1259>
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1969). Nonverbal Leakage and Clues to Deception. *Psychiatry*, 32(1), 88-106. <https://doi.org/10.1080/00332747.1969.11023575>
- ELAN (Version 5.4) [Computer software]. (2020). Nijmegen: Max Planck Institute for Psycholinguistics, The Language Archive. Retrieved from <https://archive.mpi.nl/tla/elan>
- Elia, I., Gagatsis, A., & van den Heuvel-Panhuizen, M. (2014). The role of gestures in making connections between space and shape aspects and their verbal representations in the early years : Findings from a case study. *Mathematics Education Research Journal*, 26(4), 735-761. <https://doi.org/10.1007/s13394-013-0104-5>
- Feyereisen, P., & deLannoy, J.-D. (1991). *Gesture and speech : Psychological investigations*. Cambridge University Press.
- Fournier, M., & Albaret, J.-M. (2013). Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. *Developpements*, 1617(3), 76-82.
- Frick, A., Hansen, M. A., & Newcombe, N. S. (2013). Development of mental rotation in 3- to 5-year-old children. *Cognitive Development*, 28(4), 386-399.
- Frick, A., Möhring, W., & Newcombe, N. S. (2014). Development of mental transformation abilities. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(10), 536-542.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.05.011>
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery : The case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, 8(5), 402-408.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00428.x>
- Galeote, M., Sebastián, E., Checa, E., Rey, R., & Soto, P. (2011). The development of vocabulary in Spanish children with Down syndrome : Comprehension, production, and gestures. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 36(3), 184-196.
<https://doi.org/10.3109/13668250.2011.599317>

- Galeote, M., Soto, P., Checa, E., Gómez, A., & Lamela, E. (2008). The acquisition of productive vocabulary in Spanish children with Down syndrome. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 33(4), 292-302. <https://doi.org/10.1080/13668250802441870>
- Giuliani, F., Favrod, J., Grasset, F., & Schenk, F. (2011). Accurate memory for object location by individuals with intellectual disability : Absolute spatial tagging instead of configural processing? *Research in Developmental Disabilities*, 32(3), 986-994. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.055>
- Giuliani, F., & Schenk, F. (2015). Vision, spatial cognition and intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities*, 37, 202-208. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.11.015>
- Göksun, T., Goldin-Meadow, S., Newcombe, N., & Shipley, T. (2013). Individual differences in mental rotation : What does gesture tell us? *Cognitive Processing*, 14(2), 153-162. <https://doi.org/10.1007/s10339-013-0549-1>
- Goldin-Meadow, S. (2003). *Hearing Gesture : How Our Hands Help Us Think*. Harvard University Press.
- Goldin-Meadow, S. (2015). From action to abstraction : Gesture as a mechanism of change. *Developmental Review*, 38, 167-184. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.007>
- Goldin-Meadow, S., Alibali, M. W., & Church, R. B. (1993). Transitions in concept acquisition: Using the hand to read the mind. *Psychological Review*, 100(2), 279–297. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.2.279>
- Goldin-Meadow, S., Cook, S. W., & Mitchell, Z. A. (2009). Gesturing gives children new ideas about math. *Psychological science*, 20(3), 267-272.
- Goldin-Meadow, S., Levine, S. C., Zinchenko, E., Yip, T. K., Hemani, N., & Factor, L. (2012). Doing gesture promotes learning a mental transformation task better than seeing gesture : Doing vs. seeing gesture. *Developmental Science*, 15(6), 876-884. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01185.x>
- Goldin-Meadow, S., Nusbaum, H., Kelly, S. D., & Wagner, S. (2001). Explaining Math : Gesturing Lightens the Load. *Psychological Science*, 12(6), 516-522. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00395>
- Goldin-Meadow, S., Shield, A., Lenzen, D., Herzig, M., & Padden, C. (2012). The gestures ASL signers use tell us when they are ready to learn math. *Cognition*, 123(3), 448-453. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.02.006>
- Goldin-Meadow, S., & Wagner, S. M. (2005). How our hands help us learn. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.006>

- Gordon, R., & Ramani, G. B. (2021). Integrating Embodied Cognition and Information Processing : A Combined Model of the Role of Gesture in Children's Mathematical Environments. *Frontiers in Psychology, 0*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.650286>
- Guarino, K. F., Wakefield, E. M., Morrison, R. G., & Richland, L. E. (2021). Exploring how visual attention, inhibitory control, and co-speech gesture instruction contribute to children's analogical reasoning ability. *Cognitive Development, 58*, 101040. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2021.101040>
- Hadar, U., Burstein, A., Krauss, R., & Sorokey, N. (1998). Ideational Gestures and Speech in Brain-damaged Subjects. *Language and Cognitive Processes, 13*(1), 59-76. <https://doi.org/10.1080/016909698386591>
- Harrison, P. L., & Oakland, T. (2003). Adaptive behavior assessment system – Second Edition. San Antonio: The Psychological Corporation
- Harrison, P. L., & Oakland, T. (2008). Chapter 3—ABAS-II Assessment Methods. In T. Oakland & P. L. Harrison (Éds.), *Adaptive Behavior Assessment System-II* (p. 37-49). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012373586-7.00003-5>
- Hart, R. A., & Moore, G. T. (1973). The Development of Spatial Cognition : A Review. In *Image & environment : Cognitive mapping and spatial behavior* (p. 246-288). AldineTransaction.
- Hawes, Z., LeFevre, J.-A., Xu, C., & Bruce, C. D. (2015). Mental Rotation With Tangible Three-Dimensional Objects : A New Measure Sensitive to Developmental Differences in 4- to 8-Year-Old Children: 3D Mental Rotation in Young Children. *Mind, Brain, and Education, 9*(1), 10-18. <https://doi.org/10.1111/mbe.12051>
- Healy, L., & Fernandes, S. H. A. A. (2011). The role of gestures in the mathematical practices of those who do not see with their eyes. *Educational Studies in Mathematics, 77*(2), 157-174. <https://doi.org/10.1007/s10649-010-9290-1>
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence, 32*(2), 175-191. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001>
- Heil, M., & Rolke, B. (2002). Toward a chronopsychophysiology of mental rotation. *Psychophysiology, 39*(4), 414-422. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3940414>
- Hinnell, C., & Virji-Babul, N. (2004). Mental rotation abilities in individuals with Down syndrome – a pilot study. *Down Syndrome Research and Practice, 5*.
- Hord, C., Marita, S., Walsh, J. B., Tomaro, T.-M., Gordon, K., & Saldanha, R. L. (2016). Teacher and Student Use of Gesture and Access to Secondary Mathematics for Students with Learning Disabilities : An Exploratory Study. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal, 14*(2), 189-206.

- Hord, C., & Xin, Y. P. (2015). Teaching Area and Volume to Students With Mild Intellectual Disability. *The Journal of Special Education*, 49(2), 118-128. <https://doi.org/10.1177/0022466914527826>
- Hostetter, A. B. (2011). When do gestures communicate? A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 137(2), 297-315. <https://doi.org/10.1037/a0022128>
- Hostetter, A. B., & Alibali, M. W. (2019). Gesture as simulated action : Revisiting the framework. *Psychonomic Bulletin & Review*, 26(3), 721-752. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1548-0>
- Hostetter, A. B., Alibali, M. W., & Kita, S. (2007). I see it in my hands' eye : Representational gestures reflect conceptual demands. *Language and Cognitive Processes*, 22(3), 313-336. <https://doi.org/10.1080/01690960600632812>
- Institut national de la santé et de la recherche médicale [INSERM] (2016). *Déficiences intellectuelles. rapport complet*. Inserm, Editions EDP Sciences (coll. expertise collective).
- Ishihara, S. (1964). *Tests for Color-Blindness*. Tokyo : Kanehara Shuppan.
- Iverson, J. M., & Goldin-Meadow, S. (1998). Why people gesture when they speak. *Nature*, 396(6708), 228-228. <https://doi.org/10.1038/24300>
- Iverson, J. M., & Goldin-Meadow, S. (2001). The resilience of gesture in talk: Gesture in blind speakers and listeners. *Developmental Science*, 4(4), 416-422.
- Iverson, J. M., Longobardi, E., & Caselli, M. C. (2003). Relationship between gestures and words in children with Down's syndrome and typically developing children in the early stages of communicative development. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 38(2), 179-197. <https://doi.org/10.1080/1368282031000062891>
- Jacobs, L. F. (2003). The Evolution of the Cognitive Map. *Brain, Behavior and Evolution*, 62(2), 128-139. <https://doi.org/10.1159/000072443>
- Jansen, P., & Heil, M. (2010). The relation between motor development and mental rotation ability in 5-to 6-year-old children. *International Journal of Developmental Science*, 4(1), 67-75.
- Jansen, P., & Kellner, J. (2015). The role of rotational hand movements and general motor ability in children's mental rotation performance. *Frontiers in Psychology*, 6, 984.
- Jansen, P., Quaiser-Pohl, C., Neuburger, S., & Ruthsatz, V. (2015). Factors Influencing Mental-Rotation with Action-based Gender-Stereotyped Objects—The Role of Fine Motor Skills. *Current Psychology*, 34(2), 466-476. <https://doi.org/10.1007/s12144-014-9269-7>

- Jitendra, A. K., Nelson, G., Pulles, S. M., Kiss, A. J., & Houseworth, J. (2016). Is Mathematical Representation of Problems an Evidence-Based Strategy for Students With Mathematics Difficulties? *Exceptional Children*, 83(1), 8-25.
<https://doi.org/10.1177/0014402915625062>
- Kaplan, E., Goodglass, H., & Weintraub, S. (1983). *The Boston Naming Test*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Karagiannakis, G., & Noël, M.-P. (2020). Mathematical Profile Test : A Preliminary Evaluation of an Online Assessment for Mathematics Skills of Children in Grades 1–6. *Behavioral Sciences*, 10(8), 126. <https://doi.org/10.3390/bs10080126>
- Kartalkanat, H., & Göksun, T. (2020). The effects of observing different gestures during storytelling on the recall of path and event information in 5-year-olds and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 189, 104725.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104725>
- Kelly, S. D. (2001). Broadening the units of analysis in communication : Speech and nonverbal behaviours in pragmatic comprehension. *Journal of Child Language*, 28(2), 325-349.
<https://doi.org/10.1017/S0305000901004664>
- Kendon, A. (1988). How gestures can become like words. In *Cross-cultural perspectives in nonverbal communication* (p. 131-141). Hogrefe & Huber Publishers.
- Kendon, A. (2004). *Gesture : Visible Action as Utterance*. Cambridge University Press.
- Khomsi, A., Khomsi, J., Parbeau-Guëno, A., & Pasquet, F. (2007). Bilan informatisé de langage oral au Cycle III et au collège (BILO 3C). Paris: Editions du CPA.
- Kim, M., Roth, W.-M., & Thom, J. (2011). CHILDREN'S GESTURES AND THE EMBODIED KNOWLEDGE OF GEOMETRY. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(1), 207-238. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9240-5>
- Kirk, E., & Lewis, C. (2016). Gesture Facilitates Children's Creative Thinking. *Psychological Science*, 225-232.
- Kita, S. (2000). How representational gestures help speaking. In D. Mc-Neill (Ed.), *Language and gesture* (pp. 162–185). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kita, S., Alibali, M. W., & Chu, M. (2017). How do gestures influence thinking and speaking? The gesture-for-conceptualization hypothesis. *Psychological Review*, 124(3), 245-266.
<https://doi.org/10.1037/rev0000059>
- Kita, S., & Özyürek, A. (2003). What does cross-linguistic variation in semantic coordination of speech and gesture reveal? : Evidence for an interface representation of spatial thinking and speaking. *Journal of Memory and Language*, 48(1), 16-32.
[https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00505-3](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00505-3)

- Kmet, L. M., Lee, R. C., & Cook, L. S. (2004). *Standard quality assessment criteria for evaluating primary research papers from a variety of fields*. Edmonton: Alberta Heritage Foundation for Medical Research (AHFMR).
- Krauss, R. M., & Hadar, U. (1999). The role of speech-related arm/hand gestures in word retrieval. In L. Messing & R. Campbell (Éds.), *Gesture, Speech, and Sign* (p. 93-116). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198524519.003.0006>
- Krüger, M., & Krist, H. (2009). Imagery and Motor Processes — When Are They Connected? The Mental Rotation of Body Parts in Development. *Journal of Cognition and Development*, 10(4), 239-261. <https://doi.org/10.1080/15248370903389341>
- Lacombe, N., Petitpierre, G., & Dias, T. (2020). Observer les gestes pour analyser les habiletés spatiales des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue Suisse de Pédagogie Spécialisée* (2), 47-53.
- Lacombe, N., Dias, T., Petitpierre, G. (2020). Construction d'une batterie de tâches spatiales en 3D pour favoriser l'expression gestuelle des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue de mathématiques pour l'école*, 81-92.
- Laing, E., Butterworth, G., Ansari, D., Gsödl, M., Longhi, E., Panagiotaki, G., Paterson, S., & Karmiloff-Smith, A. (2002). Atypical development of language and social communication in toddlers with Williams syndrome. *Developmental Science*, 5(2), 233-246. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00225>
- Lamm, C., Windischberger, C., Moser, E., & Bauer, H. (2007). The functional role of dorso-lateral premotor cortex during mental rotation : An event-related fMRI study separating cognitive processing steps using a novel task paradigm. *NeuroImage*, 36(4), 1374-1386. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.04.012>
- Landau, B., & Jackendoff, R. (1993). Whence and whither in spatial language and spatial cognition? *Behavioral and Brain Sciences*, 16(2), 255-265. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00029927>
- Lavelli, M., & Majorano, M. (2016). Spontaneous Gesture Production and Lexical Abilities in Children With Specific Language Impairment in a Naming Task. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 59(4), 784-796. https://doi.org/10.1044/2016_JSLHR-L-14-0356
- Lavergne, J., & Kimura, D. (1987). Hand movement asymmetry during speech : No effect of speaking topic. *Neuropsychologia*, 25(4), 689-693. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(87\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0028-3932(87)90060-1)
- Ledford, J. R., & Gast, D. L. (2014). Measuring procedural fidelity in behavioural research. *Neuropsychological Rehabilitation*, 24(3-4), 332-348. <https://doi.org/10.1080/09602011.2013.861352>

- Leonard, H., & Wen, X. (2002). The epidemiology of mental retardation : Challenges and opportunities in the new millennium. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 8(3), 117-134. <https://doi.org/10.1002/mrdd.10031>
- Levine, S. C., Huttenlocher, J., Taylor, A., & Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental psychology*, 35(4), 940.
- Levine, S. C., Goldin-Meadow, S., Carlson, M. T., & Hemani-Lopez, N. (2018). Mental Transformation Skill in Young Children : The Role of Concrete and Abstract Motor Training. *Cognitive Science*, 42(4), 1207-1228. <https://doi.org/10.1111/cogs.12603>
- Lunkenbein, D., Allard, H., & Goupille, C. (1983). Structuration intérieure d'objets géométriques dans la genèse d'idées spatiales. *Revue des sciences de l'éducation*, 9(1), 55-84. <https://doi.org/10.7202/900399ar>
- Manghi Haquin, D., Otárola Cornejo, F., Godoy Echiburú, G., Aranda Godoy, I., Álvarez Cruz, M., & Badillo Vargas, C. (2019). Semiotic potential of gestures in multimodal ensembles : Narrative meanings produced by school narrators with intellectual disability. *Linguistics and Education*, 49, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.linged.2018.12.007>
- Mastrogioseppe, M., & Lee, S. A. (2017). What gestures reveal about cognitive deficits in Williams Syndrome. *Developmental Neuropsychology*, 42(7-8), 470-481. <https://doi.org/10.1080/87565641.2017.1393685>
- Maulik, P. K., Mascarenhas, M. N., Mathers, C. D., Dua, T., & Saxena, S. (2011). Prevalence of intellectual disability : A meta-analysis of population-based studies. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 419-436. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.12.018>
- Maurice, P., & Piédalue, M. (2003). L'évaluation et la mesure du comportement adaptatif. *MJ Tassé & D. Morin (Éds.), La déficience intellectuelle*, 57-67.
- McNeill, D. (1992). *Hand and Mind*. Chicago. University of Chicago Press.
- McNeill, D. (2000). *Language and Gesture*. Cambridge University Press.
- McNeill, D. (2005). *Gesture and thought*. University of Chicago press.
- Mengue-Topio, H., Courbois, Y., & Sockeel, P. (2015). Acquisition des connaissances spatiales par la personne présentant une déficience intellectuelle dans les environnements virtuels. *Revue francophone de la déficience intellectuelle*, 26, 88-101. <https://doi.org/10.7202/1036413ar>
- Mervis, C. B., & Becerra, A. M. (2007). Language and communicative development in Williams syndrome. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 13(1), 3-15. <https://doi.org/10.1002/mrdd.20140>

- Miller, H. E., Andrews, C. A., & Simmering, V. R. (2020). Speech and Gesture Production Provide Unique Insights Into Young Children's Spatial Reasoning. *Child Development*, 91(6), 1934-1952. <https://doi.org/10.1111/cdev.13396>
- Mix, K. S., & Cheng, Y.-L. (2012). Chapter 6 - The Relation Between Space and Math : Developmental and Educational Implications. In J. B. Benson (Éd.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 42, p. 197-243). JAI. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394388-0.00006-X>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, T. P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses : The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Morsella, E., & Krauss, R. M. (2004). The role of gestures in spatial working memory and speech. *The American journal of psychology*, 411-424.
- Næss, K.-A. B., Lyster, S.-A. H., Hulme, C., & Melby-Lervåg, M. (2011). Language and verbal short-term memory skills in children with Down syndrome : A meta-analytic review. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2225-2234. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.05.014>
- Needham, A., Barrett, T., & Peterman, K. (2002). A pick-me-up for infants' exploratory skills : Early simulated experiences reaching for objects using 'sticky mittens' enhances young infants' object exploration skills. *Infant Behavior and Development*, 25(3), 279-295. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(02\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(02)00097-8)
- Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2007). Development of Spatial Cognition. In W. Damon & R. M. Lerner (Éds.), *Handbook of Child Psychology* (p. chpsy0217). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0217>
- Newcombe, N. S., Uttal, D. H., & Sauter, M. (2013). Spatial Development. In P. D. Zelazo (Éd.), *The Oxford Handbook of Developmental Psychology, Vol. 1* (p. 563-590). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199958450.013.0020>
- Ng, O.-L., & Sinclair, N. (2015). Young children reasoning about symmetry in a dynamic geometry environment. *ZDM*, 47(3), 421-434. <https://doi.org/10.1007/s11858-014-0660-5>
- Organisation mondiale de la santé [OMS]. (2008). Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes, 10^{ème} édition (CIM-10) - Version 2008. <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2008/fr#/V>
- Örnkloo, H., & von Hofsten, C. (2007). Fitting objects into holes : On the development of spatial cognition skills. *Developmental Psychology*, 43(2), 404-416. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.2.404>

- Özçalışkan, Ş., & Goldin-Meadow, S. (2009). When gesture-speech combinations do and do not index linguistic change. *Language and Cognitive Processes*, 24(2), 190-217. <https://doi.org/10.1080/01690960801956911>
- Papakostas, C., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2021). Exploration of Augmented Reality in Spatial Abilities Training : A Systematic Literature Review for the Last Decade. *Informatics in Education*, 107-130. <https://doi.org/10.15388/infedu.2021.06>
- Perner, J., & Roessler, J. (2012). From infants' to children's appreciation of belief. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(10), 519-525. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.08.004>
- Perry, M., Church, R. B., & Goldin-Meadow, S. (1988). Transitional knowledge in the acquisition of concepts. *Cognitive Development*, 3(4), 359-400.
- Phon, D. N. A. L. E., Rahman, M. H. A., Utama, N. I., Ali, M. B., Halim, N. D. A., & Kasim, S. (2019). The effect of augmented reality on spatial visualization ability of elementary school student. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(2), 624–629. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.4971>
- Piaget, J. (1923). *Le langage et la pensée chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J., Inhelder, B., & Szeminska, A. (1948). *La geometrie spontanee de l'enfant*. [*Spontaneous geometry in the child*.] (p. 514). Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1967). The child's conception of space (F. J. Langdon & J. L. Lunzer, Trans.). New York: Norton. (Original work published 1948)
- Ping, R., Ratliff, K., Hickey, E., & Levine, S. C. (2011). *Using Manual Rotation and Gesture to Improve Mental Rotation in Preschoolers*. 7.
- Pirchio, S., Caselli, M. C., & Volterra, V. (2003). Gestes, mots et tours de parole chez des enfants atteints du syndrome de Williams ou du syndrome de Down. *Enfance*, Vol. 55(3), 251-264.
- Pittalis, M., & Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 191-212. <https://doi.org/10.1007/s10649-010-9251-8>
- Porter, A. (2016). A helping hand with language learning : Teaching French vocabulary with gesture. *The Language Learning Journal*, 44(2), 236-256. <https://doi.org/10.1080/09571736.2012.750681>
- Presmeg, N., Radford, L., Roth, W.-M., & Kadunz, G. (2016). *Semiotics in Mathematics Education*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31370-2>

- Radford, L. (2002). The Seen, the Spoken and the Written : A Semiotic Approach to the Problem of Objectification of Mathematical Knowledge. *For the Learning of Mathematics*, 22(2), 14-23.
- Radford, L. (2009). Why do gestures matter? Sensuous cognition and the palpability of mathematical meanings. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 111-126. <https://doi.org/10.1007/s10649-008-9127-3>
- Radford, L., Arzarello, F., Edwards, L., & Sabena, C. (2017). The multimodal material mind: Embodiment in mathematics education. In J. Cai (Ed.), *First compendium for research in mathematics education*. Reston, VA: NCTM.
- Raven J-C., Court, J-H., Raven J. (1995). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Reynolds, F. J., & Reeve, R. A. (2002). Gesture in collaborative mathematics problem-solving. *The Journal of Mathematical Behavior*, 20(4), 447-460. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(02\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(02)00091-3)
- Rinaldi, D. O., Hessels, M. G. P., Büchel, F. P., Hessels-Schlatter, C., & Kipfer, N. M. (2002). External Memory and Verbalization in Students with Moderate Mental Retardation : Theory and Training. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 2(3), 184-227. <https://doi.org/10.1891/194589502787383272>
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21(5), 188-194. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01260-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01260-0)
- Roth, W.-M., & Thom, J. S. (2009). Bodily experience and mathematical conceptions : From classical views to a phenomenological reconceptualization. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 175-189. <https://doi.org/10.1007/s10649-008-9138-0>
- Ruthsatz, V., Neuburger, S., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2015). Cars or dolls? Influence of the stereotyped nature of the items on children's mental-rotation performance. *Learning and Individual Differences*, 43, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.08.016>
- Saletti, V., Bulgheroni, S., D'Incerti, L., Franceschetti, S., Molteni, B., Airaghi, G., ... & Riva, D. (2007). Verbal and gestural communication in children with bilateral perisylvian polymicrogyria. *Journal of child neurology*, 22(9), 1090-1098.
- Sauter, M., Uttal, D. H., Alman, A. S., Goldin-Meadow, S., & Levine, S. C. (2012). Learning what children know about space from looking at their hands : The added value of gesture in spatial communication. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(4), 587-606. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.11.009>
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations* (p. viii, 364). The MIT Press.

- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703.
- Stacey, C. L., & Carleton, F. O. (1955). The relationship between Raven's Colored Progressive Matrices and two tests of general intelligence. *Journal of Clinical Psychology*, 11, 84-85. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(195501\)11:1<84::AID-JCLP2270110122>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/1097-4679(195501)11:1<84::AID-JCLP2270110122>3.0.CO;2-O)
- Stefanini, S., Bello, A., Miozzi, M., & Caselli, M. C. (2004). *Analisi della produzione verbale e gestuale nei bambini fra i due e i tre anni di età in un compito di denominazione di nomi e predicati*. 18° Congresso Nazionale AIP, Sciacca.
- Stefanini, S., Caselli, M. C., & Volterra, V. (2007). Spoken and gestural production in a naming task by young children with Down syndrome. *Brain and Language*, 101(3), 208-221. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.01.005>
- Stefanini, S., Recchia, M., & Caselli, M. C. (2008). The relationship between spontaneous gesture production and spoken lexical ability in children with Down syndrome in a naming task. *Gesture*, 8(2), 197-218. <https://doi.org/10.1075/gest.8.2.05ste>
- Stinton, C., Farran, E. K., & Courbois, Y. (2008). Mental Rotation in Williams Syndrome : An Impaired Ability. *Developmental Neuropsychology*, 33(5), 565-583. <https://doi.org/10.1080/87565640802254323>
- Tassé, M. J., Schalock, R. L., Balboni, G., Bersani Jr, H., Borthwick-Duffy, S. A., Spreat, S., ... & Zhang, D. (2012). The construct of adaptive behavior: Its conceptualization, measurement, and use in the field of intellectual disability. *American journal on intellectual and developmental disabilities*, 117(4), 291-303.
- Thorpe, S. (1998). Chapitre 7 Les mécanismes de prise d'information. Partie 1: Modèles de traitement de l'information. *Neuropsychologie humaine*, 153.
- te Kaat- van den Os, D. J., Jongmans, M. J., Volman, M. (Chiel) J., & Lauteslager, P. E. (2015). Do gestures pave the way? : A systematic review of the transitional role of gesture during the acquisition of early lexical and syntactic milestones in young children with Down syndrome. *Child Language Teaching and Therapy*, 31(1), 71-84. <https://doi.org/10.1177/0265659014537842>
- Tellier, M. (2009) 'The development of gesture', *Language development over the lifespan*, de Bot, 191-216.
- Trafton, J. G., Trickett, S. B., Stitzlein, C. A., Saner, L., Schunn, C. D., & Kirschenbaum, S. S. (2006). The Relationship Between Spatial Transformations and Iconic Gestures. *Spatial Cognition & Computation*, 6(1), 1-29. https://doi.org/10.1207/s15427633scc0601_1
- Uecker, A., Obrzut, J. E., & Nadel, L. (1994). Mental rotation performance by learning disabled and down's syndrome children : A study of imaginal development. *Developmental Neuropsychology*, 10(4), 395-411. <https://doi.org/10.1080/87565649409540592>

- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills : A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352-402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Vaivre-Douret L. (1997). Évaluation de la motricité gnosopraxique distale (EMG) [révision et adaptation du test de Bergès-Lézine]. Paris: Éditions du Centre de psychologie appliquée.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604.
<http://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Vandereet, J., Maes, B., Lembrechts, D., & Zink, I. (2011). The role of gestures in the transition from one- to two-word speech in a variety of children with intellectual disabilities. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 46(6), 714-727.
<https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00050.x>
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels, *Recherche en didactique des mathématiques* 10 (2.3), 133-170.
- Vergnaud, G. (2002). La prise en compte de l'enseignant dans la théorie des champs conceptuels. *Formation des enseignants et étude didactique de l'enseignant*, 3-19.
- Vergnaud, G. (2011a). *Au fond de l'action, la conceptualisation*. Presses Universitaires de France.
<https://www.cairn.info/savoirs-theoriques-et-savoirs-d-action--9782130589990-page-275.htm>
- Vergnaud, G. (2011b). La pensée est un geste Comment analyser la forme opératoire de la connaissance. *Enfance*, N° 1(1), 37-48.
- Vicari, S., Bellucci, S., & Carlesimo, G. A. (2006). Evidence from two genetic syndromes for the independence of spatial and visual working memory. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 48(2), 126-131. <https://doi.org/10.1017/S0012162206000272>
- Vingerhoets, G., de Lange, F. P., Vandemaele, P., Deblaere, K., & Achten, E. (2002). Motor Imagery in Mental Rotation : An fMRI Study. *NeuroImage*, 17(3), 1623-1633.
<https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1290>
- Vygotsky, L. S. (1993). Collected works (Vol. 2). New York: Plenum.
- Vygotsky, L. (1997). Collected works (Vol. 3). New York: Plenum.
- Wagner, P., Malisz, Z., & Kopp, S. (2014). Gesture and speech in interaction : An overview. *Speech Communication*, 57, 209-232. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2013.09.008>

- Wakefield, E. M., Foley, A. E., Ping, R., Villarreal, J. N., Goldin-Meadow, S., & Levine, S. C. (2019). Breaking down gesture and action in mental rotation : Understanding the components of movement that promote learning. *Developmental Psychology*, 55(5), 981-993. <https://doi.org/10.1037/dev0000697>
- Wakefield, E. M., Congdon, E. L., Novack, M. A., Goldin-Meadow, S., & James, K. H. (2019). Learning math by hand: The neural effects of gesture-based instruction in 8-year-old children. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(7), 2343-2353.
- Wakefield, E., Novack, M. A., Congdon, E. L., Franconeri, S., & Goldin-Meadow, S. (2018). Gesture helps learners learn, but not merely by guiding their visual attention. *Developmental Science*, 21(6). <https://doi.org/10.1111/desc.12664>
- Wesp, R., Hesse, J., Keutmann, D., & Wheaton, K. (2001). Gestures Maintain Spatial Imagery. *The American Journal of Psychology*, 114(4), 591-600. <https://doi.org/10.2307/1423612>
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68(1), 77-94. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00032-8)
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636. <https://doi.org/10.3758/BF03196322>
- Wohlschläger, A., & Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 24(2), 397.
- Wraga, M., Shephard, J. M., Church, J. A., Inati, S., & Kosslyn, S. M. (2005). Imagined rotations of self versus objects : An fMRI study. *Neuropsychologia*, 43(9), 1351-1361. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.028>
- Wu, Y. C., & Coulson, S. (2014). Co-speech iconic gestures and visuo-spatial working memory. *Acta Psychologica*, 153, 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.09.002>
- Zacks, J. M. (2008). Neuroimaging Studies of Mental Rotation : A Meta-analysis and Review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(1), 1-19. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20013>
- Zander, S., Montag, M., Wetzel, S., & Bertel, S. (2020). A gender issue? - How touch-based interactions with dynamic spatial objects support performance and motivation of secondary school students. *Computers & Education*, 143, 103677. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103677>
- Zander, S., Wetzel, S., & Bertel, S. (2016). Rotate it!—Effects of touch-based gestures on elementary school students' solving of mental rotation tasks. *Computers & Education*, 103, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.10.007>



Noémie Lacombe

Impasse Plein Soleil 23
1608 Chapelle
079/557.15.30
noemie.lacombe@unifr.ch

Mariée
3 enfants
Permis de conduire

Certifications

2016-AUJOURD'HUI: Doctorat en cours en pédagogie spécialisée
Université de Fribourg / HEP Vaud, UER maths et sciences

2014: Master of Arts en pédagogie spécialisée
Université de Fribourg, Département de Pédagogie Spécialisée

2011: Bachelor of Arts in Pre-Primary and Primary Education
Haute Ecole Pédagogie de Fribourg

Compétences

- **Organisation** (gestion des stages, planification des examens pratiques)
- **Leadership** (coordination des tâches, direction camps de vacances J&S)
- **Initiative** (mise en place de nouveaux dispositifs : coaching par les pairs, outils de planification informatisés, projet numération pour les 3H)
- **Créativité** (enseignement ludique et kinesthésique, animation des séminaires d'analyse de pratique)
- **Ouverture à l'autre** (collaboration avec la HEP VD, la HEP FR, participation aux journées des formateurs romands en didactiques des mathématiques, co-animation des cours)

Expériences Professionnelles

2016- AUJOURD'HUI: LECTRICE (depuis 12.2020) COLLABORATRICE SCIENTIFIQUE, CHARGÉE DE COURS, DOCTORANTE
Université de Fribourg, département de Pédagogie Spécialisée (Master enseignement)

- Encadrement et suivi des étudiant-e-s du master enseignement spécialisé
- Gestion organisationnelle des stages
- Dispense des cours « Echec scolaire » (durant 1 année) ; « Troubles d'apprentissage » ; « Didactique des mathématiques »
- Cours de préparation à l'examen final (4h)
- Co-suivi des TM avec Mme Walther
- Thèse de doctorat : Revue de littérature et partie empirique terminée

2014- AUJOURD'HUI: EXPERT
Haute Ecole Pédagogie de Fribourg

- Evaluation des projets didactiques de fin de bachelor

2020- AUJOURD'HUI: INTERVENANTE-EXTERNE
Haute Ecole Pédagogie du canton de Vaud

- Dispense des séminaires dans le cours de didactique des mathématiques

2014-2016 : ENSEIGNANTE SPECIALISEE (MCDI)
Bulle, Epagny, Châtel-Saint-Denis (FR)

- Suivi et accompagnement des élèves ayant des besoins particuliers (3H-8H)
- Collaboration et co-enseignement avec les enseignants titulaires

2011-2014 : ENSEIGNANTE PRIMAIRE
Hauterive, Posieux (FR)

- Classe double degrés 7-8H puis classe de 5H puis de 6H

Langues & TICs

Informatique : maîtrise des logiciels de bureautique (texte, image, vidéo, son) sur Mac/PC

Travail avec SPSS / Maîtrise des outils de visioconférence (Teams, Skype, Zoom..)

Allemand : diplôme C1
Anglais : diplôme B2
Espagnol : connaissances scolaires
Italien : bonne compréhension

Publications

- 2021** **Lacombe, N.,** Petitpierre, G., Dias, T. (2021, sous presse). Can gestures give us access to thought? A systematic literature review on the role of co-thought and co-speech gestures in children with intellectual disabilities. *Journal of Non-Verbal Behaviour*. 10.1007/s10919-022-00396-4
- 2021** **Lacombe, N.,** De Chambrier, A-F., Dias, T. (2021). Des données probante au service de l'enseignement différencié des mathématiques. *Revue de mathématiques pour l'école*, 236, 13-26.
- 2020** Relecture de la fiche sur la dyscalculie à disposition des enseignants, élaborée par le CSPS et validée par la CLPS à la conférence de la CIIP www.csp.ch/fr/fiches-d-information-pour-enseignants
- 2020** **Lacombe, N.,** Dias, T. & Petitpierre, G. (2020). Construction d'une batterie de tâches spatiales en 3D pour favoriser l'expression gestuelle des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue de mathématiques pour l'école*, 233, 81-92.
- 2020** **Lacombe, N.,** Petitpierre, G. & Dias, T. (2020). Observer les gestes pour analyser les habiletés spatiales des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue Suisse de Pédagogie Spécialisée*, 2, 47-53.
- 2018** **Lacombe, N.,** & Marmillod, F. (2018). L'impact des conceptions des élèves de 8H en situation de résolutions de problèmes. *Revue de mathématiques pour l'école*, 229, 5-14.

Congrès

2021 IASSID. The role of spontaneous gestures as a support of students with ID's spatial thinking. 6ème Congrès IASSID. (Europe Congress Value Diversity), en ligne, 6 juillet.

2021 COPIRELEM. Observer les gestes pour analyser les habiletés spatiales des élèves avec DI », (Congrès de l'institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques), Chambéry (en ligne), 17 juin.

2021 CREAL. Conférence à deux voix avec Mme Petitpierre « Communication et oralité : des compétences à soutenir pour une meilleure qualité de vie ». (Centre régional d'Etudes, d'Actions et d'Information en faveur des personnes en situation de vulnérabilité), Langueux, 24 septembre.

2019 COPIRELEM. Exploration du rôle et de l'implication des gestes dans l'apprentissage chez des élèves ayant une DI. (Congrès de l'institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques), Lausanne, 5 juin.

Intervention dans des formations continues

2017 JOURNEE PEDAGOGIQUE CYCLE D'ORIENTATION (jolimont, FR)
Animation d'un atelier sur la dyscalculie

Déclaration sur l'honneur

Par ma signature, j'atteste avoir rédigé personnellement cette thèse sans aide extérieure non autorisée, n'avoir utilisé que les sources et moyens autorisés, et mentionné comme telles les citations et paraphrases. Cette thèse n'a pas déjà été présentée devant une autre faculté.

J'ai pris connaissance que le comportement scientifique délictueux selon les directives de l'Université de Fribourg* est sanctionné.

Nom(s) : *Lacombe*

Prénom(s) : *Noémie*

Lieu et date : *Fribourg, le 11.02.2022*

Signature manuscrite :



Références bases légales

- Règlement du 11 décembre 2014 pour l'obtention du doctorat à la Faculté des lettres de l'Université de Fribourg
- Règlement du 18 décembre 1990 (Etat le 22 janvier 2004) de doctorat de la Faculté des lettres de l'Université de Fribourg

* Directives du 13 mai 2008 concernant la procédure de prononcé des sanctions disciplinaires selon l'art. 101 des Statuts du 31 mars 2000 de l'Université de Fribourg dans les cas de violation des règles de l'intégrité scientifique lors de la rédaction de travaux pendant la durée de la formation

10. Annexes

Liste des annexes

Partie théorique

Annexe A: Tableau RER de la revue systématique sur le rôle des gestes dans la rotation mentale

Annexe B : Tableau RER de la revue systématique sur la rotation mentale chez les élèves avec une DI

Annexe C: Tableaux RER de la revue systématique sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI

Méthode

Annexe D : Consignes détaillées des tâches

Annexe E : Description des deux autres tâches de la batterie (orientation et visualisation spatiales)

Annexe F: Consignes gestuelles autorisées ; exemple pour la tâche de rotation mentale

Annexe G : Exemple d'analyse à priori et à posteriori des tâches

Annexe H : Tableaux récapitulatifs des différentes modifications effectuées dans les trois tâches de la batterie

Annexe I : Exemple de la procédure d'appariement des élèves

Annexe J : Détail de la procédure de fidélité procédurale

Annexe K : Grille de codage complète des vidéos

Annexe L: Exemple du codage de chaque catégorie pour la fidélité inter-juges



Annexe M : Procédure de vérification de la fidélité inter-juges

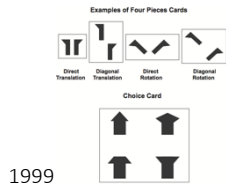
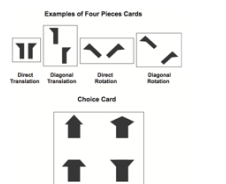
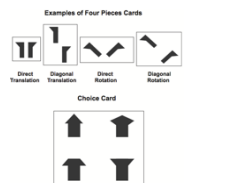
Résultats

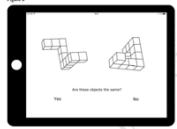

Annexe N : Exemples de la bibliothèque des différents types de gestes répertoriés


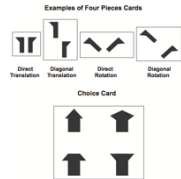
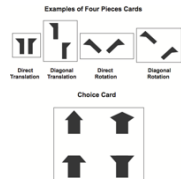
Annexe O : Exemples de la bibliothèque des concepts exprimés par les gestes

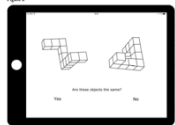


Annexe A : Tableau RER de la revue systématique sur le rôle des gestes dans la rotation mentale

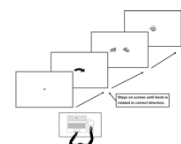
Auteur	Participants	But	Design	Tâche	Résultats et interprétation
Wakefield, et al., (2019) Etats-Unis	N= 107 (47 garçons / 60 filles) ▪ 4-6 ans ▪ M =57 mois	Analyser l'efficacité de 5 conditions d'entraînement sur la capacité de rotation mentale chez les enfants. a) Agir sur l'objet b) Agir sur l'image de l'objet c) Faire un geste rotatif de pointage d) Faire un geste rotatif iconique e) Faire geste sans lien avec la rotation	Pré-test Intervention Post-test immédiat Post-test différé (une semaine après) Création de 5 groupes d'enfants équivalents selon les résultats au pré-test	Animal ou véhicule à faire tourner soit dans la réalité sur une planche, soit sur l'ordinateur 	Effet du type de condition d'entraînement Chez les garçons : l'apprentissage est meilleur dans la condition geste iconique de rotation $F(4, 3060) 3,58, p .006$ que dans la condition action sur l'image : $t(1250) 2,81, p .005$, gestes de pointage : $t(1274) 2,96, p .003$, gestes sans lien avec la rotation : $t(1282) 3.37, p .001$, et action sur l'objet : $t(1306) 2.48, p .013$ Chez les filles : Progrès significatif entre le pré-test et le post-test $F(1, 3972) 70.101, p .001, OR 1.501, 95\% CI [1.182, 1.906]$, indiquant que les filles ont bénéficié des expériences de formation. Pas de différence significative entre les conditions d'entraînement $p=.147$. C'est dans les conditions action sur l'objet puis gestes iconiques de rotation que les résultats sont les meilleurs. La progression entre le pré-test et le post-test est significative ($F(1, 3972) 70.101, p .001$) Explication Le geste demande la simulation mentale du résultat contrairement à l'action où le résultat de la rotation est visible. Cela pourrait expliquer le pourquoi d'un gain dans l'apprentissage par le geste par rapport à l'action.
Wakefield, et al., (2019) Etats-Unis	N= 72 (39 garçons / 33 filles) ▪ 3-6 ans ▪ M =56 mois	Tester une 6 ^{ème} condition Imaginer le mouvement d'un objet sans faire le geste induit tout comme le geste, induit un apprentissage plus important qu'agir sur l'objet a) Agir sur l'image de l'objet b) Faire un geste rotatif iconique c) Imaginer la rotation	Pré-test Intervention Post-test différé (une semaine après) Post-test 4 semaines après Création de 3 groupes d'enfants équivalents selon les résultats au pré-test	Animal ou véhicule à faire tourner sur l'ordinateur 	Effet du type de conditions d'entraînement Chez les garçons : l'apprentissage est meilleur dans les conditions geste iconique de rotation $t(3833) 5.90, p .001$ et imaginer la rotation $t(3445) 5.386, p .001$ que dans l'action. Donc chez les garçons visualiser la rotation d'un objet sans avoir accès au résultat améliore l'acquisition de la capacité de rotation mentale. Chez les filles 1 semaine après : l'apprentissage est meilleur dans les conditions gestes iconiques de rotation $t(3189) 3.20, p .001$ et action $t(3116) 2.57, p .01$ sans différence entre les deux $p .606$; 4 semaines après : l'apprentissage est meilleur dans la condition geste iconique de rotation que dans l'imagination $t(3189) 3.20, p .001$ et dans l'action $t(3116) 2.57, p .01$ Donc chez les filles, le mouvement associé à l'action et au geste, favorise l'apprentissage. A long terme, le geste augmente l'amélioration.

Goldin-Meadow, Levine et al., (2012) Etats-Unis	N= 158 (83 garçons / 75 filles) ▪ 6 ans ▪ M=73.6 mois	Analyser l'impact de 2 paradigmes d'entraînement sur la capacité de rotation mentale des enfants : observer un geste de rotation et effectuer soi-même un geste de rotation. 4 conditions sont proposées : - Geste iconique de l'enfant - Geste iconique de l'exp. - Geste de pointage enfant - Geste de pointage de l'expérimentateur	Pré-test Intervention Post-test immédiat Création de 4 groupes d'enfants équivalents selon les résultats au pré-test	Tâche de rotation mentale de Levine et al., 1999 	Effet du types de conditions d'entraînement Le nombre moyen de problèmes pour lesquels les enfants se sont améliorés entre le pré-test et le post-test dépendait du type de geste de l'enfant $F(1, 622) = 7.31, p < .01$, et non du type de geste de l'expérimentateur $F < 1$ Le geste iconique de rotation de l'enfant améliore significativement les capacités de rotation mentale, au contraire du geste de pointage de l'enfant $F(1, 622) = 12.45, p < .000$ Donc le geste autoproduit peut jouer un rôle dans l'apprentissage, à condition que le geste mette en évidence les aspects pertinents de la tâche (ici la rotation mentale) et ne se contente pas d'engager l'enfant dans une activité motrice comme le geste de pointage.
Levine et al., (2018) Etats-Unis	N= 114 (52 garçons / 62 filles) ▪ 5-6 ans ▪ M= 74.18 mois	Analyser l'effet de 3 conditions d'entraînement sur la capacité de rotation mentale des enfants a) Action b) Gestes iconiques de rotation c) Gestes de pointage	Pré-test Intervention Post-test immédiat Re-test une semaine après Création de 3 groupes d'enfants équivalents selon les résultats au pré-test	Tâche de rotation mentale de Levine et al., 1999 	Effet du types de conditions d'entraînement La condition action : permet un apprentissage significatif entre le pré-test et le post-test ($b = 0.72, SE = 0.16, Z = 4.49, p < .001, \exp(b) = 2.05$) et entre le pré-test et le retest ($b = 0.99, SE = 0.17, Z = 5.67, p < 0.001, \exp(b) = 2.69$), mais pas d'apprentissage supplémentaire entre le post-test et le retest ($b = 0.27, SE = 0.16, Z = 1.66, p > .09, \exp(b) = 1.31$) La condition geste : permet un apprentissage significatif entre le pré-test et le post-test ($b = 0.39, SE = 0.16, Z = 2.36, p = .02, \exp(b) = 1.48$) et un nouvel apprentissage significatif entre le post-test et le retest ($b = 0.42, SE = 0.16, Z = 2.58, p = .01, \exp(b) = 1.52$) La condition geste de pointage : aucun apprentissage entre pré-test et post-test ($b = 0.08, SE = 0.17, Z = 0.47, p > 0.63, \exp(b) = 0.92$) entre pré-test et retest ($b = 0.42, SE = 0.16, Z = 2.58, p > 0.01, \exp(b) = 1.52$) et entre post-test et retest ($b = 0.32, SE = 0.18, Z = 1.72, p > 0.08, \exp(b) = 1.38$)
Ehrlich et al., (2006) Etats-Unis	N= 80 (42 garçons / 38 filles) ▪ 5 ans ▪ M= 67.12 mois	Examiner si les aptitudes de rotation mentale des jeunes garçons et des jeunes filles peuvent être améliorées de manière différente par divers types d'entraînement 3 conditions a) Imaginer le mouvement b) Observer le mouvement c) Pas d'intervention (idem au pré-test)	Pré-test Intervention Post-test immédiat Création de 3 groupes d'enfants équivalents selon les résultats au pré-test	Tâche de rotation mentale de Levine et al., 1999 	Effet du types de condition d'entraînement Les enfants obtiennent des scores plus élevés au post-test qu'au prétest $F(1, 57) 7.68, p .01, d .34$ (prétest : M 62,72%, SE 2,3% ; post-test : M 68,78%, SE 2,3%) En examinant chaque condition, les garçons et les filles se sont améliorés au même rythme dans les conditions d'observation du mouvement et sans intervention. Les filles ont davantage progressé dans la condition « imaginer le mouvement » que les garçons $F(1, 19) 8.69, p .01, d .31$. Relations parole et gestes Les stratégies de mouvement ont été exprimées sur 4.99 problèmes (sur 8 possibles) si les gestes et la parole sont pris en compte, mais seulement sur 3.48 problèmes si seule la parole est prise en compte et cette différence est significative $t(62) 5.848, p .001$

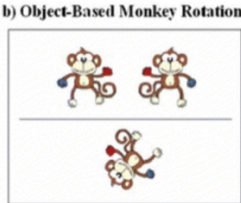

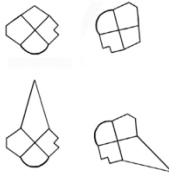
					<p>Les caractéristiques perceptives ont été relevées sur 2.93 problèmes par des gestes et des paroles, mais uniquement sur 2.30 si les gestes sont exclus et cette différence est significative $t(62) 5,27, p .001$</p> <p>Relations entre stratégies exprimées par les gestes ou la parole et la performance</p> <p>Résultats aux tâches significativement corrélés :</p> <p>a) positivement avec des stratégies de mouvement exprimées soit par la parole soit par les gestes $r .272, p .032$</p> <p>b) positivement avec les stratégies de mouvement exprimées par les gestes (avec ou sans parole) $r .299, p .018$</p> <p>c) négativement avec des stratégies peu claires exprimées par la parole seule $r .262, p .040$</p> <p>Les garçons font significativement plus de gestes (Ms 2.09 et 0.87, respectivement, $p .015, d .62$)</p>
<p>Zander et al., (2016)</p> <p>Allemagne</p>	<p>N=51 (24 garçons / 27 filles)</p> <ul style="list-style-type: none"> 8-11 ans M= 9.08 ans 	<p>Examiner les effets sur la réussite, l'effort mental (charge cognitive) et la motivation d'une tâche de la rotation mentale sur l'ordinateur en comparaison avec une tâche sur papier.</p>	<p>Deux groupes de comparaison pour chacune des 3 classes (dont 6 groupes)</p> <p>Groupes A T1 papier T2 application</p> <p>Groupes B T1 application T2 papier</p>	<p>Tâche de rotation mentale de Vandenberg & Kuse, (1978) adaptée dans une application « Rotate it » pour Ipad (iOS 8)</p> 	<p>Différence entre la tâche sur l'application et la tâche sur papier</p> <p>Aucun effet multivarié significatif pour le facteur inter-sujets du format de présentation (papier vs. application, $V = 0,202, F(6, 30) = 1,263, p = 0,304, \omega^2 = 0,202$), ni aucun effet sur les blocs d'essais intra-sujets ($V = 0,314, F(6, 30) = 2,29, p = 0,061, \omega^2 = 0,314$).</p> <p>Le taux de réussite indique que les élèves n'ont pas pu profiter de l'interaction tactile offerte par l'application lorsqu'ils ont utilisé l'application en premier (c'est-à-dire avant de résoudre les tâches dans la condition papier, dans laquelle ils devaient se fier uniquement à la rotation mentale des objets). Cependant, lorsqu'elle a été appliquée comme essai 2, la condition basée sur l'application a conduit à un taux de réussite significativement plus élevé que toute autre condition (papier1, papier2 ou application1).</p>
<p>Jansen et al., (2015)</p> <p>Allemagne</p>	<p>N=50 (25 garçons /25 filles)</p> <ul style="list-style-type: none"> Garçons: M=9.68 Filles : M=9.24 	<p>Examiner la différence de performance entre les filles et les garçons.</p> <p>Examiner l'influence de la dextérité manuelle sur la performance en rotation mentale</p>	<p>Groupe expérimental</p> <p>64 items d'entraînement</p>	<p>Tirés des tests psychométriques M-MRT et F-MRT de Ruthsatz et al. (2013)</p> 	<p>Temps de réaction</p> <p>Il n'y avait pas d'effet principal avec le facteur "sexe", $F(1, 47)=1.513, n.s$</p> <p>Taux d'exactitude</p> <p>Effet significatif de la "dextérité manuelle" a influencé le taux de précision, $F(1, 47)=8.24, p<0.01, \eta^2 \text{ partiel}=0.149$.</p> <p>Il n'y avait pas d'effet principal avec le facteur "sexe", $F(1, 47)=1.767, n.s$.</p> <p>Vitesse de rotation</p> <p>Effet principal significatif du facteur "type de stimulus", $F(1, 47)=6.609, p<0.05, \eta^2 \text{ partiel}=0.123$</p> <p>Effet significatif de la "dextérité manuelle", $F(1, 47)=4.20, p<0.05, \eta^2 \text{ partielle}=0.082$</p> <p>Il n'y avait pas d'effet principal avec le facteur "sexe", $F(1, 47)=0.297, n.s$.</p>

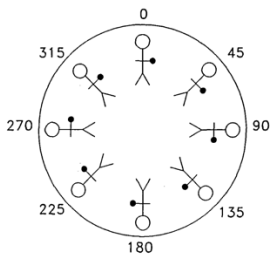
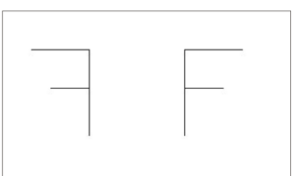
<p>Miller et al., (2020)</p> <p>Etats-Unis</p>	<p>N=55 (30 garçons / 25 filles)</p> <ul style="list-style-type: none"> 4;3-6;11ans M= 5.15 ans 	<p>Evaluer si la performance spatiale est davantage liée aux capacités de production de concepts spatiaux (verbalement et/ou par le geste) ou aux compétences générales d'attention aux informations pertinentes pour la tâche (production de concepts spatiaux de manière pertinente pour la tâche).</p>	<p>Groupe expérimental</p> <p>2 tâches</p>	<p>SA (Huttenlocher & Levine, 1990)</p>  <p>CMTT (Levine, et al., 1999)</p> 	<p>Plus les enfants obtenaient des scores élevés pour les mesures de la parole ($\chi^2 = 23,78$, $p < 0,001$) ou du geste ($\chi^2 = 13,49$, $p = 0,001$), plus leur probabilité de réussite augmentait.</p> <p>À l'étape 4, le test omnibus a montré que la pertinence de la parole ($\chi^2 = 14,14$, $p < 0,001$) et la pertinence du geste ($\chi^2 = 7,31$, $p = 0,026$) prédisaient chacune de manière significative la probabilité de réussite</p> <p>La pertinence du geste a prédit la probabilité d'un résultat correct dans le test omnibus pour la SA, $\chi^2(2) = 19.23$, $p < .001$, et la CMTT, $\chi^2(2) = 7.03$, $p = .029$. Cela suggère que la relation entre la pertinence du geste et la performance ne dépendait pas uniquement de la parole, et que la production de gestes des enfants reflétait les cas où ils étaient attentifs à des informations pertinentes qu'ils ne transmettaient pas verbalement</p> <p>Numériquement, la pertinence des gestes des enfants était plus élevée que la pertinence de la parole en moyenne pour la SA ($M_{diff} = -0.06$, $SD_{diff} = .29$, $rangediff = -.51$ à $.51$) et la CMTT ($M_{diff} = -0.07$, $SD_{diff} = .20$, $rangediff = -.34$ à $.34$)</p>
<p>Ping et al (2011)</p> <p>Etats-Unis</p>	<p>N= 63 (31 garçons / 32 filles)</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 ans 	<p>Explorer les différences de performance, de vitesse en rotation mentale sous trois conditions d'entraînement</p> <p>a) Gestes : utilisation de gestes pour simuler la rotation sur l'ordinateur (les éléments ne bougent pas)</p> <p>b) Action (utilisation d'un joystick pour faire tourner réellement l'objet sur l'ordinateur)</p> <p>c) aucun entraînement : autre tâche reconnaissance de lettres</p>	<p>Pré-test</p> <p>Intervention</p> <p>Post-test immédiat</p> <p>Test de transfert sur une autre tâche de RM</p>	<p>CMTT (Levine, et al., 1999)</p>  <p>Le MROT, demande aux enfants de décider le plus rapidement possible si deux animaux, présentés côte à côte sur un écran de PC marchent dans la même direction (une fois qu'ils sont tous deux sur leurs pattes).</p>	<p>Effets des conditions d'entraînement</p> <p>Les sujets de la condition gestes ($M=0,30$, $SE=0,15$) se sont significativement plus améliorés du pré au post-test. $F(2, 56)=3.85$, $p<0.05$ que les sujets de la condition aucun entraînement ($M=-0,28$, $SE=0,15$).</p> <p>Différence non significative entre la condition sans entraînement et la condition action ($M=-0.04$, $SE=0.15$)</p> <p>Vitesse de traitement</p> <p>Les sujets de la condition geste ($M=-0,28$, $SE=0,19$) ont diminué leur temps de manière significative par rapport à la condition action ($M=0,44$, $SE=0,21$). $F(2, 49)=3,80$, $p<0,05$.</p> <p>La condition action montre la plus faible amélioration de la vitesse entre pré-test et post-test</p> <p>Transfert sur une tâche de rotation mentale</p> <p>Amélioration générale significative pour tous les participants dans un test de transfert, $t(62)=4,23$, $p<0,001$ (la précision de la tâche CMTT était de 40,61 % ($SE=2,04$ %) au pré-test ; la précision au post-test était de 50,66 % ($SE=2,92$)).</p> <p>Les scores étaient significativement plus haut pour les sujets de la condition action ($M=0.20$, $SE=0.20$) et gestes ($M=0.43$, $SE=0.20$) que pour ceux sans entraînement ($M=-0.64$, $SE=0.20$). $F(2, 56)=8,18$, $p<0,001$.</p>

<p>Zander, et al., (2020)</p> <p>Allemagne</p>	<p>N=53</p> <ul style="list-style-type: none"> 13-14 ans M= 13.6 ans 	<p>Examiner l'efficacité de la rotation dynamique, basée sur le toucher direct, par rapport à la rotation mentale sur la réussite, les facteurs motivationnels et affectifs</p>	<p>Deux groupes de comparaison</p> <p>Groupes A T1 papier T2 application</p> <p>Groupes B T1 application T2 papier</p>	<p>Tâche de rotation mentale de Vandenberg & Kuse, (1978) adaptée dans une application « Rotate it » pour Ipad (iOS 8)</p> 	<p>Le MANOVA a révélé une différence significative pour le facteur sexe ($V = 0,259$, $F(5,40) = 2,803$, $p = 0,029$, $\eta^2 = 0,259$) et la condition ($V = 0,751$, $F(5,40) = 24,070$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,751$).</p> <p>Condition dynamique vs condition statique</p> <p>Des tests univariés intra-sujet ultérieurs par condition ont montré des différences significatives pour le taux de réussite ($F(1,44) = 81,567$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,650$), la motivation ($F(1,44) = 6,662$, $p = 0,013$, $\eta^2 = 0,132$), la frustration ($F(1,44) = 9,670$, $p = 0,003$, $\eta^2 = 0,180$), et l'effort mental ($F(1,44) = 43,741$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,499$) en faveur de la condition dynamique.</p> <p>Seules les filles montrent une augmentation significative de la motivation $t(23) = -3.709$, $p = 0.001^*$, $d = 0.612$ et une diminution de la frustration dans la condition dynamique $t(23) = 3.167$, $p = 0.004^*$, $d = 0.551$</p>
<p>Clingan-Siverly, et al., (2021)</p> <p>Etats-Unis</p>	<p>N=40</p> <p>Typique : N=20</p> <p>Prématuré : N=20</p> <ul style="list-style-type: none"> 3-5 ans 	<p>Comparer les aptitudes de rotation mentale, le langage spatial, et les gestes utilisés par des enfants typiques et des enfants prématurés</p>	<p>Dyade parent-enfant</p> <p>Groupe expérimental</p>	<p>Faire un puzzle avec le parent pendant 5 minutes</p> 	<p>Différence entre les deux groupes</p> <p>Aucune différence significative n'a été constatée au niveau du langage entre les deux groupes d'enfants en fonction du statut de prématurité</p> <p>Aucune différence significative n'a été constatée entre les deux groupes d'enfants en fonction du statut de prématurité sur l'une ou l'autre des mesures de gestes.</p> <p>Facteur prédictif</p> <p>Le nombre de mots spatiaux est un facteur prédictif de la réussite $2.46 (1.10)^* p < 0.05$</p> <p>Les gestes spatiaux sont un facteur prédictif de la réussite $4.63 (1.98)^* p < 0.05$</p>
<p>Elia, et al., (2014)</p> <p>Chypre</p>	<p>N=1 (fille)</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 ans 	<p>Analyser quels sont les types de gestes produits pour décrire un espace et des formes lors d'une construction spatiale de formes géométriques</p>	<p>Cas unique</p>	<p>T1 construction d'une tour par un élève qui la décrit à son enseignante qui ne la voit pas (elle doit la reconstruire)</p> <p>T2 l'enseignante décrit</p> <p>T3 l'élève décrit à nouveau</p> 	<p>Production de gestes</p> <p>L'enfant a produit des gestes pendant toute la partie de l'activité dans laquelle elle jouait le rôle de descripteur. Cette constatation fournit des preuves supplémentaires des fortes interrelations entre la pensée géométrique et les gestes démontrées dans des études précédentes.</p> <p>On peut affirmer que les gestes de l'enfant, ainsi que son discours, ont agi comme des moyens sémiotiques d'objectivation pour accomplir avec succès la tâche de description donnée.</p> <p>Types de gestes</p> <p>Lorsque l'enfant décrit la forme (par exemple, un cylindre), l'orientation d'un bloc (par exemple, la direction horizontale), et les relations topologiques de proximité ou de séparation (par exemple, des formes attachées ou non), elle produit des gestes iconiques.</p> <p>Lorsque l'enfant décrit l'emplacement des blocs dans sa construction (par exemple, devant), elle produit des gestes déictiques.</p>

<p>Jansen & Kellner (2015)</p> <p>Allemagne</p>	<p>N=83 (39 garçons /44 filles)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 7;0-8;3 ▪ M=7;7 ▪ 9,0-10,11 ▪ M=9;8 	<p>Examiner si la rotation motrice et la rotation mentale partageant des processus communs et si ceux-ci dépendent de la capacité motrice des enfants</p>	<p>Groupe expérimental</p>	<p>Tâche adaptée de Frick et al. (2009). Animaux présentés sur l'écran, il faut déterminer si c'est le même par une rotation mentale. Parallèlement, les enfants tournent un joystick soit dans un sens compatible, soit non-compatible avec leur rotation mentale</p> 	<p>Différence filles-garçons Un effet principal pour le facteur "sexe" a été trouvé, $F(1,71) = 5.25$, $p < 0.05$, $\eta^2p = 0.07$. Les garçons ont tourné plus vite que les filles dans tous les groupes d'âge ($M = 192^\circ /s$, $SE = 13$ vs. $M = 153^\circ /s$, $SE = 11$).</p> <p>Réussite Différence significative $F(1,75) = 5,76$, $p < 0,05$, $\eta^2p = 0,07$ Les enfants plus jeunes ont fait plus d'erreurs que les enfants plus âgés ($M = 89\%$, $SE = 1,4$ vs. $M = 94,1\%$, $SE = 1,6$).</p> <p>Différence entre rotation manuelle et mentale compatible ou non Dans le groupe d'âge le plus jeune, le facteur "compatibilité" a révélé un effet principal significatif, $F(1,40) = 4.59$, $p < 0.05$, $\eta^2p = 0.10$. En outre, une interaction significative a été trouvée entre les facteurs "compatibilité" et "sexe", $F(1,40) = 5,89$, $p < 0,05$, $\eta^2p = 0.13$ En résumé, un effet significatif de la compatibilité du sens de rotation n'a été trouvé que pour les garçons de 7 à 8 ans.</p>
---	--	---	----------------------------	--	---

Annexe B : Tableau RER de la revue systématique sur le rôle des gestes dans la rotation mentale

Auteurs	Tâche	Résultats
<p>Broadbent et al., 2014</p> <p>Participants WS N= 20</p> <ul style="list-style-type: none"> CA 24,38 ans <p>Groupe contrôle MA N=68</p> <ul style="list-style-type: none"> 5-10 ans 	<p>Rotation mentale d'un petit singe de 0°, 45°, 135° et 180°. Les élèves doivent indiquer si les formes sont identiques</p> 	<p>TD performance en rotation mentale > WS performance en rotation mentale $F(4, 80) = 14.603, p < .001, \eta^2 \text{ partiel} = .422$</p>
<p>Stinton et al., (2008)</p> <p>Participants WS N= 15 10 ♂ / 5 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 9-38 ans ($M = 22.09$) <p>Groupe contrôle MA N=15 8 ♂ / 7 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> MA = 5-7 ans ($M = 6.04$ ans) 	<p>Deux types de formes sont présentées aux élèves. Des formes sans composantes saillantes comme la forme du haut ou des formes avec une composante saillante comme les deux formes du bas de l'image. La forme de droite est tournée soit de 0°, 60°, 120°, 180° et les élèves doivent indiquer si les formes sont identiques</p>  <p><small>FIGURE 1. Examples of stimuli (top: no salient component "same" trials; bottom: salient component "different" trials).</small></p>	<p>TD performance en rotation mentale > WS performance en rotation mentale $F(1, 28) = 4.45, p < .05 (\eta^2 \text{ partiel} = .14)$</p> <p>Performances des formes avec une composante saillante > performances des formes sans saillance chez les enfants TD $F(1, 28) = 25.44, p < 0.001 (\eta^2 \text{ partiel} = 0.48)$.</p> <p>Plus l'angle augmente, plus les performances diminuent $F(1, 28) = 21.30, p < 0.001$</p>
<p>Courbois et al., (2007)</p> <p>Participants DI N= 16 8 ♂ / 8 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 15.92 ans MA = 8.17 ans <p>Groupe contrôle MA N=18. 9 ♂ / 9 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 8 ans <p>Groupe contrôle CA N=16 8 ♂ / 8 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 16.5 ans 	<p>Deux types de formes sont présentées aux élèves. Des formes sans composantes saillantes comme la forme du haut ou des formes avec une composante saillante comme les deux formes du bas de l'image.</p>  <p>La forme de droite est tournée soit de 0°, 60°, 120°, 180°</p>	<p>Le taux d'erreur augmente avec la disparité angulaire pour 120° et 180° $F(3, 141) 33.02 ; p = .0001$ de manière plus importante chez le groupe DI MA vs. DI, $F(3, 141) 4.77, p = .01$, CA vs. DI, $F(3, 141) 9.35, p = .0001$.</p> <p>DI performance objet avec saillance > DI performance objet sans saillance</p>

<p>Uecker et al., (1994)</p> <p>Participants SD N= 10 8 ♂ / 2 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 8.4 ans MA = 3.1 ans <p>Participants troubles d'apprentissage (TA) N= 24 17 ♂ / 7 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 10.3 ans MA = 7.5 ans <p>Groupe contrôle CA N=22. 10 ♂ / 12 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 9.2 ans MA = 11.2 ans 	<p>Les élèves doivent indiquer si les formes sont identiques. Angle de rotation 0°, 45°, 315°, 135°, 180°, 225°, 90°, 270°</p> 	<p>CA Temps de réaction < TA temps de réaction $F(1, 44) = 8.17, p < 0.0065$ CA Temps de réaction < DS temps de réaction $F(1, 30) = 14.33, p < .0007$</p> <p>CA performance en rotation mentale > DS performance en rotation mentale $F(1, 30) = 38.17, p < 0.0001.$</p> <p>CA performance en rotation mentale > DS performance en rotation mentale $F(1, 32) = 12.15, p < 0.0014.$</p>
<p>Hinzel & Virji-Babzl (2004)</p> <p>Participants SD N= 7 3 ♂ / 4 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> CA = 29.8 ans MA = 8.18 ans <p>Groupe contrôle MA N=9 4 ♂ / 5 ♀</p> <ul style="list-style-type: none"> MA= 8.4 ans CA = 7.2 ans 	<p>Test de rotation mentale de Cooper and Shepard's (1973) avec la forme 'F' dans 8 orientations différentes (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) et les élèves doivent indiquer si les formes sont identiques</p> 	<p>Le temps augmente de manière significative avec la disparité angulaire dans les deux groupes $F(4,8) = 12.2, p = .004$</p> <p>Pas de différence significative dans le temps d'exécution entre TD et SD $F(1,13) = 1.87 (p = .192)$</p> <p>MA performance > SD performance $F(1,13) = 5.6 (p = .034)$ MA résultats corrects dans 96% des essais SD résultats corrects dans 76% des essais</p> <p>Âge mental corrélé à la réussite du test $r = .816, p < .05$</p>
<p>Synthèse</p>	<p>TD performance > DI performance (4/4) TD vitesse > DI vitesse (2/3) TD vitesse = DI vitesse (pour SD) (1/3) Performance avec un objet ayant une saillance plus élevée dans (2/2)</p>	

Annexe C : Tableaux RER de la revue systématique sur le rôle des gestes chez les élèves avec une DI

Etudes sur les élèves avec une déficience intellectuelle

Auteur	Participants	But	Design	Instruments	Résultats et interprétation
Hord et al., (2016) Midwest USA	4 LD (1 girl, 3 boys) ▪ Grade 8	Décrire les fonctions des gestes dans l'accès aux concepts mathématiques	Qualitative (exploratory) design	Analyse de vidéos Tâche mesurée Interactions enseignant-élève en classe lors de six leçons de géométrie	Fonction des gestes - Communiquer à propos d'un concept, en particulier lorsqu'il est nouveau - Décrire, expliquer et s'exprimer sur un concept - Faciliter la résolution de problèmes comportant plusieurs étapes en soulageant la mémoire de travail - Amener à traiter et à visualiser les données d'un problème
Vandereet et al.,(2011) Belgium	16 ID (8 girls, 8 boys) ▪ CA 3;1-5;7 years ▪ MA 1;5-3;3 years Dans les 16, 6 sujets ont un SD / 10 n'ont pas de diagnostic	Analyser les différences dans l'utilisation de la parole et des gestes dans deux types de situations (demander et commenter)	Longitudinal design (6T de mesure : chaque 4 mois pendant 2 ans)	BSID-II-NL SON-R 21/2-7 CDI/Words and Gestures-NL Tâche mesurée Deux tâches Lichtert (2004) and Lichtert and Loncke (2006) A) Le participant doit demander spontanément un objet ou une action B) Le participant doit commenter spontanément une vidéo (dessin animé)	Utilisation des gestes et du discours (longitudinal) Gestes : aucun changement n.s. $F(1,90.6) = 0,07, p = 0.7869$ Parole : augmentation sign. $F(1,13.8) = 11,10, p = 0.0050$ Gestes et parole : augmentation sign. $F(1,14.8) = 10,49, p = 0,0056$ et $F(1,13.3) = 7,52, p = 0,0165$ Nombre de gestes par situation Les gestes de pointage sont les plus utilisés Pour demander : gestes de pointage $M = 93.3 (13.1)$; Gestes iconiques $M = 1.3 (4.2)$ Gestes de pointage sign. plus élevé, $t(74) = 6.599, p < 0,0001$ Pour commenter : gestes de pointage $M = 73.8 (29.6)$; Gestes iconiques $M = 12.2, (18.5)$ Gestes iconiques sign. plus utilisés, $t(74) = -5,170, p < .0001$ Modalité d'expression par situation La modalité la plus utilisée dans les deux situations est le geste seul Pour demander : Gestes $M = 57.5 (33.8)$; Discours $M = 9.9 (15.6)$; Gestes et discours $M = 32.5 (25.0)$ Pour commenter : Gestes $M = 51.2 (38.8)$; Discours $M = 30.6 (32.5)$; Gestes et discours $M = 18.2 (22.8)$ Fonction des gestes (longitudinal) Redondante : aucun changement $F(1,11.2) = 1,56, p = 0,2366$ Supplémentaire : augmentation sign. $F(1, 13.6) = 10,73, p = 0,0057$
Saletti et al., (2007) Italy	6 children with bilateral perisylvian polymicrogyria (3 girls, 3 boys) ▪ CA 7;9-12;4 years ▪ MA 3;6-7;6 years	Étudier la communication gestuelle et verbale	Recherche expérimentale	Examen IRM Leiter-3 PPVT-R Évaluation linguistique* MacArthur-Bates CDI-I	Types de gestes Tous les sujets utilisent les gestes de pointage et les gestes iconiques. Fonctions des gestes Production langagière défectueuse et production gestuelle défectueuse, pas de compensation par les gestes, même si pour quatre participants sur les six, les gestes constituent la seule modalité expressive. Les lésions bilatérales de la zone corticale impliquées dans plusieurs

				Tâche mesurée Séance de jeu d'une heure	aspects du langage oral compromettent aussi le développement spontané des gestes communicatifs et/ou symboliques.
Manghi Haquin et al., (2019)	30 DI, mais 5 présentés dans l'article (4 girls, 1 boy) ▪ CA 6;3-9;10 years	Examiner la fonction de diverses ressources sémiotiques (gestes et discours) dans des récits narratifs	Design qualitatif faisant partie d'une étude mixte	Tâche mesurée Raconter un livre d'images (2x) à 6 mois d'intervalle après l'avoir regardé avec l'adulte et avoir vu un film sur le livre.	Fonction des gestes Les gestes sont une ressource communicative et sont utilisés avec une intention narrative et/ou comme supports représentatifs. Les sous-unités gestuelles identifiées se présentent sous forme d'unités statiques (pointages simples), dynamiques linéaires (pointages avec déplacement), dynamiques circulaires (pointage avec déplacement circulaire) ou de pantomime. Les gestes « static and dynamic vectors » visent à décrire ou désigner des éléments présents dans l'image et/ou la relation manifeste qui unit ces éléments. Les gestes « contact gestures for new vectors » sont utilisés pour suggérer la possibilité de relier certains éléments entre eux (établissement ou inférence de nouveaux liens). Les « complex semiotic ensemble » sont utilisés pour rendre compte de façon narrative de certaines informations et/ou inférences de façon articulée et spatio-temporellement située. Les « semiotic ensemble for mental projections » sont utilisées pour créer un espace narratif nouveau qui permet de donner des significations nouvelles aux éléments.

Notes: LD= learning disabilities; ID = intellectual disability; CA = chronological age; MA = mental age;

BSID-II-NL = Mental Scale of the Bayley Scales of Infant Development—Second Edition—Dutch version (van derMeulen et al. 2002); SON_R 21/2-7 = Snijders–Oomen Nonverbal Intelligence Test (Tellegen et al. 1998); CDI/Words and Gestures-NL = (Dutchversion) (Zink and Lejaegere 2002); Mac-Arthur Bates = Italian version of MacArthr-Bates Communicative Developmental Inventory, gestures and words form; DCE = Dynamic communication evaluation; PFLI = prove per la valutazione del linguaggio infantile; Leiter-3 = Leiter International Performance Scale (Stoelting Co , 1979) ; PPVT-R = Peabody Picture Vocabulary Test – Revised (Stella et al, 2000) ; Evaluation linguistique* = Prove di valutazione della comprensione linguistica (Rustioni, 1994)

Etudes chez les enfants ayant un syndrome de Williams

Auteur	Participants	But	Design	Instruments	Résultats et interprétation
Mastrogiuseppe & Lee (2017) Italy	11 WS <ul style="list-style-type: none"> CA 8-39 years MA 4;5-7;4 years 11 CATD <ul style="list-style-type: none"> CA 8.4-39 years 11 MATD <ul style="list-style-type: none"> MA 4;6-7;8 years 	Examiner la fonction des gestes dans la communication et la cognition spatiale	Causal research Between groups	Leiter-3 -R PPVT BNT Gesture behaviour, speech behaviour and relationship gesture-speech (semantic, temporal) during a narrative retelling task Tâche mesurée Raconter un dessin animé	<p>Nombre de mots CA produisent sign. plus de mots $F(2,30) = 16.74, p < .001$ que WS ($p = 0.001$). WS idem que MA WS ($p = .001$) et MA ($p = .005$) sign moins de mots spatiaux que CA $F(2,30) = 7.49, p = .002$</p> <p>Nombre de gestes WS ont produit sign. plus de gestes dans toutes les catégories $F(2,30) = 7.62, p = 0.002$ que MA ($p = 0.015$) et que CA ($p = 0.003$)</p> <p>Type de gestes WS ont produit sign. plus de gestes représentatifs $F(4,120) = 8.27, p < 0.001$ par rapport à MA ($p = 0.016$) et CA ($p = 0.001$)</p> <p>Gesture-speech relations Gestes seuls : WS ont produit sign. plus de gestes seuls $F(2,60) = 4.28, p = 0.005$ par rapport à MA ($p = 0.044$) et à CA ($p = 0.003$).</p> <p>Moment d'apparition des gestes in co-speech productions WS sign. plus de gestes représentatifs qui anticipent le discours $F(2,60) = 63.78, p < 0.001$ que MA ($p < 0.001$) et CA ($p < 0.001$)</p> <p>Fonction des gestes WS sign. plus de gestes ayant un contenu spatial $F(1,30) = 7.19, p = .003$ que MA ($p < 0.001$) et CA ($p < 0.001$) WS produit sign. plus de gestes qui complètent le discours $F(1,30) = 528.17, p < 0.001$ que MA ($p < 0.001$) et CA ($p < 0.001$)</p>
Bello, Capirci & Volterra (2004) Italy	10 WS (7 girls / 3 boys) <ul style="list-style-type: none"> CA 9;5-12;9 years MA 4;6-7;2 years 10 CATD (7 girls / 3 boys) <ul style="list-style-type: none"> CA 9-12;5 years 10 MATD (7 girls / 3 boys) <ul style="list-style-type: none"> MA 4;9-7;5 years 	Analyser l'utilisation spontanée de gestes co-verbaux dans une tâche de dénomination	Causal research Between groups	WISC-R WPPSI Beery VMI Noun and gesture coding Tâche mesurée Boston Naming Task : 60 dessins représentant des noms à dire	<p>Nombre de gestes WS M = 524 (18.49) ont produit plus de gestes que le groupe MA M = 445 (31.55) ($p = 0.08$) et sign plus que le groupe CA M = 293 (13.77). $F(1,18) = 0.9, p = 0.03$</p> <p>Type de gestes Geste de pointage sign. plus produits que les gestes iconiques, interactifs-conventionnels, etc. dans les trois groupes $F(4, 108) = 22.09, p < 0.001$. WS M = 26.4, range 4–55; MA M = 33.4, range 3–70; CA M = 11.4, range 0–24 Gestes iconiques sign. plus produits $F(8, 108) = 2.87, p < 0.006$ chez WS (M = 6,7, range 4–11) que chez MA (M = 1, range 1–5) et CA (M = 2, range 1–4), $p = 0,001$</p> <p>Fonction des gestes La majorité des gestes iconiques (86) représentait la fonction d'un objet, contre (11) pour la représentation d'un objet</p>

Notes: WS = Williams syndrome; TD = Typical Development children; DLD = Children with Developmental language Disorder; CA = Chronological Âge; MA = Mental Âge; Leiter-3 = Leiter International Performance Scale (Roid et al., 2013); PPVT = Peabody Picture Vocabulary Test (Dunn & Dunn, 2007); BNT = Boston Naming Task (Kaplan et al., 1983); WISC-R = Wechsler Intelligence Scale for Children-Revised (Wechsler, 1974); WPPSI = Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence ; Beery VMI = Coordination visuo-motrice et perception visuelle

Etudes chez les élèves ayant un syndrome de Down

Auteur	Participants	But	Design	Instruments	Résultats et interprétation
Stefanini, Caselli & Volterra (2007) Italy	<p>15 SD (7 filles / 8 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> CA 3;8-8;3 ans MA 2;6-4;3 ans Exclus : troubles du langage, épilepsie, troubles psychiques <p>15 CATD (7 filles / 8 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> CA 4;0-8;7 ans <p>15 MATD (7 filles / 8 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> MA 2;6-4;4 ans 	Analyser les fonctions des gestes dans la production langagière, en particulier la précision lexicale	<p>Causal research</p> <p>Between groups</p>	<p>Leiter or Forme L de Stanford-Binet</p> <p>Production verbale (exactitude de la dénomination)</p> <p>Production gestuelle (nombre, type)</p> <p>Relation entre la parole et le geste</p> <p>Tâche mesurée Lexical production task (LPT) (Stefanini, Bello, Miozzi et Caselli, 2004)</p>	<p>Nombre de gestes Diff. sign. $F(2, 42) = 13.55, p < .001$. DS (M=32.4) plus de gestes que MATD (M = 21.2) $p < 0.05$ et que CATD (M=7.1) DS group sign. plus de gestes que MATD ($p < .05$) et que CATD ($p < .001$). MATD sign. plus de gestes que CATD ($p < .01$).</p> <p>Type de gestes Le pointage est le type de geste le plus fréquent dans les trois groupes DS sign. plus de pointage ($p < 0.001$) et d'iconiques ($p < 0.01$) que d'autres gestes (battements) $F(4,84) = 3.93, p < .01$ DS (M=14.9, range 4-43) ($p < 0.001$) et MATD (M=12.8, range 2-29) ($p < 0.01$) sign. plus de pointage que CATD (M=2.8, range 0-9) DS sign. plus d'iconiques que MATD ($p < .05$) et CATD ($p < .01$)</p> <p>Modalité d'expression Dans tous les groupes, discours seul > bimodal > gestes seuls <i>Gestes seuls</i> : DS sign. plus que U(28) = 23.5, $p < 0.001$ et sign, plus élevé que MATD U(28) = 29, $p < 0.001$ <i>Bimodal</i> : DS sign. plus que CATD U(28) = 22, $p < 0.001$ et égal pour MATD U(28) = 94, $p > .05$ <i>Discours seul</i> : DS sign. moins que CATD U(28) = 18, $p < 0.001$ et MATD U(28) = 72, $p = .09$, mais n.s</p> <p>Fonctions des gestes DS sign. plus des gestes iconiques concordants (67 gestes) que MATD (8 gestes) : U(28) = 25.5, $p < 0.001$</p> <p>DS discours et gestes concordants dans 130 productions et non-concordants dans 21 productions.</p>

Stefanini Recchia & Caselli (2008) Italy	<p>15 SD (7 filles / 8 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> CA 3;8-8;3 ans MA 2;6-4;3 ans Exclus : troubles du langage, épilepsie, troubles psychiques <p>15 MATD (7 filles / 8 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> MA 2;6-4;4 ans <p>15 LATD (7 filles / 8 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> LA 1;9-2;6 ans 	Examiner la relation entre la production de gestes spontanés et la capacité lexicale orale	Causal research Between groups	<p>Leiter Forme L de Stanford-Binet</p> <p>PVB MacArthur-Bates CDI-I</p> <p>Words and Sentences" Short Form Réponses orales (précision). Réponses gestuelles (nombre, type)</p> <p>Tâche mesurée Picture Naming Task (PNT)</p>	<p>Nombre équivalent de réponses – toutes modalités confondues - entre les groupes</p> <p>Nombre de gestes Diff. sign. entre les groupes $F(4,42) = 3.69, p < 0.05$ LATD ($M=42$) plus de gestes que MATD ($M = 21.2$) $p < 0.05$ DS ($M= 32.4$) plus de gestes que DATD ($M=21.2$), mais n.s</p> <p>Type de gestes Diff. sign. $F(2,42) = 7.58, p < 0.1$ entre les proportions de types de gestes et les groupes : DS ($M=23.9$ (19.8) autant de gestes de pointage qu'iconiques en proportion $p > 0.05$) MATD $M=5.3$ (5.1) et LATD $M=34.9$ (21) sign. plus de gestes de pointage $p < 0.001$ DS $M=11.7$ (8.4) sign. plus de gestes iconiques que LATD $M=8.7$ (11.7) $p < 0.01$ et que MATD $M=5.3$ (5.1) $p < 0.001$ et moins de gestes de pointage que TD $p < 0.001$</p> <p>Modalité d'expression Interaction sign. entre le facteur « groupe » et le facteur « modalités d'expression » : $F(4,84) = 4.24, p < 0.05$ <i>Gestes seuls</i> : DS sign. plus de gestes seuls que LATD et MATD $p < 0.001$ <i>Bimodal</i> : LATD sign. plus $p < 0.001$ que DS et DS plus que MATD $p < 0.001$ <i>Discours seul</i> : MATD sign. plus que DS $p < 0.001$ et DS plus que LATD $p < 0.001$</p>
Iverson, Longobardi & Caselli (2003) Italy	<p>5 SD (2 filles / 3 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> CA 3;1-4;8 ans MA 1;6-2;3 ans <p>5 TD (2 filles / 3 garçons)</p> <ul style="list-style-type: none"> CA 1;6-2;3 ans LA 1;4-1;8 ans 	Examiner la relation entre le langage et les gestes à des niveaux similaires de développement du langage chez les enfants avec DS et les enfants typiques	Causal research Between groups	<p>Brunet-Lézine scale PVB CDI</p> <p>Réponses verbales (fréquence de production, taille du répertoire)</p> <p>Réponses gestuelles (fréquence de production, taille du répertoire)</p> <p>Tâche mesurée Enregistrement vidéo (30') d'une communication spontanée entre l'enfant et sa mère</p>	<p>The total amount communications produced during the 30-min sessions (words +gestures) was relatively comparable across the two groups ($p>.05$)</p> <p>Nombre de gestes (tous types confondus) : DS $M =58.8$ (29.20); TD $M=66.0$, (47.72) ; $U=10$ n.s Nombre de mots (tous types confondus) : DS $M =44.2$ (13.31); TD $M=45.0$ (31.99) n.s</p> <p>Types de gestes Children with DS had fewer representational gestures in their repertoires relative to TD children ($p<.04$) Deictic words were entirely absent from the vocabularies of all of the children with DS, but they were produced by four of the five TD children ($p<.02$).</p> <p>Nombre de gestes par type Gestes de pointage : DS $M=33.2$ (20.5) et TD $M=42.6$ (24.75) $U=9$ diff. n.s Gestes iconiques : DS $M=25.6$ (19.2) et TD $M=23.4$ (24.4) $U=12$ diff. n.s</p> <p>Modalité d'expression <i>Bimodal</i> : la combinaison geste-mot est plus fréquente que la combinaison unimodale à 2 mots ou à deux gestes Indépendamment du groupe (DS $M=17.0$ (11.66) et TD $M=18.4$, (15.98))</p> <p>Fonctions des gestes DS utilisent plus la redondance $M= 11.4$ (13.09) que la précision $M=5.2$ (6.8) ou le supplément $M=0.6$ (0.89), TD utilisent plus la précision $M=10.4$ (19.36) que le supplément $M=5.6$ (6.8) et que la redondance $M=5.2$ (3.70). Les gestes avec fonction de supplément sont rares et significativement moins fréquents chez les enfants DS ($p<.05$). Les enfants DS produisent plus de redondances, mais la différence n'est pas significative.</p>

Galeote et al., (2008)	66 SD (26 filles / 40 garçons) <ul style="list-style-type: none"> CA 2;1-4;8 ans MA 1;2-2;4 ans Exclus : troubles neuro-sensoriels et troubles psychiques	Comparer l'usage des gestes et du discours dans le développement lexical chez des enfants atteints de SD et des enfants TD	Causal research Between groups	Brunet-Lézine PDS-R Tâche mesurée. CDI Les parents remplissent un questionnaire mesurant le développement lexical et gestuel Nombre total de mots (dans les modalités orales ou gestuelles)	Nombre de mots Les parents rapportent que leurs enfants DS produisent un nombre de mots $M=147,79$ inférieur à celui produit par les enfants TD $M=169,62$, mais diff. n.s Nombre de gestes À âge mental comparable, les parents des enfants DS $M=54.12$ (43.59) rapportent que leurs enfants produisent sign. plus de gestes $F(1,132) = 15.15$, $\eta^2 = 0.110$, $p < .000$, que les parents des enfants TD $M=27.17$ (36.67) Modalité d'expression <i>Gestes seuls</i> : Les parents rapportent que les enfants DS $M=54.12$ (43.59) utilisent plus les gestes seuls que les enfants TD $M=27.17$ (36.67) <i>Modalité bimodale</i> : Les parents des enfants DS et TD ne rapportent pas de différence significative concernant l'utilisation bimodale : DS $M=201.91$ (162.37) et TD $M=196.63$ (161.72) n.s <i>Discours seul</i> : Les parents des enfants DS et TD ne rapportent pas de différence significative concernant le discours seul : DS $M=147.79$ (170.20) TD $M=169.62$ (174.29) n.s
Galeote et al., (2011)	186 SD (89 filles / 97 garçons) <ul style="list-style-type: none"> CA 0;11-5;9 ans MA 0;8-2;5 ans Exclus : troubles neuro-sensoriels et troubles psychiques	Comparer le développement lexical d'enfants atteints de DS et d'enfants TD	Causal research Between groups	Brunet-Lézine PDS-R Tâche mesurée CDI Les parents remplissent un questionnaire mesurant le développement lexical et gestuel (compréhension lexicale, production orale, production gestuelle, production orale+gestuelle)	Pas de différence globale entre les deux groupes. L'absence d'interaction significative suggère que les enfants atteints de SD et les enfants TD, dans l'ensemble, se comportaient de manière similaire. Les niveaux de production orale, de production gestuelle et de production gestuelle orale étaient similaires aux premiers âges, la production gestuelle orale a dépassé les autres à partir de 17-19 mois, et la production orale a dépassé la production gestuelle à partir de 20-22 mois. Nombre de mots (seuls) Pas de différence significative rapportée par les parents des enfants DS $M=104.56$ (156.77) et les parents des enfants TD $M=114.52$ (157.33) concernant le nombre de mots produits par les enfants. Nombre de gestes (seuls) Les parents des enfants DS $M=40.6$ (34.93) rapportent sign. plus de gestes chez leur enfant que les parents des enfants TD $M=23.56$ (19.75) $F(\text{corrected df} = 2.035, 728.52) = 7.57$, $p < .000$, $\eta^2_p = 0.021$ Modalité d'expression <i>Bimodale</i> : Les parents des enfants DS $M=132.66$ (154.26) rapportent plus de productions bimodales que les parents des enfants TD $M=127.65$ (152.88) mais n.s

Notes : SD = Syndrome de Down; TD = Typical Development children; CA = Chronological Âge; MA = Mental Âge; DA = Developmental Âge; LA = Lexical Ability

Leiter-3 = (Leiter, 1979) ; Forme L de Stanford-Binet = Italian version of the L-M form of Stanford-Binet Intelligence Scale (Bozzo & Mansueto Zecca, 1993) ; PNT = Picture Naming Task ; PVB = Il Primo Vocabolario del Bambino" (Caselli & Casadio, 1995); MacArthur-Bates CDI-I = Italian version of the MacArthur-Bates Communicative Development Inventories (Fenson et al., 1994); Words and Sentences" Short Form = (Caselli, Pasqualetti, & Stefanini, 2007) ; LPT =Lexical Production Task (Stefanini, Bello, Miozzi et Caselli, 2004); Brunet-Lézine scale (Brunet and Lézine 1955/1967); PDS = Brunet-Lézine Psychomotor Development Scale (Josse, 1997)

Introduction

Bonjour,

Merci d'avoir accepté de travailler un moment avec moi.

Après chaque tâche, je te demanderai de me raconter ce que tu as fait.

Je te poserai des questions pour savoir comment tu réfléchis.

Je te poserai aussi des questions pour savoir si les exercices sont intéressants pour toi ou non. Tes réponses peuvent aider les autres élèves.

Tâche 3

Consigne

Phase d'appropriation de la consigne par un exemple avec un P



Prise d'informations

Tu sais ce que c'est ? Une lettre P.

Tu peux prendre cette lettre P dans la main et la tourner pour la regarder. C'est bon pour toi ?



Réalisation de la tâche

Maintenant, tu vois une autre lettre P dans une position différente.

Est-ce que c'est la même que le modèle P ? Tu peux m'expliquer pourquoi ?



Tu peux la tourner pour la mettre dans la même position que le modèle.

Idem avec la 2^{ème} lettre.

Entretien cognitif



Peux-tu me raconter comment tu as fait ?

Est-ce que pour toi celle-là c'est la même? Comment le sais-tu ? Comment est-ce que tu vois que ce n'est pas la même?

Qu'est-ce qui t'a permis de choisir cette réponse ?

Ca m'intéresse de savoir ce qui t'a aidé, si l'on veut l'expliquer à un autre enfant .

Niveau 1

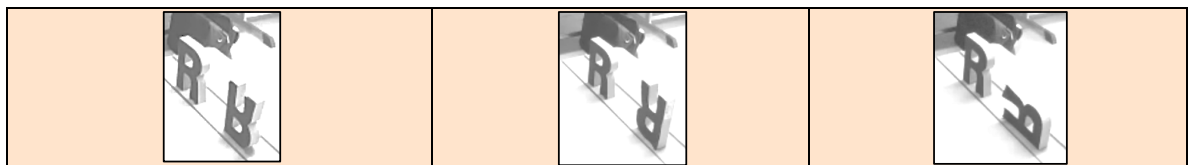


Prise d'informations

Tu sais ce que c'est ? Une lettre R.

Tu peux prendre cette lettre R dans la main et la tourner pour la regarder. C'est bon pour toi ?

Réalisation de la tâche



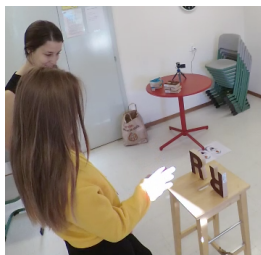
Maintenant, tu vois une autre lettre R dans une position différente.

Est-ce que c'est la même que le modèle R ? Tu peux m'expliquer pourquoi ?

Tu peux la tourner pour la mettre dans la même position que le modèle.

Idem avec la 2^{ème} lettre.

Entretien cognitif



Peux-tu me raconter comment tu as fait ?

Est-ce que pour toi celle-là c'est la même? Comment le sais-tu ?
Comment est-ce que tu vois que ce n'est pas la même?

Qu'est-ce que tu as fait dans ta tête ?

Qu'est-ce qui t'a permis de choisir cette réponse ?

Ca m'intéresse de savoir ce qui t'a aidé, si l'on veut l'expliquer à un autre enfant

Niveau 2



Prise d'informations

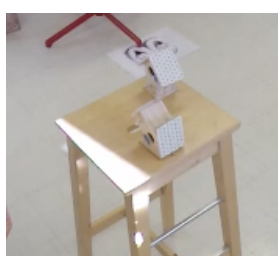
L'enfant peut prendre dans la main l'objet de référence (une maison) et la tourner comme il le souhaite (l'explorer).

Tu peux prendre cette maison dans la main et la tourner pour la regarder sous différents angles. C'est bon pour toi ?

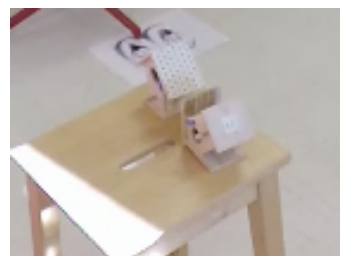
Réalisation de la tâche



Non (volet)



Non (toit)



Oui

Maintenant, tu vois d'autres maisons dans différentes positions. C'est comme si elles étaient tombées de mon sac. Celle que tu avais dans la main c'est le modèle-

Est-ce que celle-là (la première) c'est la même que le modèle? Tu ne peux pas toucher les maisons.

Entretien cognitif



Peux-tu me raconter comment tu as fait ?

Est-ce que pour toi celle-là c'est la même? Comment le sais-tu ?
Comment est-ce que tu vois que ce n'est pas la même?

Qu'est-ce que tu as fait dans ta tête ?

Qu'est-ce qui t'a permis de choisir cette réponse ?

Ca m'intéresse de savoir ce qui t'a aidé, si l'on veut l'expliquer à un autre enfant

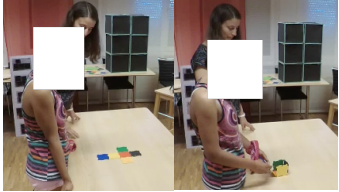
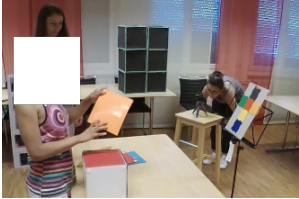
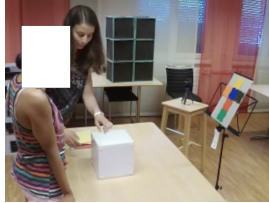
Annexe E: Description des deux autres tâches de la batterie (orientation et visualisation spatiales)

Première tâche « autour des cubes » mesurant l'orientation spatiale

		
Exploration de la construction	Réalisation de la tâche (niveau 1)	Réalisation de la tâche (niveau 2)
<p>L'élève voit une construction de six cubes devant lui. Avec l'expérimentateur, il tourne autour de la construction afin d'observer celle-ci depuis 4 points de vue différents (devant, gauche, arrière, droite). Cet arrangement de cubes a été choisi pour que ces 4 points de vue soient distincts les uns des autres.</p>	<p>Niveau 1 : L'élève se place derrière un lutrin sur lequel sont posées des photos illustrant différents points de vue de la construction (vue de devant, gauche, arrière, droite et une vue erronée). L'expérimentateur se déplace dans les différentes positions et l'élève (qui ne peut plus se déplacer) doit choisir parmi les photos, celle qui correspond au point de vue de l'expérimentateur. La première question posée est toujours d'identifier la photo qui correspond au point de vue de l'élève afin de s'assurer que le transfert entre la photo et la construction 3D ne pose pas de problème à l'élève.</p>	<p>Après un nouveau tour de la construction, l'élève se place face au lutrin sur lequel sont représentés (en vues de face) les 4 points de vue de la construction. L'expérimentateur se déplace autour de la construction en s'arrêtant sur les 4 points de vue. L'élève (qui ne peut plus se déplacer) doit identifier le dessin qui correspond à chaque point de vue de l'expérimentateur.</p>


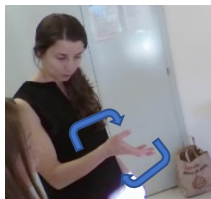


Les questions métacognitives sont identiques pour toutes les tâches (par exemple : Qu'est-ce qui te permet de choisir cette photo / Comment fais-tu pour choisir cette photo ? Es-tu sûr-e de ton choix etc.) sont adressées directement à l'élève après chacune de ses réponses.

Deuxième tâche « du patron au cube » mesurant la visualisation spatiale

		
Exploration du patron	Réalisation de la tâche (niveau 1)	Réalisation de la tâche (niveau 2)
<p>L'élève reçoit le patron d'un cube construit avec des polydrons²¹ posé devant lui. Chaque face présente une couleur différente. L'expérimentateur demande à l'élève de construire le cube.</p>	<p>Niveau 1 : Le patron du cube est placé sur un lutrin (en position verticale devant l'élève). L'expérimentateur donne à l'élève un cube blanc réalisé en carton. L'élève doit placer les couleurs correspondant aux couleurs présentes sur le patron. L'une des faces est déjà complétée (en rouge). Le cube blanc est mobile, l'élève peut l'orienter et le tourner comme il le souhaite.</p>	<p>Niveau 2 : L'élève dispose du patron du cube posé face à lui en position verticale. Il doit placer les couleurs sur le cube blanc, mais cette fois le cube blanc est fixé à la table. Il ne peut plus ni le manipuler, ni l'orienter. Il doit donc effectuer des rotations mentales.</p>

²¹ Polygones articulables

Annexe F : Consignes gestuelles autorisées ; exemple pour la tâche de rotation mentale

Protocole des gestes et consignes de la chercheuse				
Relations spatiales		Phase A : Prise d'information	Réalisation de l'exercice	Entretien cognitif
Exemple : consignes	Mots	Tu sais ce que c'est ? Une lettre P. Tu peux prendre cette lettre P dans la main et la tourner pour la regarder. C'est bon pour toi ?	Maintenant, tu vois une autre lettre P dans une position différente. Est-ce que c'est la même que le modèle P ? Tu peux m'expliquer pourquoi ? Montre-moi comment tu la tournerais pour la mettre dans la même position que le modèle.	Peux-tu me raconter comment tu as fait ? Est-ce que pour toi celle-là c'est la même ? Comment le sais-tu ? Comment est-ce que tu vois que ce n'est pas la même ? Qu'est-ce que tu as fait dans ta tête ? Qu'est-ce qui t'a permis de choisir cette réponse ?
	Gestes	 Geste de pointage en direction du P ou placement de P devant l'élève	 1 Geste de rotation pour montrer ce que j'entends par tourner la forme	Je peux reprendre les gestes que l'élève fait
Niveau 1 et niveau 2 : consignes	Mots	Tu sais ce que c'est ? Une lettre R. Tu peux prendre cette lettre R dans la main et la tourner pour la regarder. C'est bon pour toi ?	Maintenant, tu vois une autre lettre R dans une position différente. Est-ce que c'est la même que le modèle R ? Tu peux m'expliquer pourquoi ? Tu peux me montrer avec ta main comment tourner la forme pour la mettre dans la même position le modèle. Idem avec la 2ème lettre.	Peux-tu me raconter comment tu as fait ? Est-ce que pour toi celle-là c'est la même ? Comment le sais-tu ? Comment est-ce que tu vois que ce n'est pas la même ? Qu'est-ce que tu as fait dans ta tête ? Qu'est-ce qui t'a permis de choisir cette réponse ?
	Gestes	 1) Geste de pointage en direction du R ou placement du R devant l'élève 2) Geste iconique indiquant que l'élève peut tourner la forme dans sa main	 Je montre simplement ma main à l'élève pour montrer qu'il peut utiliser sa main pour faire le geste de rotation. Je fais ce geste uniquement si l'élève n'utilise pas ses mains pour me montrer la rotation	Je peux reprendre les gestes que l'élève fait

Annexe G : Exemple d'analyse à priori et à postériori des tâches





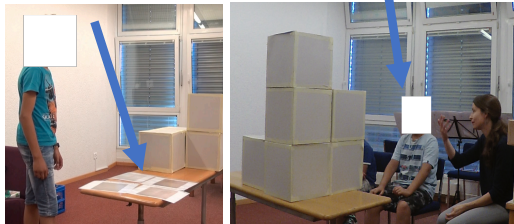



Analyse didactique: A priori	
Tâche : Orientation spatiale (version actuelle de la tâche)	
Procédures envisagées et difficultés potentielles pour résoudre la tâche	<p>Phase d'appropriation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'élève tourne autour de la construction en décrivant ce qu'il voit. • L'élève tourne autour de la construction en pointant les cubes. • L'élève tourne autour de la construction sans parler, ni pointer de cube. • L'élève s'arrête à chaque côté de la construction. • L'élève tourne autour des cubes sans réellement les regarder et sans s'arrêter en face de chaque point de vue. • L'élève demande de revenir en arrière pour comparer les différents points de vue. • L'élève ne perçoit pas le sens de cette phase et tourne autour sans prendre de repères (afin de prévenir cette difficulté, des repères seront mis devant chaque point de vue et l'élève devra s'y arrêter). • L'élève pense qu'il va devoir se souvenir des différents côtés par cœur, • L'élève ne se projette pas dans la tâche puisque cette phase vient avant la consigne de l'exercice (retrouver les photos) (Pour remédier à cette difficulté, lui demander de décrire (en mots ou en gestes) ce qu'il voit depuis chacun des points de vue lorsque l'on tourne autour de la construction et tourner moi aussi avec lui. <p>Exemple</p> <p>Choix d'une construction de 4 cubes dont les 4 vues diffèrent dans une perspective 3D. Choix de 4 photos représentant les 4 vues de la forme dans le mauvais ordre. (Il a été testé de proposer une vue sans qu'il y ait sa photo, mais cela perturbait l'élève et ne lui permettait pas d'approfondir la tâche). Il est vérifié que l'élève identifie correctement la photo de la vue qu'il a lui afin de garantir qu'il n'y ait pas de biais dû au changement de registres sémiotiques photo-construction 3D).</p> <p>Niveau 1</p> <p>Une construction de 6 cubes est proposée à l'élève, la construction a été choisie pour qu'elle présente 4 vues différentes à la fois en perspective et à la fois en vue de face (en 2D). L'élève a ensuite un panneau avec 5 photos différentes (une erronée) représentant les différentes vues comme il a pu les voir avant dans la phase de prise d'information.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'élève a envie de retourner voir les différents points de vue (ce n'est pas possible, puisque la tâche demande à faire tourner la forme, donc prévenir cet aspect en lui disant qu'il ne peut plus bouger) • L'élève va décrire (avec des mots et/ou avec des gestes) les cubes que je vois et chercher dans les images l'une qui correspond aux photos qu'il a devant lui • L'élève n'arrive pas à entrer dans la tâche et me montre toujours ce qu'il voit lui (dans ce cas, lui permettre de refaire le tour de la construction) • L'élève ne parvient pas à inverser la gauche et la droite lorsque je suis en face de lui • L'élève ne parvient pas à faire le lien entre l'image et la construction réelle (une vérification est prévue en lui demandant ce qu'il voit depuis sa position afin

	<p>d'être sûr que le problème n'est pas dû à la photo (changement de registre sémiotique), puisqu'il arrive bien à identifier son point de vue)</p> <p>Niveau 2</p> <p>La même construction de 6 cubes est proposée à l'élève ; cette fois il doit choisir parmi des vues de face représentées de manière schématique (carré blanc en 2D) enlevant l'aspect de perspective et de 3 dimensions.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'élève ne parvient pas à effectuer le changement de registre et ne trouve pas d'images correspondant à sa vision (il manque le petit cube devant). Dans ce cas, il est prévu de lui demander ce qui ressemblerait le plus et de lui expliquer que les cubes ont été aplatis et donc qu'on ne voit plus la perspective. • L'élève identifie correctement son point de vue et comprend l'exercice, mais se trompe dans les phénomènes gauche-droite puisqu'à ce niveau ce qui différencie la vue 1 et la 3, mais également la 2 et la 4 c'est la position des trois cubes respectivement à gauche ou à droite. <p>Niveaux intermédiaires envisagés</p> <p>Afin de ne pas provoquer de changement de registres, des variantes de la tâche ont été envisagées et testées.</p> <p>Dans la première, l'élève a devant lui une construction de cubes sur un plateau tournant. Il doit orienter son plateau pour que la vue qu'il a de la grande construction corresponde au point de vue de la petite.</p> <p>Ensuite, le chercheur se place depuis un autre point de vue et l'élève doit tourner la petite construction pour mettre face à lui la vue que le chercheur a.</p> <p>Cette présentation a l'avantage de permettre à l'élève d'effectuer réellement la rotation comme celle que le chercheur effectue. Il est remarqué que pour certains élèves cela facilite la tâche puisqu'ils effectuent correctement la rotation d'un quart de tour, ils n'ont donc pas à choisir parmi plusieurs représentations (dont certaines peuvent être erronées), la construction présente devant lui est la bonne, il s'agit simplement de l'orienter correctement.</p> <p>Mais pour d'autres, il est très difficile de mettre face à eux le point de vue du chercheur, ils ont envie de laisser la construction identique à ce qu'ils voient, surtout pour la position 3 (en face) ce qui ne représente pas une rotation mentale de la figure.</p> <p>Le seconde variante envisagée est de proposer les constructions en 3D devant le sujet comme les photos. Il est intéressant d'observer dans les passations des élèves que cette présentation ne semble pas changer la performance par rapport à la présentation des photos. En effet, la difficulté de la tâche reste toujours la rotation mentale de la figure et que celle-ci soit présentée en 3D ou en 2D ne change pas la difficulté. Si l'élève n'arrive pas à imaginer les cubes depuis un autre point de vue que le sien, il rencontre des difficultés identiques que ce soit avec une représentation photo ou une représentation en 3D. Pour certains élèves même la réussite est moins bonne avec les cubes en 3D, car les parties normalement invisibles (cubes cachés) sont présents dans la représentation 3D alors qu'ils étaient absents des photos.</p>
--	---

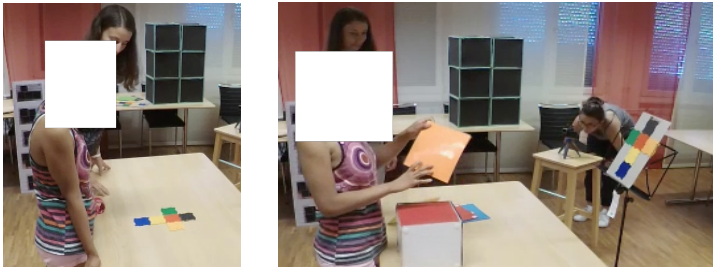
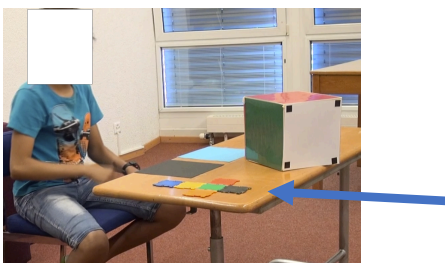
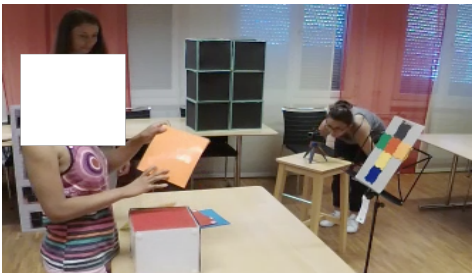
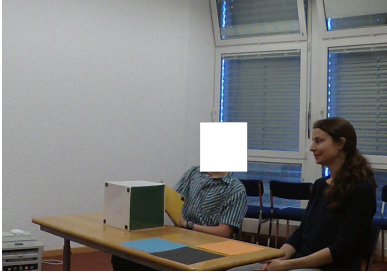
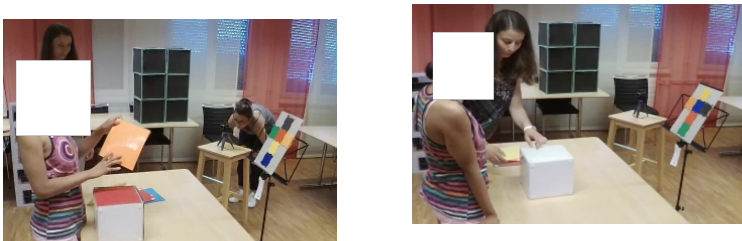
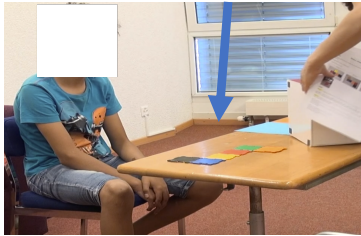
Orientation spatiale Analyse à postériori	Tâche initiale (testée le 22.06.2018)	Évolution de la tâche 1 (testée le 29.06.2018)
Interactions des personnes dans la tâche, les Sujets	<p>Variable : seul</p> <p>Observation : Les élèves font assez peu de gestes, réflexion sur ce qui pourrait augmenter le nombre de gestes</p> <p>Modification : À deux, cela pourrait favoriser les échanges et l'argumentation pour prouver sa réponse, et donc produire plus de gestes. À essayer la prochaine fois</p>	<p>Variable : à deux</p> <p>Observation : La tâche n'est pas une tâche collaborative, elle appelle une réponse (unique, une seule bonne réponse).</p> <p>Ce qui s'est passé c'est une compétition entre les élèves (le premier qui répondait empêchait le deuxième de poursuivre sa réflexion).</p> <p>Le premier qui répondait était souvent considéré par l'autre comme le plus rapide et sa réponse comme étant la bonne. Les élèves ne développaient pas d'argumentation pour expliquer leur réponse, mais se basaient davantage sur leur conception préalable de l'évaluation de la compétence de l'autre. Comme la tâche n'est pas validée par le chercheur, les élèves étaient déstabilisés dans leur propre raisonnement. De ce fait, l'analyse d'un élève, de ses gestes etc.. était biaisée.</p> <p>Modification ; choix : Tâche réalisée en individuel</p>
	<p>Variable : Qui va tourner autour de la forme pour demander le point de vue ?</p> <p>Dans la tâche initiale, c'est la chercheuse qui tourne autour pour demander le point de vue. Mais est-ce que c'est pertinent d'être à la fois le chercheur et un intervenant dans la tâche, Modification : essayer avec une peluche que je positionne depuis les différents angles de vue de la forme.</p>	<p>Variable : Qui va tourner autour de la forme pour demander le point de vue ?</p> <p>Cette fois c'est donc une peluche tigre qui tourne autour de la forme.</p> <p>Observation : les élèves ne font plus de gestes et donnent très peu d'explications au tigre concernant le choix de leur figure.</p> <p>De plus le fait que la chercheuse se positionne à côté d'eux réduit également les gestes et les explications puisqu'il leur suffit de montrer une image et la chercheuse voit la même chose qu'eux.</p> <p>Lorsque la chercheuse était de l'autre côté de la figure, les élèves devaient lui expliquer pourquoi c'était pareil et souvent ils lui décrivaient les ressemblances et ce qu'ils voyaient sur la feuille</p> <p>Modification : C'est la chercheuse qui va tourner, car cela met du sens à la tâche, favorisant les gestes et les explications de l'élève</p>
	<p>Variable : Influence des gestes de la chercheuse</p> <p>Afin de ne pas influencer les gestes que pourrait faire l'élève, la chercheuse décide de garder le plus possible ses mains derrière le dos ou le long de son corps.</p> <p>Observation : les élèves imitent sans le savoir sa posture et mettent leur main derrière le dos ou le long du corps, ils ne font donc plus de gestes...</p> <p>Modification : la chercheuse fait quelques gestes lors de l'explication de la consigne, pour tous les élèves les mêmes gestes qu'elle protocole. La chercheuse laisse le plus possible ses mains ouvertes devant moi.</p>	<p>Variable : Influence de mes gestes.</p> <p>La chercheuse fait des gestes protocolés et le reste du temps, elle garde ses mains devant elle, si possible ouvertes pour encourager le mouvement</p> <p>Observation : C'est beaucoup mieux, les élèves font des gestes</p>
Tâche, matériel	Variable : Les photos de la tâche sont présentées dans l'horizontalité	

	<p>Observation : difficulté supplémentaire pour se représenter l'espace, mauvaise position spatiale, il n'y a pas de numéros aux images donc difficile de nommer, identifier une image.</p> <p>Modification : Présenter les photos en verticalité et mettre des lettres aux différentes images.</p>	
	<p>Variable : Prise d'informations</p> <p>Lors de la prise d'informations, l'élève est laissé seul pour faire le tour de la construction, choix effectué pour observer ce qu'il va prendre comme informations sans être influencé.</p> <p>Observation : certains élèves font le tour de la construction sans regarder toute la construction ou ils font le tour trop près et n'ont pas la vision globale.</p> <p>Modification : Mise en place de marquage au sol pour permettre aux élèves de prendre les informations depuis un point de vue prédéterminé.</p> <p>Modification : La chercheuse fait le tour avec l'élève en posant des questions sur ce qu'il voit depuis les différents points de vue.</p>	
Déroulement de la tâche	<p>Variable : déroulement des niveaux de complexité</p> <p>La chercheuse commence la tâche avec le moment de prise d'informations puis par le niveau 1 puis le 2.</p> <p>Observation : Les élèves ont de la difficulté à s'approprier la consigne de la tâche.</p> <p>Modification : Introduction d'une phase d'exemplification avec une chaussure autour de laquelle l'élève va tourner et ensuite il devra choisir la bonne image de la vue de la chaussure.</p>	<p>Variable : déroulement des niveaux de complexité</p> <p>Observation : L'exemple de la chaussure est utilisé, mais il semble trop éloigné de la tâche demandée et non seulement ne permet pas aux élèves de comprendre la tâche, mais en plus pose le problème de la vision du dessus, car la chaussure est posée sur une table et au vu de sa taille, on voit la vue de dessus aussi, ce qui embrouille les élèves.</p> <p>Modification : Exemple créé à partir d'une construction de cubes (4 cubes) plus simple.</p>

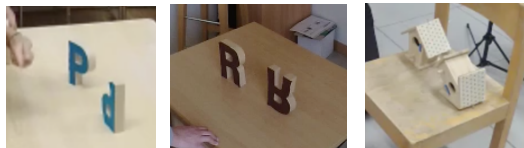

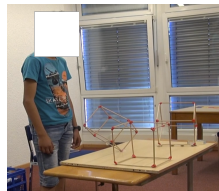


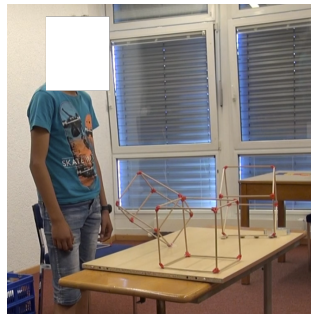
Annexe H : Tableaux récapitulatifs des différentes modifications effectuées dans les trois tâches de la batterie
Évolution de la tâche d'orientation spatiale depuis la phase à blanc jusqu'à sa version définitive

	Design définitif des tâches	Étude pilote	Étude à blanc
Matériel utilisé	 <p>Les cubes utilisés sont noirs pour favoriser les contrastes sur les photos à disposition des élèves.</p>	 <p>La construction est de couleur grise. Problématique : cela donne un mauvais contraste sur les photos proposées à l'élève.</p> <p>Variante testée au niveau matériel : présentation des modalités de réponse avec des cubes en 3D sur un plateau tournant ou des constructions en 3D. Problématique : les cubes étant plus petits cela complexifie la tâche.</p>	 <p>Un premier exercice utilisant une chaussure était proposé. Problématique soulevée : la position de l'élève lui fait voir le dessus de la chaussure ce qui porte à confusion pour les 4 points de vue.</p> <p>Une peluche est placée aux différents points de vue</p> <p>Problématique : l'élève fait moins de gestes et diminue ses explications.</p>
Placement des élèves	 <p>L'élève est debout et répond aux questions derrière un lutrin sur lequel figurent les photos des 4 points de vue</p>	Idem au design final	 <p>L'élève était assis puis debout et les photos mises en position horizontale. Problématique soulevée : la position assise ne favorise ni les gestes, ni la vision globale. Placer les photos horizontalement et sur une feuille volante est plus difficile pour les élèves.</p>
Conditions de passation (marqueurs au sol)	 <p>Des marqueurs en forme de pied indiquent la position où l'élève doit se placer lors de la phase initiale de la tâche, lorsqu'il prend les informations.</p>	 <p>Repères au sol (images de pieds plastifiées) Problématique : ça glisse et certains élèves sont dérangés par les photos de pieds.</p>	 <p>Aucun marqueur au sol n'est prévu. Problématique : l'élève tourne autour de la forme rapidement sans prendre d'informations</p>

Tâche mesurant les habiletés de visualisation spatiale : « Du patron au cube »

	Design définitif des tâches	Étude pilote	Étude à blanc
Matériel utilisé			
Placement des élèves		idem au définitif	
Niveaux de la tâche		idem au définitif	
	<p>Dans la phase d'appropriation, les élèves manipulent le patron du cube pour reformer un cube. Dans les tâches, l'élève a le patron du cube en position verticale devant lui. Il replace les couleurs sur un cube vierge placé devant lui.</p>		<p>Le patron est placé en position horizontale à côté du cube. Problématique : les élèves ont des difficultés à le tourner mentalement</p>
	<p>L'élève est debout en face du patron.</p>		<p>Positionnement assis. Problématique : les gestes sont entravés par le matériel placé devant les étudiants</p>
	<p>Dans le niveau 1 : l'élève peut manipuler le cube et le tourner. Le cube contient 1 côté (rouge) déjà fixé. Dans le niveau 2 : le cube est fixé, il ne peut plus le manipuler et il doit réaliser la rotation et la manipulation du patron mentalement</p>		<p>Dans le niveau 1 : les élèves ont un patron du cube en T. Dans le niveau 2 : les élèves ont un patron du cube en Z. Problématique : le patron en forme de Z est trop complexe</p>

Tâche mesurant les habiletés de relations spatiales : « Rotations et symétries »

	Design définitif des tâches	Étude pilote	Étude à blanc
Matériel utilisé	 <p>Exemple Niveau 1 Niveau 2</p>	 <p>Exemple Niveau 1 et 2</p>	
	<p>Une première phase d'appropriation de la consigne est présentée avec la forme "P". Puis le niveau 1 utilise le "R" qui ne peut pas être une autre lettre si on le tourne contrairement au P. Puis le niveau 2 est une maison avec des variables (le toit et le volet).</p>	<p>La chaussure est utilisée pour l'exemple et le P est utilisé pour le niveau 1 avec manipulation. Le P pour le niveau deux sans manipulation. Problématique : la chaussure est trop éloignée de la tâche pour servir d'exemple et le P pouvant être un D, Q, B pose trop de problèmes pour évaluer les relations spatiales tout en faisant entrer d'autres paramètres en jeu.</p>	<p>Tâche mettant en scène des polyèdres. L'élève doit définir si toutes les formes devant lui sont des cubes. Certains ont été légèrement modifiés (arrêtes allongée) ou sont dans des positions spatiales différentes. Problématique : cette tâche teste aussi des connaissances géométriques (sommets, faces, isométrie etc...)</p>
Placement des élèves et de l'expérimentateur			
	<p>L'expérimentateur est debout à côté de l'élève. L'élève est debout afin de favoriser les gestes des élèves</p>	<p>Assis pour être au même niveau. Problématique : les élèves mettent les mains sous la table</p>	<p>Debout devant la tâche, possibilité de se déplacer</p>

Annexe I : Exemple de la procédure d'appariement des élèves

Groupe contrôle visuo-spatial

La recherche des groupes contrôles a eu lieu dans sept classes différentes du canton de Fribourg. Des classes de 1-2H jusqu'en 7H ont été testées à l'aide des Matrice de Raven (raisonnement analogique), du Beery-VMI (perception et coordination visuo-motrice), des blocs de Corsi (mémoire visuo-spatiale) et du BILO 3C (langage oral). Chaque élève du groupe expérimental a été apparié individuellement afin de constituer deux groupes contrôles. Le premier groupe contrôle visuo-spatial a été apparié sur 4 variables: le genre, le raisonnement analogique (Matrices de Raven), la coordination visuo-motrice (Beery-VMI) et l'empan visuo-spatial (blocs de Corsi).


Participants groupe DI	Participants contrôle visuo- spatial (TDVS)	Genre	Score Matrice de Raven	Score Beery VMS	Score Blocs de Corsi
P8		2	12	10	4
	TDVS 8	2	10	11	6
P9		1	19	16	9
	TDVS 9	1	20	16	8
P10		1	27	20	7
	TDVS 10	1	28	20	6
P18		1	29	23	9
	TDVS 18	1	29	23	8

Groupe contrôle-langage oral

Le deuxième groupe contrôle est apparié sur le niveau de langage oral. Le test BILO 3c comprend différentes sous-épreuves mesurant le langage oral dans ses versants production et compréhension. Ici, trois sous-épreuves ont permis l'appariement : la répétition de mots, la production de lexique et la production d'énoncé. Dans la première tâche, l'élève doit redire le mot prononcé par l'expérimentateur, dans ce cas, c'est la prononciation qui est évaluée. Le lexique est ensuite mesuré dans un exercice où l'on présente des images à l'enfant et celui-ci doit dire le nom de l'objet. Dans cette tâche, la prononciation n'est pas prise en compte dans l'évaluation, c'est le vocabulaire qui est évalué. Finalement, la production grammaticalement correcte d'énoncés est mesurée en demandant à l'élève de compléter le début d'une phrase d'après le scénario présent sur deux images. Ces trois exercices donnent un score total du langage oral (en production). Par la suite, les élèves appariés (tout comme le groupe expérimental) ont également passé trois autres tâches du BILO 3c mesurant le niveau de compréhension orale.

Participants groupe DI	Participants contrôle langage (TDL)	Genre	Répétition de mots	Lexique en production	Production d'énoncé	Total
P7		1	28	31	14	73
	TDL 7	1	27	32	15	74
P8		2	20	19	11	50
	TDL 8	2	22	19	10	51
P11		1	29	31	13	73
	TDL 11	1	30	32	13	75
P18		1	32	34	19	85
	TDL 18	1	32	35	19	86

Annexe J : Détail de la grille de codage pour la fidélité procédurale

			P1	P2	P3
Relation spatiale exemple	Objets	1	La forme présentée au participant est un P		
		0	La forme présentée au participant est un R		
	Conditions de présentation	1	Le participant a la possibilité de prendre l'objet dans sa main		
		0	Le participant n'a pas la possibilité de prendre l'objet dans sa main		
	Positionnement exp.	1	L'expérimentateur est placé à côté du participant		
		0	L'expérimentateur est placé en face du participant		
	Positionnement sujet	1	Le participant est assis devant la table		
		0	Le participant est debout devant la table		
	Consigne	1	L'expérimentateur donne une consigne en début de tâche		
		0	L'expérimentateur ne donne pas de consigne orale		
	Consigne	1	L'expérimentateur utilise les gestes pour illustrer la consigne en pointant et en montrant la rotation de la forme 		
		0	L'expérimentateur n'utilise pas de gestes		
	Déroulement	1	Au cours de l'exercice, le participant ne peut pas toucher les formes		
		0	Au cours de l'exercice, le participant peut manipuler les P pour les mettre dans le même sens que le modèle		
	Déroulement	1	Au cours de l'exercice, l'expérimentateur montre un seul autre P (correct)		
		0	Au cours de l'exercice, l'expérimentateur montre deux exemples différents du P, un correct et un erroné		

Relation spatiale niveau 1	Objets	1	La forme présentée au participant est un P			
		0	La forme présentée au participant est un R			
	Conditions de présentation	1	Le participant a la possibilité de prendre l'objet dans sa main			
		0	Le participant n'a pas la possibilité de prendre l'objet dans sa main			
	Positionnement exp.	1	L'expérimentateur est placé à côté du participant			
		0	L'expérimentateur est placé en face du participant			
	Positionnement sujet	1	Le participant est assis devant la table			
		0	Le participant est debout devant la table			
	Consigne	1	L'expérimentateur donne une consigne en début de tâche			
		0	L'expérimentateur ne donne pas de consigne orale			
	Consigne	1	L'expérimentateur précise à l'enfant qu'il ne peut plus tourner les formes en vrai cette fois			
		0	L'expérimentateur précise à l'enfant qu'il peut tourner les formes en vrai			
	Déroulement	1	Au cours de l'exercice, l'expérimentateur montre deux R à comparer au premier			
		0	Au cours de l'exercice, l'expérimentateur montre trois R à comparer au premier			

Relation spatiale niveau 2	Objets	1	La forme présentée au participant est un B			
		0	La forme présentée au participant est une maison à oiseaux			
	Conditions de présentation	1	L'expérimentateur demande au participant d'identifier les deux parties ajoutées (toît et partie bleue)			
		0	L'expérimentateur dit au participant ce qu'il a collé sur la maison (toît et partie bleue)			
	Positionnement exp.	1	L'expérimentateur est placé à côté du participant			
		0	L'expérimentateur est placé en face du participant			
	Positionnement sujet	1	Le participant est assis devant la table			
		0	Le participant est debout devant la table			
	Consigne	1	L'expérimentateur donne une consigne en début de tâche			
		0	L'expérimentateur ne donne pas de consigne orale			
	Temps de latence	1	L'expérimentateur se tait pendant que l'élève réfléchit à sa réponse (est-ce le même ou non ?)			
		0	L'expérimentateur parle en même temps que l'élève réfléchit			
	Consigne	1	L'expérimentateur ne demande pas de précision à l'enfant sur sa démarche			
		0	L'expérimentateur pose au minimum une question métacognitive en demandant comment l'élève sait que c'est une forme identique ou différente (il demande d'expliquer et/ou de montrer)			

Annexe K : Variables codées dans les vidéos

<i>Chercheuse</i>
<i>Nombre de questions /relances</i>
Discours nombre et types
Mots
Mots spatiaux
Mots oui/non
Total mots (sans oui/non)
Gestes : nombre et types <i>McNeill (1992)</i>
Pointage
Pointage de liaison
Iconiques
Métaphoriques
Gestes actions
Gestes avec le corps
Essai de préhension
Gestes d'exploration
Gestes actions durant la phase de prise d'informations
Autres (gestes oui/non)
Nombre de gestes figuratifs
Nombre de gestes total (sans oui/non et sans explo)
Modalités - combinaisons <i>(Mastroggiuseppe et Lee, 2017 ; Stefanini, Caselli & Volterra, 2007)</i>
Gestes seuls (productions gestuelles unimodales)
Gestes + discours (productions bimodales)
Discours seul (productions verbales unimodales)
Fonctions liées au langage <i>(Mastroggiuseppe et Lee, 2017; Baumann, Özçaliskan & Adamson, 2019; Vandereet et al. (2011)</i>
Redondance (complementary), Equivalent (Iverson 2003)
Précision, Complementary (Iverson 2003)
Supplément, Supplementary (Iverson 2003)
Fonctions liées à l'espace <i>(Kita, Alibali et Chu, 2017)</i>
Activer
Manipuler
Organiser
Explorer

Catégorisation des mots et gestes spatiaux <i>Göksun et al., (2013)</i>
Mots statiques
Mots dynamiques
Gestes statiques
Gestes dynamiques
Différenciation en fonction des niveaux de la tâche
Nombre de mots (niveau 1)
Nombre de gestes total (niveau 1)
Pointage niveau 1
Iconiques niveau 1
Actions niveau 1
Actions + essai niveau 1
Gestes seuls niveau 1
Bimodal niveau 1
Discours seul niveau 1
Redondance niveau 1
Précision niveau 1
Supplément niveau 1
Nombre de mots (niveau 2)
Nombre de gestes total (niveau 2)
Pointages niveau 2
Iconiques niveau 2
Actions niveau 2
Actions + essai niveau 2
Gestes seuls niveau 2
Bimodal niveau 2
Discours seul niveau 2
Redondance niveau 2
Précision niveau 2
Supplément niveau 2

Annexe L: Exemple du détail pour le codage de chaque catégorie

Relations spatiales

Indices de codage relations spatiales	
Discours nombre et types	
Phrases	Prendre en compte toute la phrase, Noter une grande annotation et inscrire la phrase dite par l'élève
Tous les mots	(parce que) = 1 mot / (y'a) = 1 mot / en fait = 1 mot / Parce que = 1 mot / Indiquer seulement des coches pour le nombre de mots. En cas de répétition de mots coder 1x (exemple y'a, y'a, y'a) / Ne pas coder si l'élève parle d'autre chose
Mots géométrie (pas coder interjuge)	haut, bas, devant, derrière, côté, là, ici (toutes les prépositions spatiales), envers / pour le codage inscrire le mot spatial qui est dit
Mot oui/non (pas coder interjuge)	mots oui / non / le humhum est codé oui
Gestes : nombre et types	
Pointage	index pointé vers un objet, une partie de l'objet ou vers une position, index montrant un lien entre deux formes Si l'élève pointe en même temps les deux formes avec les deux mains différentes, il faut compter 2 pointages (un pour chaque main) Le pointage peut aussi être fait avec la main ouverte ou en touchant l'objet. Se référer à la bibliothèque de gestes de pointage
Pointage de liaison	Un pointage reliant deux objets ou deux parties de l'objet en indiquant par exemple "cette partie serait là" en montrant la forme à droite puis à gauche Lorsqu'il y a un pointage de liaison : coder un pointage pour le début, puis un pointage de liaison, puis un pointage final
Iconique	Mouvement linéaire ou circulaire de la main ou du doigt, mouvement représentant(simulant) un déplacement, une rotation Mouvement représentant une partie de l'objet, une forme (cf bibliothèque de gestes iconiques)
Métaphorique (quasiment pas)	Mouvement représentant un concept abstrait par exemple ouvrir une main puis l'autre en disant "ce sont les mêmes"
Geste avec le corps	Lorsque le corps suit le geste de la main ou lorsque le corps entier fait le geste (pour regarder une forme penchée par exemple)
essai de préhension	Ne sont pas codables dans l'exemple. La catégorie suppose que l'élève ait reçu la consigne de ne pas agir physiquement sur le matériel. Si l'élève essaie de prendre l'objet dans la main pour le tourner alors qu'il n'a pas le droit et que je le stoppe dans son mouvement, coder un essai de préhension
Gestes actions durant la tâche	Mouvement qui effectue une véritable action sur l'objet. Par exemple : déplace l'objet, le retourne, le touche spontanément ou en réponse à l'une de mes questions et non <u>pas pour explorer les aspects matériel de la forme</u> (comme sentir, ou carreser la partie douce). Ce mouvement traite des caractéristiques spatiales de l'objet (retourner, mettre à côté) Mouvement permettant de comparer les formes (déplace l'objet vis-à-vis de l'autre, le retourne pour le placer droit ou dans la même position de l'autre, en liant avec l'orientation de la forme) Dans le cas de la petite maison, si l'élève retourne la forme droite, puis la rapproche de l'autre (la met à côté ou devant) c'est deux gestes différents. 1. retourner / 2. mettre devant. Si l'élève la met droit, puis la tourne dans l'autre sens, puis la rapproche ça fait trois gestes : 1. mettre droit / 2. retourner à l'envers/ 3. rapprocher
Gestes actions durant la phase d'appropriation / de prise d'information / gestes d'exploration (pas coder)	idem que les gestes actions, mais dans la première partie de la tâche, lorsque je demande à l'élève de prendre l'objet dans sa main, il s'agit de gestes action s'ils retournent la forme. Mais ces gestes ne répondent pas directement à la tâche (est-ce que c'est les mêmes) par contre ils sont fait pour prendre des informations.
Gestes oui/non (pas coder)	Gestes de la tête indiquant oui (haut-bas) ou non (gauche, droite)
Gestes d'exploration (pas coder)	Le plus souvent durant la phase de prise d'information / extraction de propriété non spatiales (couleur pour autant que ceci ne nécessite pas un retournement de forme, odeur, matière, etc.): "Lorsque c'est l'exploration ne pas coder la modalité ni la fonction sauf si le langage dit quelque chose en rapport. Dans ce cas par exemple s'il continue de tenir la maison dans la main, mais montre le toit ou le volet, coder en même temps un geste de pointage et s'il parle, coder bimodal Lorsqu'il a l'objet dans la main, la plupart du temps c'est un geste d'exploration. S'il explore différentes fonctions, par exemple toune la forme (coder un geste d'explo), touche la partie douce (code un autre geste d'explo), sent la forme pour voir si elle a une odeur (coder encore un autre geste d'explo)."

Modalités - combinaisons (Mastrogiuseppe et Lee, 2017 ; Stefanini, Caselli & Volterra, 2007)	
Gestes seuls (productions gestuelles unimodales)	Le geste est produit sans parole
Gestes + discours (productions bimodales)	Le(s) geste(s) sont produits en même temps que la parole, chaque séquence de parole avec des gestes s'y rapportant et séparé. Il peut y avoir plusieurs séquences bimodales qui se suivent s'il y a des phrases gestuelles et verbales différentes. Il est possible que le geste commence avant la parole, si la parole vient à la fin du geste, on code bimodal
Discours seul (productions verbales unimodales)	Le discours est produit sans paroles (ne pas compter le oui tout seul comme discours seul)
Fonctions (Mastrogiuseppe et Lee, 2017; Baumann, Özçaliskan & Adamson, 2019; Vandereet et al. (2011)	Les fonctions ne sont codées qu'en cas de productions bimodales et également pour les gestes actions en productions bimodales
Redondance (complementary), Equivalent (Iverson 2003)	Le geste indique la même chose que le discours (par exemple : discours : ça fait un U et le geste fait un U) Le geste montre le truc bleu et la personne dit "le truc bleu" Le geste montre un mouvement de descente, Discours " ça descend ici" Le geste montre une fleur , Discours : Fleurs
Précision, Complementary (Iverson 2003)	Le geste ajoute une précision au discours Par exemple : (discours) : celui-là (gestes) : montrer la forme / (discours) : ça tourne (gestes) : montre le sens de rotation ça ferait comme ça, c'est là toujours coder en précision La personne dit "fleurs" et montre <u>le toit</u> avec le papier collé ayant des fleurs Le geste montre un emplacement / discours "ici" Le geste montre la rotation / discours "tourner bien droit" Le geste montre l'un des côté du toit puis montre l'autre c'oté en disant "papier l'autre côté" Le geste montre une rotation de la forme / Discours "envers" Le geste montre une rotation / Discours "comme ça"
Supplément, Supplementary (Iverson 2003)	Le geste transmet une information absente du discours verbal, une information différente. "C'est pas les mêmes" et l'enfant remet les deux objets correctement pour que ce soit les mêmes Le geste montre le sens dans lequel est la forme. Discours : le R Le geste montre le sens de l'arrondi dans le R. Le discours : R ici, R ça.

Annexe M : Exemple du codage de chaque catégorie pour la fidélité inter-juges

	P4	P4	P5	P5	P6	P6
Accord interjuge						
Discours nombre et types						
Mots	36	35	71	71	47	47
Total mot	36	35	71	71	47	47
Gestes : nombre et types						
Pointage	2	3	20	20	13	13
Pointage de liaison	1	1	8	7	7	8
Iconique	6	7	3	3	0	0
Métaphorique	0	0	0	0	0	0
Gestes actions	0	0	5	6	9	9
Gestes avec le corps	0	0	0	0	1	0
Essai de préhension	0	0	2	2	4	4
Nombre de gestes figuratifs	9	11	31	30	20	21
Nombre de gestes total (sans oui/non et explo)	9	11	38	38	34	34
Modalités - combinaisons						
<i>(Mastrogiuseppe et Lee, 2017 ; Stefanini, Caselli & Volterra, 2007)</i>						
Gestes seuls (productions gestuelles unimodales)	2	2	4	4	6	7
Gestes + discours (productions bimodales)	7	7	12	13	8	7
Discours seul (productions verbales unimodales)	10	8	1	1	1	1
Fonctions						
<i>(Mastrogiuseppe et Lee, 2017; Baumann, Özçaliskan & Adamson, 2019; Vandereet et al. (2011)</i>						
Redondance (complementary), Equivalent (Iverson 2003)	1	1	0	0	1	1
Précision, Complementary (Iverson 2003)	6	6	24	23	14	14
Supplément, Supplementary (Iverson 2003)	0	0	2	2	1	1

Étapes préliminaires pour la stabilisation de la grille de codage

1. Rencontre avec le 2^{ème} codeur (étudiant) pour découvrir la grille de codage et visionner des extraits illustrant les différentes catégories.
2. Codage séparé de la partie exemple d'une vidéo (partie qui ne sera pas prise en compte dans les résultats).
3. Rencontre pour la comparaison du codage et affinement des critères de codage de la grille.
4. Codage séparé de 2 vidéos complètes du groupe expérimental.
5. Rencontre pour la comparaison du codage et affinement des critères de codage de la grille.
6. Codage séparé de 2 vidéos complètes du groupe contrôle TDVS.
7. Rencontre pour la comparaison du codage et affinement des critères de codage de la grille.
8. Codage séparé de 2 vidéos complètes du groupe contrôle TDL.
9. Rencontre pour la comparaison du codage et affinement des critères de codage de la grille.
10. Nouvelle rencontre avec 2 autres codeurs (plus experts car directeurs de la thèse) pour découvrir la grille de codage et visionner des extraits illustrant les différentes catégories.
11. Codage séparé d'une même vidéo complète du groupe expérimental par les deux codeurs.
12. Rencontre pour la comparaison du codage et dernier affinement des critères de codage de la grille.






Étapes de la procédure pour la fidélité inter-juges

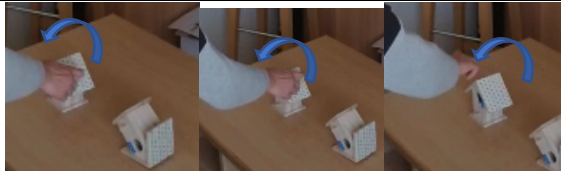
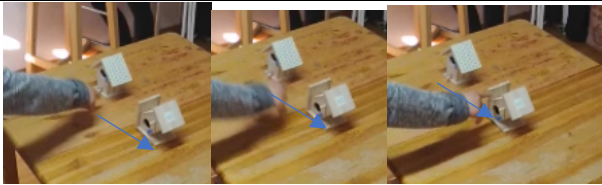
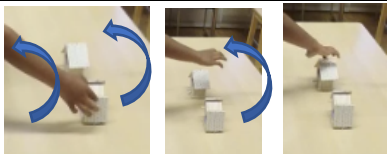
1. Rencontre avec le 2^{ème} codeur (collègue indépendante de la recherche) pour découvrir la grille de codage et visionner des extraits illustrant les différentes catégories.
2. Codage séparé de la partie exemple d'une vidéo (partie qui ne sera pas prise en compte dans les résultats).
3. Rencontre pour la comparaison du codage et discussion sur les différences existantes, reprise de la grille pour la vérification du codage.
4. Codage séparé de 9 vidéos.
5. Rencontre pour la comparaison du codage et discussion sur les différences existantes, reprise de la grille pour la vérification du codage.
6. Rencontre avec le 3^{ème} codeur (personne extérieure indépendante de la recherche) pour découvrir la grille de codage et visionner des extraits illustrant les différentes catégories.
7. Codage séparé de la partie exemple d'une vidéo (partie qui ne sera pas prise en compte dans les résultats).
8. Codage séparé de 9 vidéos.
9. Rencontre pour la comparaison du codage et discussion sur les différences existantes, reprise de la grille pour la vérification du codage.

Consignes données

En cas d'hésitation, regarder plusieurs fois la séquence et coder toujours dans la catégorie plus basse.

Annexe N : Exemple de la bibliothèque de gestes

Gestes de pointage		
Pointage vers un objet ou une personne (présent ou absent) ou dans une direction (McNeill, 2005).		
Pointage avec 1 doigt		
Pointage en posant le doigt sur l'objet		
Pointage en posant le bout des doigts sur l'objet		
Pointage avec 2 doigts sur 2 parties différentes d'un même objet		
Pointage avec le pouce		
Pointage en posant la main sur l'objet		
Pointage avec la main écartée		
Deux pointages en mêmes temps avec les deux mains		

Gestes de pointage de liaison	
Pointage vers un objet ou une personne (présent ou absent) ou dans une direction (Mcneill, 2005).	
	
Le geste montre le côté du toit puis l'autre côté. Le geste est lié.	Le geste montre le volet bleu de la maison à gauche puis l'emplacement où devrait être le volet bleu sur la maison de droite.
« L'aut toté » (l'autre côté)	« Y'a le bleu qu'il est... »
	
Le geste montre le côté gauche de la maison qui est « couchée » et montre ensuite le côté droit également de la maison debout.	
« Celui-là il va aller de ce côté »	




Gestes iconiques	
Image	
Description	Le doigt est pointé et l'élève fait le tour de la forme pour signifier sa rotation.
Langage	Aucun mot n'est dit, la réponse à la question comment tu le remettrais est uniquement gestuelle.
Image	
Description	Le doigt montre le côté gauche du R (la partie droite) et montre la pente (le fait qu'il soit à l'envers).
Langage	« Le R ça descend ici »
Image	
Description	Le geste montre le sens de l'arrondi du R (celui qui est couché).
Langage	« Le R (celui qui est couché) ici. Le R ça (celui qui est debout) ».









Image		
Description	Le geste montre la rotation qu'il faudrait faire pour remettre le R droit.	
Langage	« Toner bien droit / Debout »	
Image		
Description	Le geste montre le rotation de la forme sur l'axe des y (rotation très peu fréquente).	
Langage	« Envers »	
Image		
Description	Le geste simule la prise de l'objet à deux doigts et montre la rotation de la forme.	
Langage	« Comme ça »	

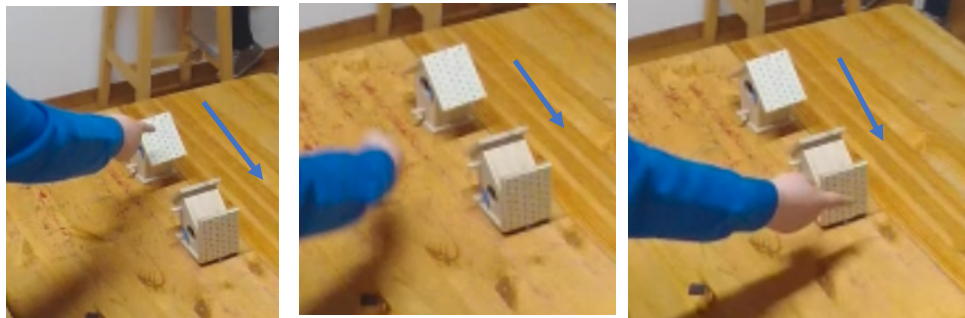

Image	
Description	Le geste montre la rotation proposée de la forme.
Langage	« comme ça »
Image	
Description	Le geste imite la prise de la forme (maison) et indique le sens dans lequel il faudrait la tourner pour retrouver la forme à sa gauche.
Langage	« comme ça »
Image	
Description	Le geste avec les deux mains imite la prise réelle de la forme et indique le sens de sa rotation.
Langage	


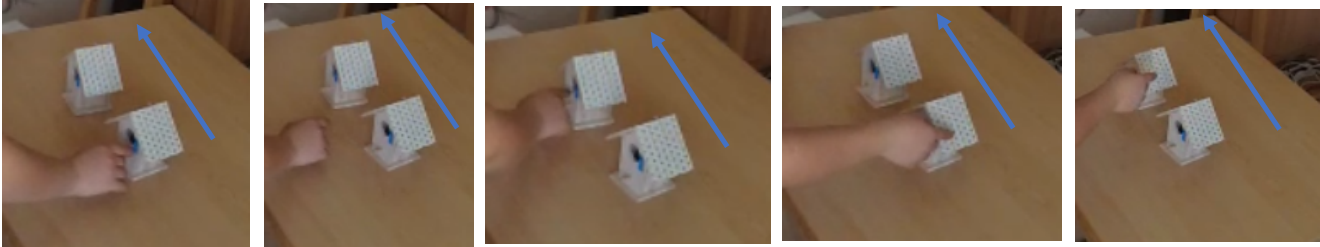
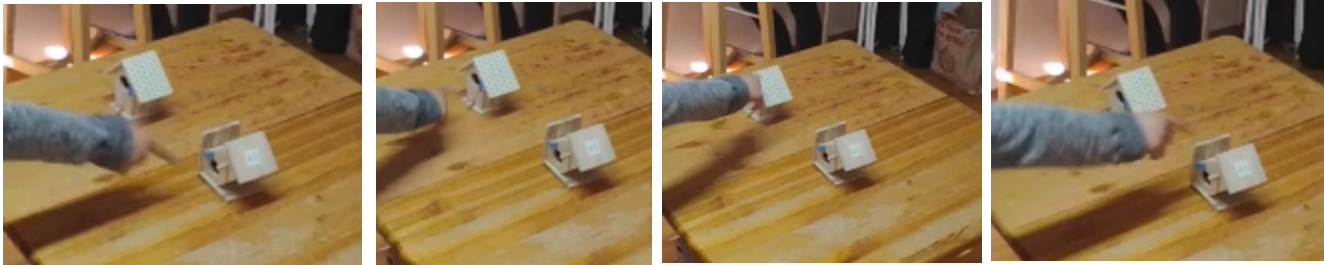
Gestes actions	
Image	
Description	Le geste montre la rotation de la forme. Fait intéressant, la personne prend le R avec la mains droite puis lorsque le R arrive au milieu de l'axe corporel, elle change de main et repose ensuite le R en position verticale avec la main gauche sur la table.
Langage	-

Gestes métaphoriques	
Pointage vers un objet ou une personne (présent ou absent) ou dans une direction (Mcneill, 2005).	
	
Le geste montre comme deux objets dans les mains, puis il écarte les bras pour signifier l'égalité	
« C'est les mêmes »	

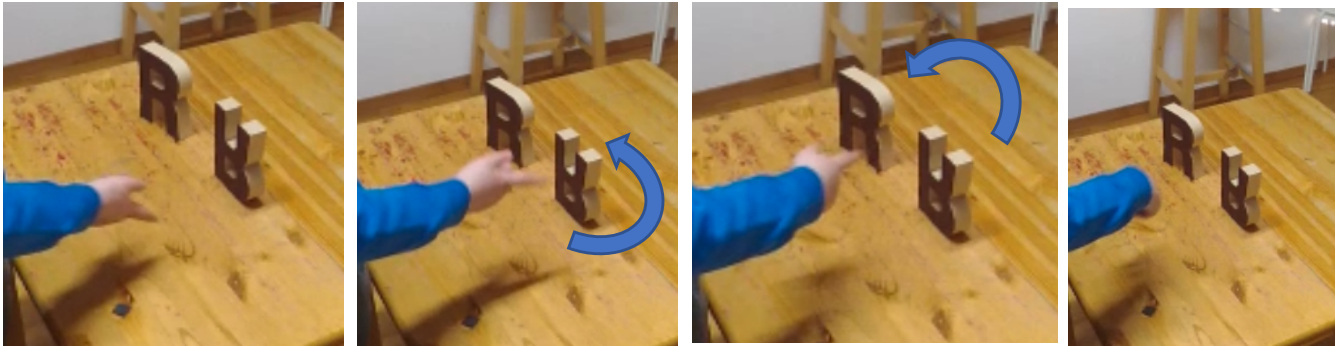

Tâche : relations spatiales

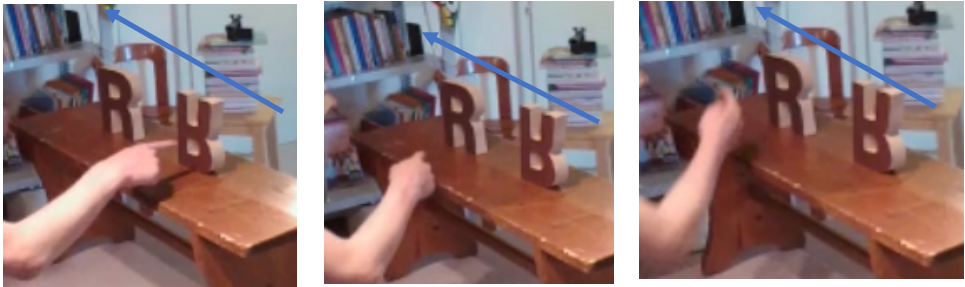


Concept

La forme est la même	
En gestes	En mots
	"ça et puis ça"
L'élève indique le toit gauche de la maison de droite puis se déplace pour montrer le toit droite de la maison de gauche	
	"les deux trucs bleus"
Les deux mains montrent les deux parties bleues	

	
<p>Une main montre les deux toits des deux maisons en même temps en pointant avec le pouce et avec le petit doigt sur l'une et l'autre des maisons</p>	<p>"y'a la même chose là"</p>
	<p>C'est le même, ça aussi et ça aussi</p>
	<p>Ben ça et ça et ça et ça</p>

Bibliothèque des concepts en gestes et en mots

La forme n'est pas la même (elle est en miroir)	
En gestes	En mots
	<p>"Parce que c'est à l'envers"</p>
<p>L'élève indique la rotation qu'il ferait pour voir que la forme est en miroir</p> 	<p>"L'autre côté y'a pas le brun"</p>

	<p>Si je le retourne ça, ça viendrait de l'autre côté</p>
<p>Le geste pointe l'arrondi de la forme puis montre de quel côté il serait si on retournait la forme comme l'autre</p>	
	<p>"Je dois la tourner comme ça, de l'autre côté"</p>
<p>x</p>	
	<p>"ça c'est haut et ça c'est bas"</p>
<p>L'élève montre le haut de la forme à gauche puis le bas de la forme à droite (elle considère que ce ne sont pas les mêmes en raison de leur positionnement différent de départ).</p>	

