OBSERVER LES GESTES POUR ANALYSER LES HABILETÉS SPATIALES DES ÉLÈVES AYANT UNE DÉFICIENCE INTELLECTUELLE

Noémie Lacombe
Doctorante, UNIVERSITE DE FRIBOURG
noemie.lacombe@unifr.ch

Geneviève Petitpierre
Professeur, UNIVERSITE DE FRIBOURG
genevieve.petitpierre@unifr.ch

Thierry Dias
Professeur, HAUTE ECOLE PEDAGOGIQUE, VAUD
thierry.dias@hepl.ch

Résumé
Cet article présente les résultats préliminaires d'une recherche sur la place des gestes dans l'expression des habiletés spatiales tridimensionnelles. L'objectif de la recherche est d'observer si et comment des élèves de 12 à 18 ans ayant une déficience intellectuelle (DI) utilisent les gestes lors de la résolution de tâches spatiales. Trois groupes d'élèves ont été comparés : des élèves avec une DI et deux groupes d'élèves typiques respectivement appariés aux premiers sur les compétences visuospatiales et sur les compétences verbales. Cette recherche ouvre des perspectives innovantes d'enseignement-apprentissage dans le domaine spatial tridimensionnel afin de favoriser l'observation des gestes produits par les enfants dans un but d'évaluation, par les enseignants, de leurs processus d'apprentissage.

I - INTRODUCTION

Le rôle des gestes est reconnu comme intimement lié à la pensée de l'être humain (Hostetter et al., 2007). La présence de gestes spontanés (*co-thought gestures* and *co-speech gestures*) dans la communication et l'apprentissage, démontrée par maintes recherches (Kita et al., 2017; Wakefield et al., 2019), a été observée dans toutes les cultures (Feyereisen & deLannoy, 1991). Les gestes spontanés existent aussi lorsque personne n'est là pour les voir, comme c'est le cas lors d'un échange téléphonique (Tellier, 2009). Ils sont également manifestés par les personnes aveugles de naissance, de même que par les personnes sourdes, et ce en plus de la langue de signes (Iverson et Goldin-Meadow, 1988; Goldin-Meadow, Shield, et al., 2012).

En présence de tâches spatiales, les gestes sont particulièrement fréquents car ils permettent de donner des informations rapides, précises et simultanées, par exemple sur les emplacements, la direction ou la distance des éléments les uns par rapport aux autres, ce qui est plus difficile par le biais du langage qui ne peut documenter ces mêmes relations que de façon séquentielle et relative (Sauter et al., 2012; Newcombe & Huttenlocher, 2000). Pour parler d'espace, les adultes utilisent d'ailleurs deux fois plus de gestes que pour raconter une histoire ou décrire leur journée (Lavergne & Kimura, 1987). Les enfants, eux, expriment des compétences géométriques et spatiales par le biais de gestes avant de pouvoir en rendre compte par le langage (Calero et al., 2019). Les stratégies exprimées par les gestes sont d'ailleurs prédictives de la performance spatiale (Miller et al., 2020).

Bien que l'importance des gestes dans le processus de conceptualisation soit attestée par de nombreuses recherches, la prise en compte des gestes dans le dispositif d'évaluation des compétences géométriques et spatiales des élèves est extrêmement rare. Ce constat, relevé par Calero et al. (2019), invite à reconsidérer

l'approche évaluative de l'apprentissage spatial dans le milieu scolaire afin d'y inclure les gestes. Pour ces auteurs, une évaluation basée sur la performance, et/ou sur la réponse et les explications verbales, omet de prendre en compte le pouvoir qu'a le geste de donner accès aux concepts élaborés par l'enfant.

Ces constats ont amené à la conduite d'une étude empirique sur le rôle des gestes dans une tâche de rotation mentale chez 20 élèves avec une déficience intellectuelle (DI) ainsi que chez 40 élèves appariés sur les compétences visuospatiales qui seront nommés TDVS pour « *typical development visuospatial* » (TDVS n=20) et sur les compétences en langage oral (TDL = « *typical development langage* » n=20). À partir des résultats de la littérature, trois questions de recherche ont été formulées : 1) Quel est le nombre de gestes utilisés par les élèves avec ou sans DI lorsque ceux-ci résolvent une tâche ? ; 2) Quels sont les types de gestes utilisés par les élèves avec ou sans DI ? Le cas échéant des variables sont-elles corrélées aux différents types de gestes ? et finalement 3) Comment le matériel et la possibilité d'exprimer des contenus dans les gestes permettent-ils aux élèves avec DI de montrer leurs compétences de rotation mentale ?

Après une introduction, nous présenterons le rôle des gestes dans le domaine spatial puis les résultats d'une revue de littérature sur le rôle des gestes chez des élèves avec DI (Lacombe, Petitpierre & Dias, soumis). Les questions et hypothèses de recherche seront exposées, ainsi que la méthode utilisée dans la recherche. L'article se terminera par la présentation des résultats qui seront discutés au regard des connaissances de la littérature.

II - LES GESTES DANS L'APPRENTISSAGE SPATIAL

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.), mais elles sont également de solides prédicteurs de la réussite future des élèves en mathématiques, en sciences, en technologie ou en ingénierie (Davis, 2015) et cela à tous les niveaux scolaires (Bautista & Roth, 2012; Kim et al., 2011; Ng & Sinclair, 2015). Plusieurs recherches montrent leur rôle dans le développement de la cognition numérique, en particulier dans la compréhension du système positionnel des nombres et de la ligne numérique (Crollen & Noël, 2017; Karagiannakis & Noël, 2020).

Dans le domaine spatial, Göksun et al., (2013) montrent que les gestes combinés à la parole révèlent les représentations mentales de l'individu, offrant une alternative pour examiner les stratégies de rotation mentale. Selon Bergman et Kopp (2006), 51,38% des informations spatiales seraient communiquées uniquement par les gestes, ce qui signifie qu'un interlocuteur qui ne pourrait pas voir les mains du locuteur manquerait la moitié des informations communiquées. Chez les enfants, les stratégies exprimées par les gestes sont positivement corrélées à la réussite d'une tâche de rotation mentale (Ehrlich et al., 2006). Chu et Kita (2008) illustrent d'ailleurs le rôle prépondérant des gestes dans le développement de la rotation mentale en proposant un modèle de développement en trois étapes. Dans un premier temps, l'individu réalise des rotations mentales avec de vrais objets. Puis, au niveau deux, il fait des gestes pour simuler la rotation mentale. Finalement, au niveau trois, il réalise la rotation uniquement mentalement. À ce stade, bien que ni l'action ni les gestes ne soient utilisés, Zacks (2008) montre que les zones motrices du cerveau sont encore activées pendant que l'individu réalise la rotation mentale.

Mais quels sont les différents types de gestes utilisés par les élèves ?

1 Définition des gestes

Les gestes co-verbaux et co-réflexifs se réfèrent au modèle de McNeill (1992) et à celui de Kita et al. (2017) qui les définissent comme des mouvements spontanés ou intentionnels des mains et des bras accompagnant le discours et l'activité cognitive. Les premières études se sont centrées spécifiquement sur les gestes co-verbaux, pour analyser ensuite les gestes co-réflexifs soutenant la pensée (Kita et al., 2017).

Pour McNeill (1992), les gestes, le langage et la pensée sont différentes facettes d'un même processus mental.

2 Type de gestes

Il existe un large consensus dans la littérature scientifique sur la classification des gestes. La plupart des recherches adoptent le modèle théorique de McNeill (1992) qui différencie quatre types de gestes.

1. Les gestes iconiques qui ont une relation étroite avec le contenu sémantique exprimé par la parole (ex. dire « J'ai tourné la forme. » et indiquer le sens de rotation avec la main).

2. Les gestes métaphoriques qui s'apparentent aux gestes iconiques mais réfèrent à un concept ou un objet abstrait (ex. dire « C'est les mêmes. » et ouvrir sa main droite et sa main gauche pour signifier l'égalité).

3. Les gestes de pointage qui indiquent ou pointent des objets concrets ou abstraits (ex. dire « Je suis allé là-bas. » et pointer du doigt pour montrer la direction).

4. Les battements qui sont des gestes qui rythment le discours sans signification propre (ex. parler et produire des micro-gestes de haut en bas ou de l'avant ou de l'arrière pour accentuer certains propos).

Les trois premières catégories font référence à des gestes figuratifs, à savoir des gestes qui transmettent un contenu (Kita et al. 2017).

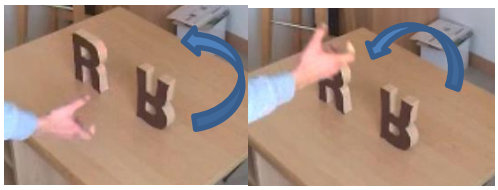
Gestes iconiques	**Gestes métaphoriques**	**Gestes déictiques**
		
La parole dit : « *Il faudrait la tourner comme ça.* » Le geste explicite le « comme ça » en montrant la rotation qu'il faudrait effectuer sur la forme de droite	La parole dit : «*C'est pareil.* ». Le geste illustre le concept abstrait de « même, pareil » par l'ouverture de la main droite puis de la main gauche en signe d'égalité	La parole dit « *ça* », le geste monte le volet de la maison permettant de préciser le « ça »

Figure 1 : Les trois types de gestes figuratifs d'après McNeill (1992) illustrés par des images de la présente recherche

3 Fonction des gestes

Chez les élèves typiques, la littérature relève trois fonctions principales des gestes dans l'apprentissage. La première est la récupération lexicale (Lexical Retrieval hypothesis), où le geste amorce la recherche lexicale des mots. Cette fonction peut notamment être observée lors des pauses d'hésitation juste avant l'apparition d'un mot (Butterworth & Beattie, 1978) tout comme chez les élèves avec un trouble du langage (Lavelli & Majorano, 2016). La deuxième fonction (Packaging hypothesis) met en évidence le rôle des gestes dans la conceptualisation et l'organisation de l'information (Alibali et al., 2000). Dans cette deuxième fonction, le corps, les signes et les artefacts concrets favorisent la construction et l'expression des concepts mathématiques (Healy & Fernandes, 2011; Kim et al., 2011). De manière plus spécifique dans le domaine spatial, Kita et al. (2017) met en évidence que les gestes permettent (a) d'activer des représentations spatiales présentes en mémoire ; (b) de manipuler des représentations spatiales ; (c) d'organiser des informations spatiales dans le but de les communiquer ; (d) d'explorer plusieurs possibilités ou de nouvelles idées. Finalement, Goldin-Meadow et Wagner (2005) relèvent que les gestes

facilitent l'apprentissage en réduisant la charge cognitive par exemple en permettant à l'élève d'exprimer sa compréhension d'un concept mathématique encore non entièrement élaboré (Reynolds & Reeve, 2002, p.457) ou encore non maîtrisé au niveau terminologique (Bikner-Ahsbahs, 2004).

Ainsi, l'importance des gestes dans l'expression des concepts élaborés par l'enfant ressort de manière prépondérante. Toutefois les recherches analysant leur impact chez des élèves avec une déficience intellectuelle (DI) font clairement défaut.

III - L'IMPACT DES GESTES CHEZ DES ELEVES AYANT UNE DI

La méta-analyse de Browder et al., (2008) relève que seul 3% des recherches avec des élèves ayant une DI étudie le domaine spatial et géométrique alors que les compétences spatiales sont indispensables à la vie quotidienne (Davis, 2015) et à la réussite future des élèves (Mix & Cheng, 2012). La plupart des recherches entraînent les élèves avec une DI dans des habiletés mathématiques de base (numératie), toutefois une réduction des attentes et/ou une absence d'opportunité d'exercer des mathématiques complexes entravent l'accès à l'indépendance (Browder et al., 2012). L'expertise collective de l'INSERM (2016), fondée sur près de 2500 documents, met en évidence que les effets dits « plateaux » observés chez les élèves avec une DI proviennent plus spécifiquement d'un manque d'offres d'apprentissage que des limitations dues à la déficience intellectuelle (INSERM, 2016, p. 35). D'autre part, le rapport de l'INSERM relève que les élèves avec une DI ont des difficultés à exprimer verbalement leur pensée ce qui entrave leur développement au regard de la fonction qu'exerce le langage sur le fonctionnement cognitif et sur l'acquisition des concepts. La prise en compte des gestes, dans le cadre scolaire, est donc une opportunité de voir quels sont concepts élaborés par les élèves avec une DI. Ce constat ressort des quelques études ayant analysé les gestes chez des élèves avec une DI. Pour Mastrogiuseppe et Lee (2017), par exemple, il est primordial que les professionnels observent, en plus du discours verbal de leurs élèves, les gestes qu'ils produisent, car ceux-ci apportent des informations complémentaires au langage verbal permettant de comprendre et d'analyser le processus de réflexion. Dans leur étude, chez des élèves avec un syndrome de Down, Stefanini et al. (2007) ont également montré que le niveau de précision des réponses augmente de manière significative si les gestes sont pris en compte comme étant une modalité de réponse valable. L'étude des gestes chez les élèves avec DI est ainsi centrale dans le domaine spatial car elle permet d'obtenir une meilleure appréciation (évaluation) des connaissances en particulier chez les enfants ayant des difficultés à s'exprimer sur le plan verbal (Stefanini et al., 2008).

1 Revue systématique

Afin de documenter scientifiquement l'utilisation des gestes chez les élèves avec une DI, une première revue systématique de littérature basée sur les recommandations PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses statement,* Moher et al., 2009) a été effectuée (Lacombe, Petitpierre et Dias, soumis). L'équation de recherche utilisée pour cette revue est la suivante : (*gesture* OR *representational gesture* OR *co-thought gesture* OR *iconic gesture* OR *co-speech gesture*) AND (*intellectual disabilit** OR *developmental disabilit** 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 permis de recenser 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 retenus. 213 études ont été supprimées suite à la première étape de sélection à partir du titre et du résumé des articles en suivant trois critères : 1) La recherche mesure le nombre de gestes, les types de gestes ou les fonctions de gestes. 2) Les participants ont un diagnostic de DI, 3) l'article est en anglais, français, espagnol ou italien. 29 articles ont été conservés pour la deuxième étape de sélection. Sur les 29 articles, 11 articles ont été conservés suite à la lecture intégrale.

Les autres ne répondaient pas aux critères suivants : 4) le design est empirique ; 5) l'âge des élèves est entre 4-18 an ; 6) la recherche analyse les gestes fait par les élèves eux-mêmes.

2 Nombre de gestes

Les résultats de la revue montrent que sept études se sont intéressées au nombre de gestes effectués par les élèves dans une tâche (par exemple pour décrire des images, raconter le contenu d'un dessin animé ou lors d'une leçon de mathématiques). Leurs résultats montrent que les élèves avec DI utilisent significativement plus de gestes que les enfants typiques appariés sur l'âge mental (MA) (4/6) et sur l'âge chronologique (CA) (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 qui sont ainsi compensées par l'utilisation de gestes. L'étude de Stefanini et al (2007) confirme que par rapport aux enfants typiques, les élèves avec un syndrome de Down produisent un plus grand nombre de réponses verbales inintelligibles mais utilisent davantage de gestes iconiques permettant d'enrichir leur discours. Ainsi les gestes facilitent et soutiennent l'expression du sens lorsque les capacités linguistiques sont altérées (Lavelli & Majorano, 2016). Cette constatation rejoint les résultats de Reynolds et Reeves (2002) et Bikner-Ahsbahs (2004) chez les enfants typiques. Ces auteurs avaient montré que les gestes permettaient de compenser un lexique non maîtrisé et d'exprimer une compréhension des concepts avant de pouvoir le faire verbalement.

3 Types de gestes

Les résultats montrent que dans quatre études sur les cinq ayant analysé les types de gestes selon le modèle de McNeil (1992), les élèves avec DI utilisent significativement plus les gestes iconiques que leurs pairs appariés selon l'âge mental (MA), l'âge chronologique (CA) ou le niveau verbal (LA). Les auteurs suggèrent que les gestes permettraient à l'enfant d'exprimer un concept absent de son répertoire verbal. Ce constat se retrouve chez Stefanini et al. (2007) qui met en évidence que les enfants atteints d'un syndrome de Down (N= 15) produisent 67 gestes iconiques contenant des informations correctes, mais manquantes à la parole, alors que les enfants typiques, eux, ne produisent que 8 gestes iconiques avec des significations similaires au mot cible.

Les gestes de pointage sont également utilisés à de nombreuses reprises par les élèves avec DI. Dans quatre études sur cinq (Bello et al., 2003; 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. L'utilisation des gestes de pointage, lorsque le vocabulaire est limité, permet à l'enfant 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).

4 Fonctions des gestes

Finalement, les résultats mettent en évidence dans cinq études sur six que les gestes apportent des informations supplémentaires au discours verbal (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 syndrome de Williams 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. Pour Stefanini et al. (2007), ce n'est qu'en analysant à la fois les gestes et la parole qu'il est possible d'avoir un aperçu complet des connaissances conceptuelles des enfants. Une deuxième fonction relevée par deux études est celle de la récupération des informations ou des mots en mémoire (Bello et al., 2004 ; Mastrogiuseppe & Lee, 2017). Dans l'étude de Bello et al. (2003), les gestes iconiques ont ainsi aidé les participants avec un syndrome de Williams à rechercher un mot lorsqu'ils ne trouvaient pas l'étiquette verbale appropriée à l'image qu'ils avaient sous les yeux. Finalement, la recherche de Hord et al. (2016) permet de dégager quatre résultats principaux proches des fonctions relevées par Kita et al., (2017). Chez les élèves avec DI : 1), les gestes favorisent la compréhension des concepts, en particulier lorsque ceux-ci sont nouveaux ; 2) ils améliorent

la communication des concepts à d'autres personnes ; 3) ils aident à la visualisation et à la représentation mentale des données d'un problème ; 4) ils facilitent la résolution de tâches comportant plusieurs étapes en soulageant la mémoire de travail. L'abondance de gestes chez les élèves avec DI peut 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).

IV - QUESTIONS ET HYPOTHESES DE RECHERCHE

En lien avec les modèles théoriques et les résultats de la revue de littérature, plusieurs questions et hypothèses de recherche ont été formulées :

a) Quel est le nombre de gestes utilisés par les élèves avec ou sans DI dans une tâche de rotation mentale?
H1 : le nombre de gestes est plus élevé chez les élèves ayant une déficience intellectuelle que chez les enfants typiques

b) Quels sont les types des gestes utilisés par les élèves avec ou sans DI et quelles sont les variables corrélées aux différents types de gestes utilisés ?
H1 : les gestes les plus utilisés sont les gestes de pointage
H2 : les gestes iconiques sont plus utilisés par les élèves avec une DI
H3 : le niveau de langage et le niveau visuospatial influence l'utilisation des différents types de gestes

c) Comment le matériel et la possibilité d'exprimer des contenus dans les gestes permet-il aux élèves avec DI d'exprimer des compétences en rotation mentale ?
H1 : le matériel proposé en 3D offre la possibilité de faire des gestes et permet l'observation de compétences spatiales supplémentaires au test en 2D proposé sur papier crayon

V - METHODE

1 Procédure

La recherche empirique s'appuie sur un plan expérimental de type *3x2 Between Subjects Factorial Design*.[1] Elle vise l'exploration des différences entre des élèves ayant une DI et des élèves typiques appariés sur l'âge mental visuospatial et sur le niveau de langage oral. 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, le positionnement de l'expérimentateur, le temps, les tests standardisés et le cadrage vidéo. Elle a duré 8 mois et s'est déroulée en deux parties : la phase à blanc et la phase pilote. La phase expérimentale a duré 16 mois et comprend trois étapes : le recrutement des participants avec DI et le recueil des données auprès de ce groupe, 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.

[1] Cela signifie qu'il y a 3 groupes d'élèves qui vont effectuer une tâche avec deux niveaux de complexité

2 Participants

Les participants du groupe cible (avec DI) proviennent de quatre établissements différents de Suisse Romande. Tous les enseignants (8 classes) des établissements concernés désirant participer à la recherche ont identifié, puis ont tirés au sort trois à quatre élèves, parmi ceux qui, dans leur classe, correspondaient aux critères d'inclusion. Les critères pour la sélection des participants étaient les suivants : a) être âgé de 12 à 18 ans, b) être au bénéfice de prestations de l'enseignement spécialisé et avoir reçu le diagnostic de DI, c) être de langue maternelle française ou avoir une maîtrise suffisante du français parlé, c) avoir une bonne vision binoculaire, d) ne pas présenter de troubles moteurs diagnostiqués. Les parents et les enfants ont ensuite été contactés par courrier afin d'obtenir leur double-consentement. Ceux qui ont accepté ont d'abord été testés à l'aide des Matrices de Raven et leurs enseignants ont rempli l'ABAS-II (mesure du comportement adaptatif). Quatre participants ont été retirés de l'échantillon composant le groupe cible car les compétences reflétées par les tests standardisés ne permettaient pas de confirmer le diagnostic de DI. Le groupe cible compte finalement 20 élèves. Par la suite, 40 élèves typiques appariés sur le niveau visuospatial (N=20) et le niveau de langage oral (N=20) ont été sélectionnés selon leurs résultats aux tests standardisés. Les élèves composant ces groupes ont entre 3 et 11 ans.

Variables	Groupe cible DI *n*=20	Groupe contrôle visuospatial *n*=20	Groupe contrôle langage oral *n*=20
Age chronologique	Min.-max = 12-17 ans *M* = 14.85 ans	Min.-max = 4-10 ans *M* = 6.6 ans	Min.-max = 3-11 ans *M* = 7.16 ans
Genre			
Fille	*n* = 7 (35%)	*n* = 7 (35%)	*n* = 8 (40%)
Garçon	*n* = 13 (65%)	*n* = 13 (65%)	*n* = 12 (60%)
Étiologie		-	-
DI	*n* =15 (76%)		
SD	*n* =2 (9.5%)		
TSA	*n* =2 (9.5%)		
SAF	*n* =1 (5%)		
Degré de scolarisation	8H-12H[2]	1H-6H	Pré-scolaire-7H
Raisonnement analogique	*M* = 23.15 (6.76)	*M* = 23.45 (6.67)	-
Empan visuospatial	*M* = 7.20 (1.79)	*M* = 7.0 (1.21)	-
Coordination visuo-motrice	*M* = 19.60 (4.13)	*M* = 19.60 (4.03)	-
Langage oral	*M* = 66.85 (15.23)	-	*M* = 67.15 (14.81)

Notes : DI = Déficience intellectuelle ; SD = Syndrome de Down ; TSA = Troubles du spectre de l'autisme ; SAF = Syndrome d'alcoolisation fœtale ; N = Nombre ; M = Moyenne (entre parenthèses c'est l'écart-type)

[2] En Suisse, la scolarisation commence en 1H à 4 ans ce qui signifie « 1ère harmos » en référence à l'harmonisation des systèmes scolaires dans les différents cantons. La 8H est par exemple la 8e année de scolarisation, les élèves ont entre 11-12 ans. La scolarité obligatoire se termine normalement en 11H, à 15 ans, mais une 12e année est possible notamment dans l'enseignement spécialisé afin de faciliter la recherche d'une place dans le monde professionnel.

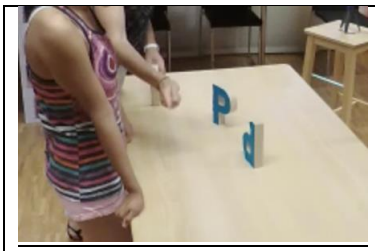
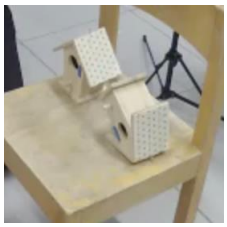
Figure 2. Tableau 2 : Présentation des trois groupes

Les élèves typiques ont été individuellement appariés aux élèves avec une déficience intellectuelle en deux groupes contrôles. Le premier groupe (TDVS) 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 du même sexe et de compétences visuospatiales similaires. Les résultats aux tests spatiaux de raisonnement analogique (Matrices de Raven), coordination visuomotrice (Beery-VMI) et d'empan visuospatial (Blocs de Corsi) ont été utilisés pour procéder à l'appariement. Les analyses préliminaires (test non-paramétrique de Friedman) ont confirmé que les deux groupes ne différaient pas au niveau du raisonnement analogique (x^2 (1) = 1.333, p=.248), de la coordination visuomotrice (x^2 (1) = .067, p=.796) et de l'empan visuospatial (x^2 (1) = 1.316, p=251), ce qui confirme la qualité de l'appariement. Le deuxième groupe contrôle (TDL) est composé de 20 enfants âgés de 3 à 11 ans (M=7.16 ans) appariés sur le niveau de langage oral calculé à partir du test de langage oral BILO-3C. Les analyses préliminaires ont confirmé que les deux groupes ne différaient pas au niveau du langage verbal (x^2 (1) = .222, p=.637), ce qui confirme que l'appariement est approprié.

3 Instruments de mesure

Afin d'analyser l'impact de différentes variables (langage oral, niveau visuospatial, motricité) sur le nombre et les types de gestes utilisés, plusieurs tests standardisés ont été choisis : le BILO-3C (Khomsi et al., 2007) permet d'établir un profil langagier de l'enfant en mesurant la compréhension orale, le jugement lexical et grammatical ainsi que le lexique. Afin de mesurer le niveau visuospatial trois tests standardisés ont été utilisés : les blocs de Corsi (1972) qui mesurent l'empan visuospatial, le Beery-VMI (Keith, et al., 2010) qui teste la coordination visuo-motrice et les Matrices de Raven (Raven, & Court, 1998), qui mesurent le raisonnement analogique visuospatial. Finalement, afin de mesurer les liens entre la capacité motrice et la réalisation des gestes, deux tests ont été utilisés : l'évaluation de la motricité gnosopraxique distale (Vaivre-Douret, 1997) et quatre sous-tests de la batterie NP-MOT (Vaivre-Douret, 2006) soit ceux mesurant la latéralité, les praxies manuelles, l'habileté oculo-manuelle et l'orientation spatiale.

Afin de mesurer les gestes et leur impact, une batterie de tâche spatiales en 3D a été construite pour cette recherche. Celle-ci mesure les trois habiletés spatiales spécifiées dans le modèle de Pittalis et Christou (2010), à savoir l'orientation spatiale, la visualisation spatiale et les relations spatiales (rotation mentale). Seuls les résultats à la tâche de rotation mentale seront présentés ici. La démarche 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 & Petitpierre, 2020). Toutes les séances ont été réalisées par la chercheuse (première auteure de cet article) dans une pièce en individuel. Ces séances ont été filmées afin de pouvoir analyser les gestes et le discours des enfants.

		
Phase 1 : Exploration de la forme	***Phase 2 : Réalisation de la tâche (niveau 1)***	**Phase 2 : Réalisation de la tâche (niveau 2)**
Une forme tridimensionnelle représentant une lettre P est mise à disposition de l'élève	Niveau 1 : La lettre R est posée de façon fixe devant l'élève. Il doit la comparer successivement aux autres	Niveau 2 : Une maison est posée devant l'élève : un pan du toit est en couleur et l'un des volets est bleu.

(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.	lettres R qui seront posées devant lui dans des positions différentes (trois lettres R sont présentées à l'élève). 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 les côtés qui ont le papier du même côté et sont identiques au modèle (forme pareillement orientée) de ceux qui en sont différents.	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 ? Trois maisons différentes sont successivement présentées. L'une est identique au modèle (toit et volet), alors que les deux autres ont soit le toit, soit le volet, soit aucun des deux repères du même côté que le modèle.

Figure 3 : La tâche « rotations et symétrie » mesurant l'habileté de relations spatiales

4 Codage des vidéos

Afin de recueillir des informations les plus précises possibles sur les gestes et le langage utilisé par les élèves, le codage des vidéos s'est fait en différentes phases : (a) à l'aide d'une grille de codage basée sur les catégories trouvées dans la littérature et élaborée lors de la phase pilote ; (b) puis, lors de l'étude expérimentale, à l'aide d'une grille enrichie tenant compte de la réalité différente de chaque tâche. Pour constituer la seconde grille, des nouvelles variables ont été ajoutées et d'autres mises de côté. Les principales catégories sont les suivantes : 1) discours, 2) nombre et types de gestes, 3) modalités, 4) fonctions en lien avec le langage, 5) fonctions spatiales, 6) interventions de la chercheuse.

Cette grille a été utilisée par un second codeur sur 10% des vidéos et toutes les divergences ont été discutées avec la chercheuse. Des précisions, parfois des nouvelles catégories, ont ainsi pu être identifiées. Finalement, un troisième codeur a effectué un interjuge sur 30% des vidéos. Pour effectuer ce codage, le logiciel ELAN (European Distributed Corpora Project [EUDICO] Linguistic Annotator), développé par le Max Planck Institute for Psycholinguistics a été utilisé.

VI - RESULTATS ET DISCUSSION

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.

1 Fréquence des gestes

La première hypothèse issue de la revue de littérature met en évidence un nombre plus élevé de gestes chez les élèves ayant une déficience intellectuelle. Les résultats de notre recherche sont présentés dans la figure 4.

	DI	TDVS	TDL
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 p< 0.01

Figure 4 : Fréquence des mots est des gestes utilisés par les élèves des trois groupes

Dans notre échantillon, le test non-paramétrique de Friedman, ne montre pas de différence significative entre le nombre moyen de gestes utilisés par les trois groupes (x^2 (2) = .347, p =.841). Toutefois, la moyenne des mots utilisés par les élèves des différents groupes est significativement différente (x^2 (2) = 15.872, p<.000). Pour cette variable, le test post-hoc de Dunn-Bonferroni montre que les élèves avec une DI utilisent significativement moins de mots que le groupe contrôle visuospatial (TDVS) (p=.034) et que le groupe contrôle langage oral (TDL) (p<.000). Ce constat rejoint les résultats des études de Stefanini et al., (2008) qui montrent un nombre de gestes équivalents entre les élèves ayant une DI et les contrôles appariés sur l'âge mental et celle d'Iverson et al., (2003) qui avaient également observé un nombre de gestes équivalent entre le groupe DI et le groupe typique ayant le même niveau de langage oral. Pour les auteurs de ces études, l'utilisation similaire des gestes dans les différents groupes peut s'expliquer par leur âge chronologique différent. En effet, chez les élèves typiques, plusieurs recherches montrent un nombre de gestes plus élevé chez les élèves plus jeunes (Özçalışkan & Goldin-Meadow, 2009). Dans notre échantillon, la moyenne d'âge des élèves avec une DI est de 14.85 ans alors que celle du groupe TDVS est de 6.6 ans et celle du groupe TDL de 7.16. Il est donc possible que le nombre élevé de gestes observé chez les élèves typiques soient dû à leur âge significativement plus bas que les élèves avec une DI. Pouvoir comparer les gestes effectués par un groupe contrôle apparié sur l'âge chronologique aurait été intéressant. Notre recherche ne permet pas de conclure sur ce point.

Si l'on compare le pourcentage de gestes et de mots utilisés par les trois groupes d'élèves, les résultats sont les suivants : les élèves avec DI utilisent les gestes à hauteur de 31% et les mots à hauteur de 69% alors que les élèves contrôle 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 par rapport au nombre de mots dans les trois groupes, des analyses complémentaires ont été menées. Celles-ci ont comparé le nombre de geste par mots utilisé dans les trois groupes d'élèves. Il est intéressant d'observer que le rapport entre le nombre gestes par mot (x^2 (2) = 27.151, p<.000) est significativement différents dans les trois groupes. En menant des tests post-hoc de Dunn-Bonferroni, il apparait que le groupe avec une DI utilise significativement plus de gestes par mot que les groupes contrôles TDVS (p=.001) et TDL (p=.000). Cela signifie que les élèves avec une DI s'appuient davantage sur le langage gestuel pour expliquer leurs stratégies alors que les élèves contrôles utilisent davantage le langage verbal.

Afin d'illustrer ce fait, un exemple tiré de l'étude est présenté ci-après. Dans cet exemple, les élèves font tous les deux exactement les mêmes gestes pour répondre (un geste de pointage puis deux gestes actions) ; par contre c'est au niveau du nombre de mot et de la clarté de l'explication verbale que se situe la plus grande différence. L'élève avec une DI utilise deux mots alors que son contrôle TDVS en prononce 35. Cette différence met donc en avant le rôle très important des gestes pour l'élève avec une DI. En effet, pour l'observateur, c'est grâce aux gestes que l'élève fait que son raisonnement est visible, alors que pour l'élève contrôle, le langage verbal permet de suivre son raisonnement.

Élève avec une DI 3

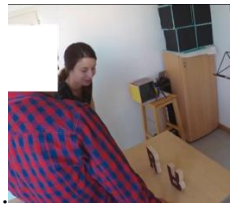
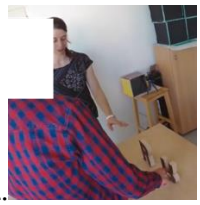
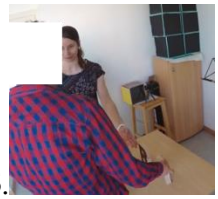
Question de l'expérimentateur : « Est-ce que les formes sont les mêmes ? «
1.  2.  3. 4. 5. 
Réponse gestuelle : L'élève pointe la forme (image 2) puis la prend pour la tourner (image 3) et la met face à l'autre (image 4). Il tourne ensuite la forme pour la mettre dans le même sens que la première (image 5)
Réponse verbale : « Non, faut tourner »

Figure 5 : Exemple d'une réponse verbale et gestuelle d'un élève avec une DI

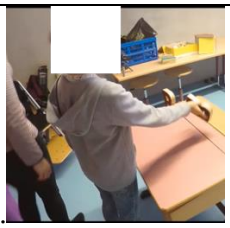
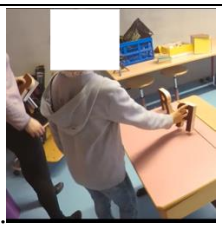
Élève contrôle TDVS 3 Question de l'expérimentateur : « Est-ce que les formes sont les mêmes ? »
1. 2. 3.  4.  5.
Réponse gestuelle : L'élève pointe la forme (image 2) puis la prend pour la tourner (image 3) et la met face à l'autre (image 4). Il tourne ensuite la forme pour la mettre dans le même sens 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. »

Figure 6 : Exemple d'une réponse verbale et gestuelle d'un élève contrôle TDVS

2 Types de gestes

La seconde question de recherche s'intéresse aux différents types de geste utilisés dans les différents groupes. L'hypothèse formulée suite à la revue de littérature stipule que les gestes de pointage sont les plus utilisés dans chacun des groupes. Cette hypothèse est validée dans notre échantillon puisque les trois groupes d'élèves utilisent significativement plus de gestes de pointage.

	DI	TDVS	TDL
Gestes de pointages	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 p< 0,05

Figure 7 : Nombre d'occurrences des types de gestes utilisés par les trois groupes

Pour le groupe avec une DI, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis (ANOVA) pour échantillons indépendants montre une différence significative entre les différents types de gestes (x^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 action (p=000). Dans le groupe TDVS (visuospatial), les résultats montrent qu'ils utilisent également significativement plus de gestes de pointage (x^2 (3) = 47.556, p = 0.00) que de gestes iconiques (p=.045), métaphoriques (p=.000) et action (p=.006). La différence est également significative pour le groupe contrôle-langage (x^2 (3) = 47.472, p<.001). Ceux-ci utilisent plus de gestes de pointage que de gestes iconiques (p=.028), métaphorique (p=.000), et action (p=.002). Pour le dernier groupe TDL (langage) cependant, la significativité corrigée par Bonferroni rend la différence entre les gestes de pointage et les gestes iconiques non-significative (p=.170). Les gestes de pointage sont donc les gestes les plus utilisés dans les trois groupes d'élève. En pourcentage, les élèves du groupe avec DI utilisent 58% de pointages, 25% de gestes iconiques, 1% de gestes métaphoriques et 16% de gestes-actions. Ceux du groupe TDVS, 54% de gestes de pointage, 26% de gestes iconiques et 20% de gestes-actions. Finalement, le groupe TDL utilise 52% de gestes de pointage, 29% de gestes iconiques et 19% de gestes-action.

Un test non-paramétrique de Friedman a ensuite été mené afin d'analyser les différences d'utilisation des gestes entre les groupes. Celui-ci ne révèle pas de différence significative. Il est donc possible de dire que les élèves avec une DI utilisent les différents types de gestes de manière similaire aux enfants typiques appariés sur le niveau visuospatial et sur le niveau verbal. Les élèves typiques étant sensiblement plus jeunes, il est possible d'émettre la même hypothèse que dans l'étude de Stefanini et al., (2007) : les élèves avec une DI utilisent les différents gestes de manière similaire aux enfants typiques mais avec un retard dans leur apparition. En revanche, ce résultat ne confirme pas la seconde hypothèse affirmant que les élèves avec une DI utilisent significativement plus de gestes iconiques que les élèves typiques. Des analyses complémentaires ont été donc été menées. Des analyses de corrélation non paramétrique de Spearman entre le niveau intellectuel mesuré par l'ABAS-II et les différents types de gestes utilisés montrent deux résultats très intéressants.

Groupe DI	ABAS-II
Gestes iconiques	.727**
Gestes actions	-.502*

** La corrélation est significative p<0.01

* La corrélation est significative p<0.05

Figure 8 : Analyses de corrélation entre le comportement adaptatif et les différents types de gestes utilisés

Dans le groupe avec une DI, plus le comportement adaptatif (qui est utilisé comme l'une des mesures de la déficience intellectuelle) est bon, plus les élèves utilisent des gestes iconiques (la corrélation entre les deux dimensions, très élevée, égale .727). À l'inverse plus les élèves ont un comportement adaptatif faible plus ils utilisent des gestes-actions (la corrélation, également très élevée, égale -.502). Cette constatation permet donc de préciser l'hypothèse précédemment formulée : dans notre échantillon, les élèves avec une DI plus légère utilisent significativement plus de gestes iconiques que les élèves ayant une DI modérée qui eux ont davantage recours aux actions réelles pour réaliser la tâche de rotation mentale. Cette nouvelle hypothèse s'intègre dans le modèle de développement de la rotation mentale proposé par Chu et Kita (2008). Les élèves avec une DI plus importante seraient donc au niveau 1 et bénéficieraient de la possibilité d'effectuer réellement l'action de tourner les objets, alors que les élèves avec une déficience plus légère peuvent déjà réaliser un geste iconique montrant la rotation qu'ils effectuent mentalement.

Afin d'analyser les variables liées à l'utilisation des différents types de gestes, des analyses de corrélations de Spearman ont été menées sur l'ensemble de l'échantillon (figure 9).

N=60	Niveau de langage oral	Empan visuospatial	Coordination visuomotrice	Raisonnement analogique
Gestes total	-.072 ns	-.020 ns	-.006 ns	-.078 ns
Gestes iconiques	.382**	.364**	.347**	.372**
Gestes actions	-.579**	-.354**	-.437**	-.420**

ns La corrélation n'est pas significative /** La corrélation est significative p<0.01 / * La corrélation est significative p<0.05

Figure 9

Si le nombre total de gestes ne corrèle pas de manière significative avec les différentes variables mesurées, deux types de gestes en revanche (les gestes iconiques et les gestes actions) corrèlent de manière systématique avec les différentes variables. Il est très intéressant d'observer que les élèves ayant un niveau de langage oral plus élevé font significativement plus de gestes iconiques que les élèves ayant un niveau de langage oral plus faible, qui eux font significativement plus de gestes-actions. Cela rejoint les conclusions de la littérature sur la co-expression des gestes et du discours (McNeill, 1992). Un niveau de langage plus élevé permet donc aux élèves de notre échantillon d'utiliser des gestes iconiques (c'est-à-dire des gestes qui montrent dans leur forme le contenu d'un mot ou d'une phrase). À l'inverse, lorsque le langage est plus faible, les élèves ont besoin de réaliser l'action réelle de rotation montrant ainsi le besoin de s'appuyer sur l'action pour pouvoir mettre des mots dessus. Dans notre échantillon ce n'est pas l'ensemble des gestes qui est plus utilisé chez les élèves ayant un niveau de langage plus faible mais uniquement les gestes-action. Étant donné les corrélations opposées au niveau des gestes iconiques et des gestes actions, il semble que celles-ci s'annulent lors de la prise en compte du nombre total de geste.

Dans la littérature, les auteurs n'ont pas pris en compte les gestes actions. Il serait dès lors très intéressant de mener de nouvelles recherches investiguant ces deux types de gestes chez les élèves avec une DI afin de confirmer ou préciser les résultats de cette recherche.

Toutes les corrélations mesurant le niveau visuospatial (empan, raisonnement et coordination visuomotrice) et les deux types de gestes (iconiques et actions) sont significatives. Ainsi, plus le niveau visuospatial est faible, moins les élèves utilisent de gestes iconiques et plus ils utilisent des gestes actions. Cette constatation rejoint les observations de Hadar et al. (1998). Dans leur étude, les auteurs ont étudié l'utilisation des gestes chez des patients ayant des déficits visuospatiaux et ils ont observés que ceux-ci utilisaient significativement moins de gestes iconiques. Les difficultés relevées par les auteurs dans les processus conceptuels pourraient être la cause de cette difficulté à utiliser des gestes iconiques. Les résultats de notre échantillon apportent une piste supplémentaire : chez les élèves ayant un faible niveau visuospatial les gestes-actions pourraient leur permettre de compenser leurs difficultés visuospatiales. Des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

En résumé, la première hypothèse est validée : les gestes de pointage sont les gestes les plus utilisés dans notre échantillon. La deuxième hypothèse est nuancée : les élèves avec une DI légère utilisent plus de gestes iconiques que les élèves avec une DI plus importante. Les élèves avec un niveau intellectuel plus bas privilégient les gestes-actions. Finalement, dans l'ensemble de l'échantillon, les élèves ayant un niveau de langage oral plus faible tout comme ceux ayant un niveau visuospatial plus bas font significativement plus de gestes-actions, alors que des niveaux plus élevés dans ces deux variables corrèlent avec une plus grande utilisation des gestes iconiques.

3 Observation des effets du matériel et des gestes sur la réussite de la rotation mentale

La dernière question de recherche s'intéresse à la manière dont le matériel tridimensionnel et la prise en considération des gestes améliorent la visibilité des performances des élèves. Cette question reprend donc le constat de Calero et al., (2019), présenté en introduction qui met en avant la nécessité de reconsidérer l'approche évaluative de l'apprentissage spatial dans le milieu scolaire pour y inclure les gestes. Afin de répondre à cette question, les élèves ont réalisé trois tâches spatiales (rotation mentale, orientation spatiale et visualisation spatiale) avec du matériel en 3D et les mêmes tâches une deuxième fois en format 2D (les éléments tridimensionnels étant dessinés sur une feuille). Afin de s'assurer de ne pas avoir de biais en faveur du matériel 3D induit par les conditions de passation, les élèves ont systématiquement réalisé les tâches en 3D avant le test sur papier.

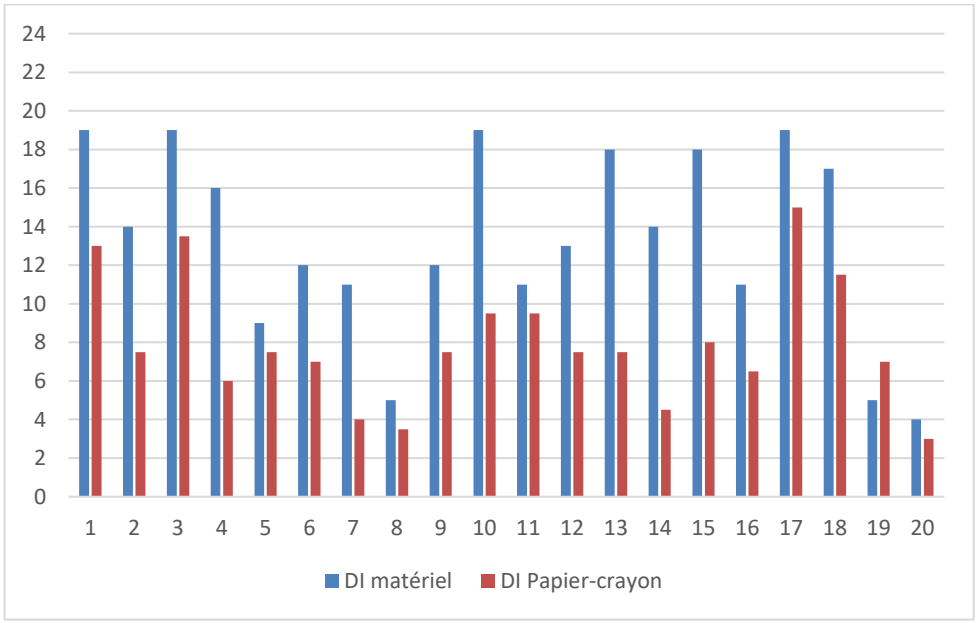


Figure 10. Scores de réussite aux tâches spatiales tridimensionnelles et sur papier-crayon (groupe DI)

Un test non-paramétrique de Kruskall-Wallis montre pour le groupe DI, une différence significative entre les scores aux tâches spatiales tridimensionnelles et les scores aux tâches sur papier crayon (x^2 (1) = 10.933, p = 0.01). Comme cela est illustré dans le graphique ci-dessus, les élèves avec une DI réussissent significativement mieux le test utilisant un matériel manipulable en trois dimensions. La prise en compte des gestes dans les réponses des élèves permet également de montrer leurs compétences (par exemple en tournant la forme correctement) indépendamment de leur compétence en langage oral. D'ailleurs la corrélation de Pearson entre le niveau de langage oral et la réussite des tâches en 3D chez les élèves avec DI n'est pas significative ce qui illustre bien 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 constitué d'enfants typiques, il est très intéressant de relever que ceux-ci réussissent également significativement mieux les tâches présentées en 3D x^2 (1) = 4.936, p = 0.026 tout comme dans le groupe contrôle TDL x^2 (1) = 4.296, p = 0.038. Ces résultats montrent qu'un dispositif d'évaluation prenant en compte les gestes et donnant la possibilité de manipuler du matériel permet à tous les élèves de montrer davantage de compétences. La significativité du test est toutefois plus forte dans le groupe avec DI. 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, ce qui illustre encore une fois la possibilité pour les élèves d'exprimer des compétences de manière multimodale. Par contre, le nombre de gestes figuratifs (iconiques + pointage + métaphorique) est lui corrélé à la réussite des tâches en 3D (r=.386** p<0.01).

Pour illustrer de manière qualitative ce que le geste apporte en plus à l'expression des concepts, une bibliothèque en images et en mots a été constituée. Celle-ci répertorie la manière dont les élèves expriment et argumentent leurs réponses. En voici un exemple :

« Non parce que là y'a » « et là aussi y'a »

Figure 11 : Illustration de la manière dont un enfant exprime, en geste (il touche la partie arrondie des deux R) et en mots, un argument visant à démontrer la différence entre les formes

Dans cette séquence, l'élève doit indiquer si la forme de droite est la même que celle de gauche après l'avoir retourné mentalement. Dans cette situation, 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 ce sur quoi l'élève porte son attention et quelle est sa justification. Par contre au travers des gestes iconiques, cela s'éclaire. En effet, l'élève suit l'arrondi du R sur la forme de gauche puis suit l'arrondi du R retourné sur la forme de droite, indiquant ainsi l'impossibilité si l'on retourne la forme que celle-ci soit dans le même sens. De nombreux autres exemples illustrent ainsi l'apport très important du geste dans les réponses des élèves. Chez plusieurs élèves, ces gestes sont d'ailleurs réalisés sans accompagnement de langage.

VII - CONCLUSION

L'objectif du présent article était de présenter les résultats préliminaires d'une recherche visant à observer l'utilisation et le rôle des gestes dans l'expression des habiletés spatiales (rotation mentale) chez les élèves ayant une déficience intellectuelle. Les résultats indiquent que :

(1) Les élèves avec une DI utilisent en moyenne autant de gestes que les élèves typiques appariés sur le niveau visuospatial et sur le niveau verbal, mais prononcent significativement moins de mots. A partir de ce constat, une analyse détaillée a montré que les élèves avec DI font significativement plus de gestes par rapport au nombre de mots prononcés en comparaison de leurs pairs typiques. Le rapport est de 1.80 fois plus de gestes par mot que le groupe TDVS et 2.03 fois plus de gestes par mot que le groupe TDL ce qui signifie que les élèves avec une DI font environ 2 fois plus de gestes par mot que leurs pairs typiques.

(2) Les élèves avec une DI, tout comme les élèves typiques, utilisent significativement plus de gestes de pointage que de gestes iconiques, métaphorique ou de gestes actions. Par contre, il n'y a pas de différence entre les groupes dans l'utilisation des différents types de gestes.

(3) Le niveau de langage oral et le niveau visuospatial sont positivement et significativement corrélés au nombre de gestes iconiques et négativement et significativement corrélés aux gestes actions. Ce qui signifie que plus les élèves ont un faible niveau de langage oral ou un faible niveau visuospatial, plus ils font de gestes action. Et plus leurs niveaux sont élevés dans ces deux variables, plus ils utilisent les gestes iconiques.

(4) Tous les élèves réussissent significativement mieux les tâches spatiales présentées avec du matériel 3D en comparaison avec les mêmes tâches présentées sur un format 2D. Ce résultat signifie qu'un environnement matériel et la prise en compte des gestes comme modalité de réponse valable augmente la possibilité pour les élèves de montrer des compétences acquises.

VIII - BIBLIOGRAPHIE (FORMAT TITRE 1)

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

Bello, A., Capirci, O., & Volterra, V. (2003). 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

Bergman, K., & Kopp, S. (2006). Verbal or visual? How information is distributed across speech and gesture in spatial dialog. P*roceedings of the 10th Workshop on the Semantics and Pragmatics of Dialogue,* 90–97

Bikner-Ahsbahs, 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, South Africa. https://eric.ed.gov/?id=ED489695

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-Delzell, 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

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*, *4(b)*, 347-360. Plenum Publishers.

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

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

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*, 420-464. Macmillan Publishing Co, Inc.

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*, 241-263. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_12

Davis, B. (2015). *Spatial Reasoning in the Early Years : Principles, Assertions, and Speculations*. Routledge.

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

Feyereisen, P., & deLannoy, J.-D. (1991). *Gesture and speech : Psychological investigations.* Cambridge University Press

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

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., 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

Hadar, U., Burstein, A., Krauss, R., & Soroker, N. (1998). Ideational gestures and speech in brain damaged subjects. *Language & Cognitive Processes*, *13*, 59–76. doi:10.1080/016909698386591

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

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.

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

INSERM (2016). *Intellectual disabilities. Collective expertise. Summary and recommendations.* Paris: Inserm Edition.

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

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

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

Khomsi, A., Khomsi, J., Parbeau-Guéno, A., & Pasquet, F. (2007). *Bilan informatisé de langage oral au Cycle III et au collège* (BILO3C). Paris: ECPA

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

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

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, soumis). Can gestures give us access to thought? A systematic literature review on the impact of co-thought and co-speech gestures in children with intellectual disabilities

Lavelli, M., & Majorano, M. (2016). *Spontaneous Gesture Production and Lexical Abilities in Children With Specific Language Impairment in a Naming Task* (world) [Research-article]. ASHA Wire; American Speech-Language-Hearing Association. 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

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

Mastrogiuseppe, 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

McNeill, D. (1992). *Hand and Mind*. The Chicago University Press.

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*, *42*, 197-243. JAI. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394388-0.00006-X

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group (2009). Prefeered reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLOS Medicine, 6*(7). DOi: 10.1371/journal.pmed.1000097.

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

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.

Raven, J.C & Court, J.H. 1998. *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*. Section 4: The Advanced Progressive Matrices. Harcourt Assessment, San Antonio, TX.

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

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

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

Tellier, M. (2009). *The development of gesture*. de Bot. Language development over the lifespan, Routledge, 191-216

Vaivre-Douret, L. (1997).*Évaluation de la motricité gnosopraxique distale (EMG) [révision et adaptation du test de Bergès-Lézine*] Paris, éd.du Centre de psychologie appliquée

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

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. https://doi.org/10.3758/s13414-019-01755-y

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