

CONSTRUCTION D'UNE BATTERIE DE TACHES SPATIALES EN 3D POUR FAVORISER L'EXPRESSION GESTUELLE DES ELEVES AYANT UNE DEFICIENCE INTELLECTUELLE

Noémie Lacombe, Thierry Dias, Geneviève Petitpierre

Département de Pédagogie Spécialisée, Université de Fribourg et Haute Ecole Pédagogique du Canton de Vaud, Lausanne

Le travail avec du matériel tridimensionnel est propice à l'observation des compétences et des concepts que l'élève est susceptible de manifester, non seulement en mots mais également « en actes » (Lunkenbein, Allard & Goupille, 1983). Afin d'observer précisément les gestes des élèves lorsque ceux-ci pensent et agissent avec du matériel, une batterie de tâches spatiales tridimensionnelles a été élaborée pour la présente recherche. En effet, parmi les tests recensés dans la littérature scientifique, il apparaît qu'aucun d'eux n'évalue les habiletés spatiales tridimensionnelles à l'aide de matériel en 3D, ils utilisent tous le format papier-crayon ou l'informatique. Cet article présente les étapes de construction de la batterie de tâches spatiales à partir des tests présentes dans la littérature scientifique ainsi que des exercices proposés par les Moyens d'enseignement romands (Suisse Romande). Finalement une réflexion est menée sur le potentiel d'utilisation de ce dispositif.

INTRODUCTION

L'analyse des gestes dans le domaine spatial, nous 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 (Lunkenbein, Allard & Goupille, 1983, p.82).

Les recherches menées dans le domaine spatial chez des élèves présentant une déficience intellectuelle sont rares (Hord & Xin, 2015). Cette constatation rejoint celle de Browder, Spooner, Ahlgrim-Delzell, Harris et Wakeman (2008) qui, dans leur méta-analyse des études expérimentales et quasi-expérimentales publiées entre 1975 et 2005 à propos des élèves avec une déficience intellectuelle ou un trouble du spectre de l'autisme, relèvent que seuls 3% portent sur des contenus géométriques. Dans leur synthèse de recherche sur l'enseignement de la géométrie chez des élèves avec et sans troubles d'apprentissage, Bergstrom et Zhang soulignent également que l'enseignement de la géométrie est un sujet important « mais souvent négligé dans la recherche et la pratique de l'éducation actuelle » (2016, p.134). Ainsi, l'étude du domaine spatial chez des élèves ayant une déficience intellectuelle apparaît nécessaire et opportune. Toutefois ce constat se heurte à une réalité : les tests et épreuves standardisés utilisés pour mesurer les habiletés spatiales et géométriques tridimensionnelles se font souvent à l'aide d'exercices papier-crayon. Cette forme d'évaluation limite la possibilité d'observer les activités mentales de l'individu par le biais des actions concrètes sur les objets (Lunkenbein, Allard & Goupille, 1983). Or les recherches le montrent : le travail avec du matériel tridimensionnel est propice à l'observation des compétences et des concepts de l'élève, même si celui-ci ne peut pas les exprimer avec des mots (Kim, Roth & Thom, 2011 ; Kita, Alibali & Chu, 2017). Une batterie de tâches visant à observer et à analyser les gestes et manipulations que font les élèves en les considérant comme des vecteurs de leurs concepts, représentations et/ou habiletés

tridimensionnelles a donc été élaborée dans le cadre de la recherche de doctorat¹ de l'auteure du présent article. La première section de cet article définira les trois habiletés spatiales qui ont servi de référence pour la construction des tâches, puis le choix de trois tâches relatives aux trois habiletés spatiales sera exposé en partant des Moyens d'enseignement romands (Chastellain & Jaquet, 2001) et des tâches utilisées dans la littérature scientifique. Finalement, une analyse didactique des tâches retenues sera menée afin d'ouvrir sur les perspectives qu'offre la batterie.

HABILETÉS SPATIALES OU HABILETÉS GÉOMÉTRIQUES : DÉFINITION

Lorsqu'on souhaite analyser un processus d'apprentissage dans le domaine spatial, il est nécessaire de distinguer entre la géométrie tridimensionnelle : « connaissance et classification des divers types de solides, leurs structures, leurs éléments, leurs propriétés géométriques et métriques » (Gutiérrez, 1992, p.34) et les habiletés spatiales définies comme « l'ensemble des habiletés de représentation, de transformation, de génération et d'utilisation d'information non linguistique » (Gutiérrez, 1992, p.34). Dans la présente étude ce sont les habiletés spatiales qui seront étudiées, car plusieurs recherches s'accordent sur le fait qu'un entraînement spécifique des habiletés spatiales permet d'améliorer ensuite les compétences en géométrie (Clements & Sarama, 2007 ; Gutiérrez 1996, Presmeg, 2006 ; Pittalis & Christou, 2010). Le travail sur les habiletés spatiales améliorerait même les compétences dans les autres domaines des mathématiques selon Chen et Mix (2014) qui ont montré qu'une intervention sur les capacités de rotation mentale permet d'améliorer la capacité des élèves de 6 à 8 ans à résoudre des additions lacunaires.

Dans la littérature spécifique, on trouve plusieurs définitions des habiletés spatiales et de leurs sous-dimensions. Dans l'étude de Pittalis et Christou (2010), les auteurs ont testé 269 élèves de 11 à 15 ans à l'aide de quatre variantes différentes de modèles afin de retenir le modèle statistiquement valide. Leurs résultats confirment que les habiletés spatiales et les habiletés géométriques sont des compétences distinctes et définissent trois types d'habiletés spatiales : orientation spatiale, visualisation spatiale et relations spatiales. **L'orientation spatiale** est définie comme la capacité des élèves à effectuer des transformations dans lesquelles le cadre de référence change par rapport à l'environnement ; le sujet change donc de place dans l'environnement (Hegarty & Waller, 2004). Les tests et épreuves classiques mesurant l'orientation spatiale demandent par exemple au sujet d'imaginer un objet depuis différentes perspectives ou de s'imaginer à différents endroits du plan d'une ville (Kozhevnikov & Heagarty, 2001). **La visualisation spatiale** « fait référence à la capacité de comprendre des mouvements imaginaires dans un espace tridimensionnel ou de manipuler des objets dans l'imaginaire² » (Pittalis & Christou, 2010, p.195). Pour Lohman (1988) la visualisation spatiale nécessite une séquence de transformations d'une représentation spatiale : il s'agit par exemple d'imaginer un cube à partir de son patron déplié. Finalement, **les relations spatiales** sont définies comme « la capacité de faire tourner mentalement (pivoter) un objet dans son ensemble correctement et rapidement » (Pittalis & Christou, 2010, p.195). Les tests existants mesurant cette habileté proposent, par exemple, d'effectuer des rotations mentales de solides ou de formes en 2D.

¹ Cette thèse est réalisée sous la co-direction des Professeurs Thierry Dias (HEP-VD) et Geneviève Petitpierre (Université de Fribourg).

² "The spatial visualisation factor refers to the ability to comprehend imaginary movements in a three-dimensional space or the ability to manipulate objects in imagination" (Pittalis & Christou, 2010).

TÂCHES UTILISÉES DANS LA MESURE DES HABILETÉS SPATIALES EN 3D DANS LES MOYENS D'ENSEIGNEMENT ROMANDS

Afin de constituer la batterie de tâches spatiales tridimensionnelles, le Plan d'étude romand (PER) et les Moyens d'enseignement romands (MER) en mathématiques (Chastellain & Jaquet, 2001) ont été consultés. Il est intéressant de lire dans le PER que « la représentation en perspective de solides, [...] et la visualisation d'un corps dans l'espace sont des obstacles importants qui sont renforcés par l'insuffisance des images mentales des solides ». Les auteurs soulèvent une observation rapportée par la littérature ; autrement dit le fait que la visualisation dans l'espace, est une compétence qui nécessite d'être travaillée pour elle-même, car elle a un impact sur la géométrie tridimensionnelle. Dans les MER, on trouve quelques tâches qui mobilisent spécifiquement les habiletés spatiales tridimensionnelles (en dehors des tâches de géométrie tridimensionnelle). Dans le manuel pour l'enseignant, les auteurs expliquent comment développer la « vision spatiale » (livre du maître, 7H, p.194) chez les élèves. Ci-dessous, voici quelques exemples des tâches qu'ils proposent.

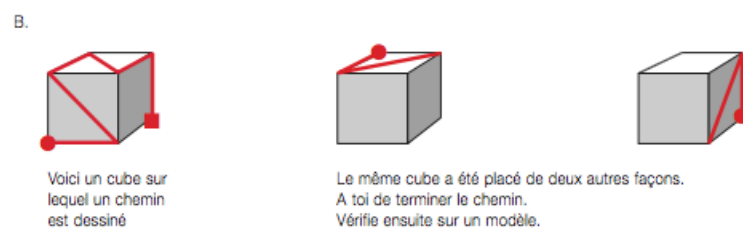


Fig. 1 : Exemple d'une tâche spatiale du manuel 7H (Thème 10 fiches 4-5, p.73-74)

Cette tâche mobilise à la fois la visualisation spatiale, puisqu'il s'agit de placer des repères à différents endroits d'un même cube, mais également la capacité à faire tourner ce cube mentalement ce qui sollicite les habiletés de relations spatiales.

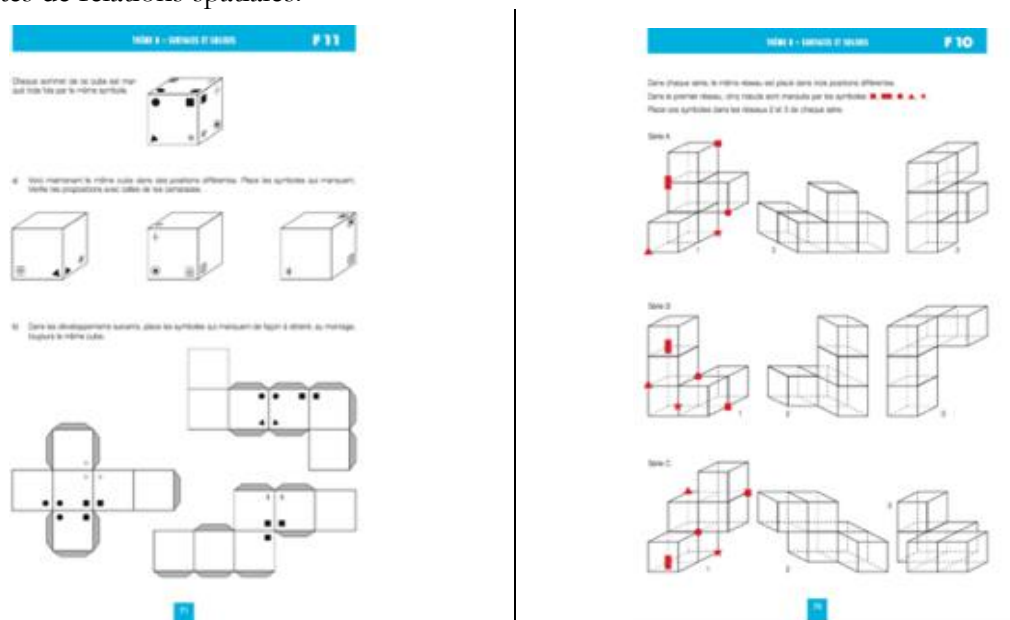


Fig. 2 : Tâches spatiales du manuel 8H (Thème 8 fiches 11-12 p.70-71)

Ces deux tâches du manuel de 8H mobilisent principalement la visualisation spatiale puisqu'elles demandent aux élèves d'effectuer une séquence complexe de manipulations mentales (Kozhevnikov & Heagarty, 2001). Ceux-ci doivent par exemple s'imaginer un cube à partir de son patron déplié. Ces tâches mobilisent aussi la capacité de relations spatiales puisque dans la seconde tâche les élèves doivent faire tourner la forme dans l'espace sans que leur angle de vue ne change.

TÂCHES UTILISÉES DANS LA MESURE DES HABILITÉS SPATIALES TRIDIMENSIONNELLES DANS LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Cinq tests standardisés (utilisés dans un grand nombre de recherche) ont été identifiés : *Kit of Factor-Referenced Cognitive Test* (Ekstrom, French, Harman & Dermen, 1976); *The Spatial Visualization Test* [SVT] (MGMP, 1983); *The Mental Rotation Test* [MRT] (Vandenberg & Kuse, 1978, adapté et validé pour une population francophone par Albaret & Aubert, 1996) ; *The Spatial abilities test* (Pittalis & Christou, 2010) ; *The Measure of the Ability Form Spatial Mental Imagery* [MASMI] (Campos, 2009). Chacun de ces tests est proposé dans la littérature sous forme « papier-crayon » et la 3D est donc représentée en perspective. Pour certaines tâches, cela complique l'exécution : le rendu de la 3D sous forme de dessin n'est pas toujours bon et peut modifier considérablement les stratégies utilisées. C'est pourquoi, compte tenu du thème de la thèse consistant à étudier les manipulations d'objets en 3D, la décision d'adapter les épreuves avec des objets concrets en 3D a été prise. La complexité des tâches a également été adaptée à l'âge des élèves. En effet, dans la plupart des tests considérés, le niveau de complexité des tâches est très élevé, ces tests ayant été validés dans des populations typiques de 15-19 ans pour le MRT, de 19-23 ans pour le MASMI ou encore utilisés principalement avec des adultes pour le SVT en raison de sa trop grande complexité pour les élèves de l'école élémentaire (Erkek, Isiksal & Cakiroglu, 2017).

Dans les épreuves qui mesurent les capacités **d'orientation spatiale**, on trouve fréquemment des constructions en 3D où l'élève doit dessiner ou choisir les différentes vues de face. Le test *Spatial Visualization Test* (SVT) (MGMP, 1983) et le *Spatial abilities test* (Pittalis & Christou, 2010) comporte un grand nombre d'exercices demandant au sujet d'imaginer les différents côtés d'une construction composée de petits cubes.

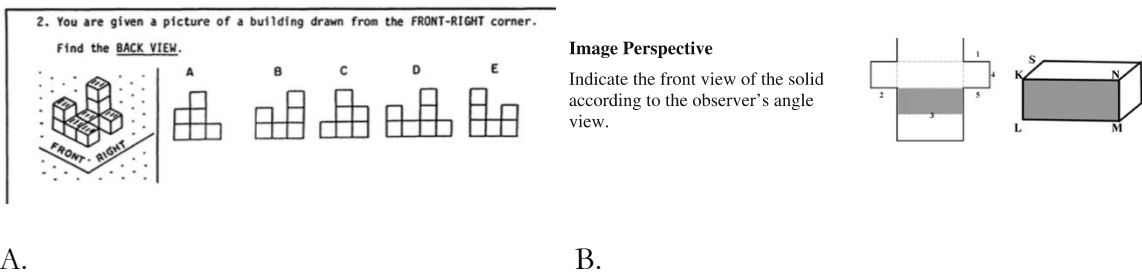


Fig. 3 : Items mesurant l'orientation spatiale dans les tests de A. *Spatial Visualization Test* (SVT) (MGMP, 1983) et B. *Spatial Abilities test* de B. Pittalis & Christou (2010)

Afin de mesurer les habiletés de **visualisation spatiale**, Campos (2009) a récemment créé un test mesurant avec une grande précision les habiletés de l'individu. Ce test consiste à proposer le patron d'un cube (cube déplié) aux élèves en leur demandant ensuite de dire quels sont les cubes analogues au patron parmi ceux présentés en dessous. Ce type de tâche (sous une forme un peu différente) est aussi présent dans le test de Pittalis et Christou (2010).

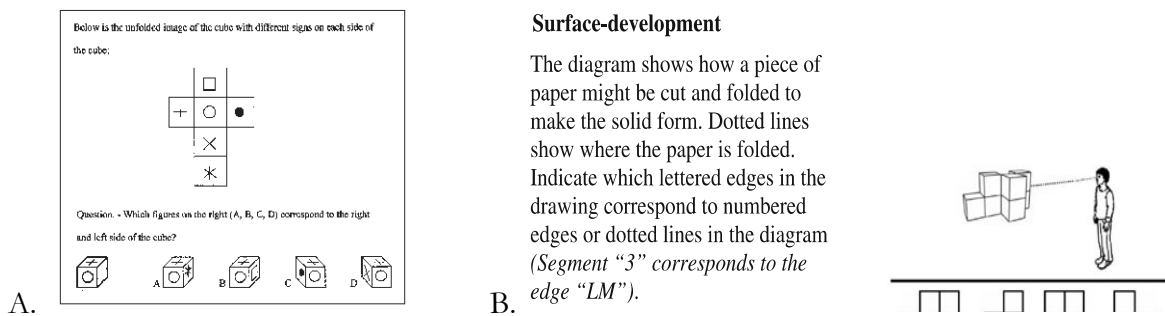


Fig. 4 : Exemple d'items du test A. MASMI (Campos, 2009) et du B. « Spatial Abilities test » (Pittalis & Christou, 2010) mesurant la visualisation spatiale

Le *Manual for Kit of Factor-Referenced Cognitive Test* d'Ekstrom, French, Harman & Dermen (1976), permet de mesurer 23 habiletés cognitives dont la visualisation spatiale et les habiletés de **relations spatiales** au travers du *Card Rotation test* et du *Cube Rotation Test*. Le *Card Rotation Test* demande aux participants de dire si différentes rotations d'une forme (d'un B par exemple) correspondent bien à une rotation du premier (et non pas à une symétrie axiale + rotation).

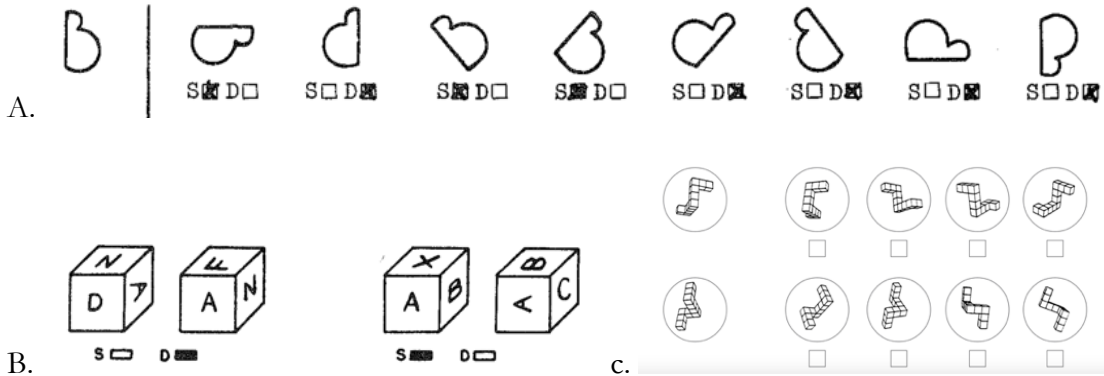


Fig. 5 : Exemple du test mesurant les relations spatiales A *Card Rotation* puis du B *Cube Comparison Test* (Ekstrom *et al.*, 1976) et du C *Test de Rotation Mentale* (MRT, Vandenberg & Kuse, 1978)

Les autres tâches mesurant les relations spatiales dans les différents tests sont principalement dérivées du MRT. Dans ces items (exemple ci-dessus dans la Fig. 5), les sujets ont une première forme qui leur est présentée à gauche puis différentes rotations de cette forme à droite. Les personnes doivent choisir quelles formes de droite sont identiques au modèle de gauche.

CONSTRUCTION ET ANALYSE DIDACTIQUE DES TÂCHES DE LA BATTERIE

Le mot d'analyse a priori désigne ce moment où le concepteur d'une situation didactique en retarde la réalisation en classe pour « mettre à plat ses a-priori », et expliciter ses présupposés théoriques (Mercier & Salin, 1988, p.2).

Chacune des tâches retenues dans la batterie se compose de trois phases :

- Phase 1 : appropriation du matériel qui va être utilisé ;
- Phase 2 : réalisation de la tâche avec un exemple, puis deux niveaux de complexité ;
- Phase 3 : questions métacognitives posées à l'élève sur son processus de réflexion sous la forme d'un entretien cognitif au sens de Collins (2003).

Les trois tâches du dispositif ont pour but l'évaluation des connaissances de l'élève. Le fait que les élèves puissent ne résoudre aucune des tâches est une réalité constitutive de la démarche d'évaluation (même en proposant un exemple et deux niveaux de complexité). Les élèves n'ont en principe pas de prérequis à posséder au niveau spatial pour entrer dans les tâches. Les seules conditions sont une bonne vision binoculaire (vision de la profondeur) et pas de dyschromatopsie (insuffisante discrimination des couleurs).

Tâche mesurant les habiletés d'orientation spatiale : « Autour des Cubes »

Phase 1 : Exploration de la construction



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 angles de vue différents (devant, gauche, arrière, droite). Cet arrangement de cube a été choisi pour que ces 4 angles de vue soient distincts les uns des autres.

Phase 2 : Réalisation de la tâche.



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.



Niveau 2 : Après un nouveau tour de la construction, l'élève se place derrière le lutrin sur lequel sont représentées (en vues de face) les 4 positions différentes de la construction. L'expérimentateur se déplace dans les différentes positions et l'élève (qui ne peut plus se déplacer) doit choisir parmi les schémas, celle qui correspond au point de vue de l'expérimentateur.

Dans cette tâche les questions métacognitives (par exemple : Qu'est-ce qui te permet de choisir cette photo / Comment fais-tu pour choisir cette photo ? Es-tu sûr de ton choix etc.) sont adressées directement à l'élève après chacune de ses réponses.

Tâche mesurant les habiletés de visualisation spatiale : « Du patron au cube »

Phase 1 : Exploration du patron du cube



L'élève reçoit le patron d'un cube en polydrons³ posé devant lui. Chaque face présente une couleur différente. L'expérimentateur demande à l'élève de constituer le cube.

³ Polygones articulables.

Phase 2 : Réalisation de la tâche



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 3D 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.

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.

Phase 3 : L'élève répond à plusieurs questions métacognitives (Comment as-tu fait pour placer les couleurs ? / etc.) à la fin de la tâche. Les questions ne sont pas posées lorsqu'il complète le cube, afin de ne pas couper l'élève dans sa réflexion.

Tâche mesurant les habiletés de relations spatiales : « Rotations et symétries »

Phase 1 : Exploration de la forme



Une forme tridimensionnelle représentant une lettre R est mise à disposition de l'élève (sur l'une des faces est collé un papier brun). L'élève peut prendre la forme dans sa main et la manipuler comme il le souhaite afin de l'observer. Le niveau 2 utilise une maison avec deux repères collés (un pan du toit et un volet).

Phase 2 : Réalisation de la tâche



Niveau 1 : La lettre R est posée de façon fixe devant l'élève et celui-ci doit la comparer aux autres lettres R posées devant lui dans des positions différentes (trois R sont successivement présentés à l'élève) pour déterminer s'ils correspondent ou non à une rotation du premier R. 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).



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 ont été construites, certaines sont identiques au modèle (toit et volet) alors que d'autres ont soit le toit, soit le volet, soit aucun des deux repères du même côté que le modèle.

Phase 3 : Après chaque réponse de l'élève, des questions lui sont posées sur sa manière de procéder.

L'analyse didactique des tâches choisies se base sur la procédure proposée dans les travaux sur l'ingénierie didactique (Artigue, 1988), qui consiste à identifier les savoirs mathématiques en jeu dans la tâche, les procédures, les obstacles et facilitateurs. Ce type d'analyse rejoint l'analyse écologique de la tâche utilisée notamment par Morineau (2010, p.98) et qui prévoit une description des contraintes liées à la tâche, aux

stratégies, aux caractéristiques organisationnelles ainsi qu’aux compétences des opérateurs. La construction de la batterie de tâches a nécessité un processus alternant des phases d’analyse *a priori*, des phases de prétest auprès d’un petit nombre d’enfants aux caractéristiques très diversifiées, et des phases d’analyse *a posteriori* menant à des modifications dans les variables, le temps, le matériel ou l’organisation des tâches. Il est donc difficile de donner ici une seule analyse didactique des tâches, c’est pourquoi une synthèse des difficultés des élèves ayant amené aux principaux réaménagements sera présentée.

	Élaboration des tâches V 1.0	Phase blanc à	Premier réaménagement des tâches V 1.1	Phase pilote	Second réaménagement des tâches V 1.2	Groupe expérimental
Nombre de participants		N = 9		N = 4		N = 20
Analyse	<i>A priori</i>	<i>A postriori</i>	<i>A priori</i>	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>	<i>A posteriori</i>
Période	Janvier-avril 2018	Mai-juin 2018	Juillet-août 2018	Septembre -décembre 2018	Janvier-février 2019	Mars-Juin 2019

Fig. 6 : Différentes phases d’analyse pour construire la batterie de tâches

Analyse des tâches

TÂCHE D’ORIENTATION SPATIALE : PRINCIPALES DIFFICULTÉS OBSERVÉES ET RÉAMÉNAGEMENTS PROPOSÉS (SOUS FORME DE VIGNETTES) :

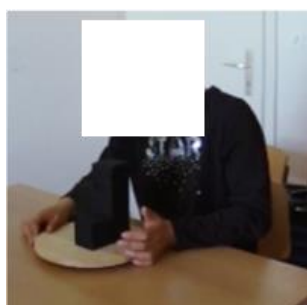


M. marche autour de la construction mais ne s’arrête qu’un bref instant devant les différents angles de vue. Il ne prend pas le temps de regarder comment se présente le positionnement des cubes les uns par rapport aux autres en fonction de l’angle de vue. Cette difficulté a été observée plusieurs fois. C’est pourquoi, afin de favoriser l’observation active des points de vue, il a été décidé que l’expérimentateur ferait le tour de la construction avec

l’élève en lui posant des questions (Que vois-tu ? Qu’est-ce qui a changé ? Est-ce qu’on voit tous les cubes depuis ici ?). Des repères au sol (pieds) ont également été placés.



M. se place derrière le lutrin et choisit l’image correspondant à son point de vue. Toutefois lorsque l’expérimentateur change de place, M. continue de désigner l’image correspondant à son point de vue. Sa difficulté est donc de se mettre à la place d’autrui. Dans ce cas, dans la phase d’exemple, l’expérimentateur tournera une nouvelle fois autour de la construction et permettra à l’élève de faire des aller et retour entre la construction et le panneau afin de visualiser/expérimenter à nouveau les différents points de vue.



Deux autres variantes de la tâche ont été testées avec les élèves. Ces variantes proposent aux élèves d’autres formes de représentation de la construction. 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 de son plateau et de la grande construction correspondent. Ensuite, le chercheur se place depuis un autre angle de vue et l’élève doit tourner le plateau pour mettre face à lui la vue que le chercheur a depuis sa nouvelle position. Cette présentation a l’avantage de permettre à l’élève d’effectuer réellement la rotation comme celle que le chercheur effectue.

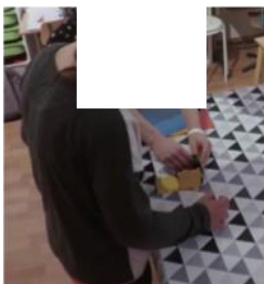
Nous avons remarqué que pour certains élèves cette condition, qui permet la réalisation de la rotation par l'action propre, facilite la tâche. Mais pour d'autres (et c'est la majorité), il est très difficile de mettre face à eux le point de vue du chercheur, ils ont envie de laisser la construction identique à ce qu'ils voient, eux surtout pour la position 3 (en face) ce qui ne correspond plus à une rotation mentale de la figure. Cette variante n'a donc pas été retenue pour cette tâche.



La seconde variante envisagée est de proposer les constructions directement en 3D devant le sujet à la place des photos afin de rester dans le registre de représentation en 3D. Il est intéressant de relever que cette présentation ne change pas la performance parmi les élèves testés (N=13) par rapport à la présentation sous forme de photos. Si l'élève n'arrive pas à imaginer les cubes depuis un autre point de vue que le sien, il rencontre des difficultés identiques avec la représentation en photo et la représentation en 3D.

TÂCHE DE VISUALISATION SPATIALE : PRINCIPALES DIFFICULTÉS OBSERVÉES ET LES RÉAMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

Pour la tâche de **visualisation spatiale**, l'activité choisie se base sur le test de Campos (2009), les élèves ont donc le patron d'un cube devant eux. La variable des couleurs a été choisie pour différencier les faces plutôt que les symboles utilisés par Campos (2009) ou par Ekstrom et son équipe (1976). L'avantage dans l'utilisation d'un repérage par des couleurs est qu'il est indépendant de l'orientation. Pour les cas de dyschromatopsie (mauvaise distinction des couleurs), des animaux en papier ont été placés sur les différentes faces. Initialement, le second niveau était plus complexe que celui gardé dans la version finale puisque le niveau 2 utilisait un autre développement du cube que le celui en forme de T. Toutefois, lors de la phase de test à blanc, il s'est avéré que le niveau 2 était trop complexe pour les élèves (il engendrait un effet plafond), seul le développement en forme de T a donc été retenu dans le cadre de la batterie.



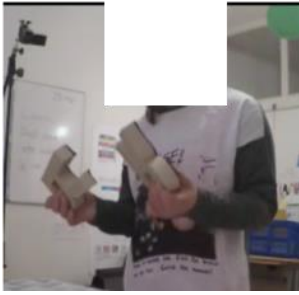
M. n'a jamais vu de cube déplié (patron) et ne sait pas comment le constituer en cube. Elle n'a donc pas de repère pour placer les couleurs. Dans ce cas, et afin de prévenir cette difficulté, la question suivante sera systématiquement posée à chaque élève dans la phase d'appropriation : Sais-tu ce que c'est ? Si l'élève ne sait pas, il pourra s'entraîner à former un cube à partir du patron autant de fois que nécessaire : il s'agit *in fine* qu'il soit capable de construire le cube en autonomie.



M. ne fait pas le lien entre le patron (cube déplié) et les différentes faces du cube blanc en carton. Une phase intermédiaire a été envisagée : demander à l'élève de compléter le cube blanc à partir du cube en polydron et non de son patron. Cette variante a été testée avec la seule élève de l'échantillon qui n'a pas pu entrer dans la tâche avec le patron, mais elle n'a pas réussi non plus à effectuer une comparaison cube-cube. Cette variante n'a donc pas été retenue parmi les adaptations.

TÂCHE DE RELATIONS SPATIALES : PRINCIPALES DIFFICULTÉS OBSERVÉES ET RÉAMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

Pour la tâche mesurant **les relations spatiales**, la tâche choisie s'appuie principalement sur le test *Card Rotation (A)* (Ekstrom *et al.*, 1976). Une lettre est présentée à l'enfant, dans ce cas il s'agit de la lettre R qui sert de référence, et l'enfant doit trouver celles analogues au modèle. Le fait de choisir une lettre comme forme de référence (la lettre R ou la lettre B comme dans la tâche d'Ekstrom *et al.*, 1976) a plusieurs avantages. Tout d'abord, il s'agit d'une forme familière aux élèves. Ensuite un R, même tourné dans tous les sens, ne ressemble à aucune autre lettre.



Il existe toutefois un désavantage au choix d'une lettre comme forme de référence, M. voit un R retourné à l'envers et dit « non ce n'est pas un R, il est retourné ». Afin de prévenir cette difficulté liée à la consigne et clarifier ce que veut dire « même », un exemple (comportant 3 rotations différentes) sera effectué avec une autre lettre. L'élève pourra tourner lui-même la forme pour la remettre dans le même sens que le modèle. A ce moment-là, nous discuterons des raisons de sa réponse afin d'être sûr qu'il n'y ait pas de biais dans la compréhension de la consigne. L'exemple sera répété autant de fois que nécessaire.



Une autre variante de la tâche s'appuyant sur l'épreuve de Gutiérrez (1992) a été testée dans la phase à blanc. Dans son test mesurant les rotations mentales, Gutiérrez (1992) a utilisé des polyèdres placés dans différentes positions. Les élèves devaient trouver ceux qui étaient bien des rotations du modèle. La particularité du test de Gutiérrez (1992) est d'avoir introduit des leurres en modifiant les propriétés de certains polyèdres. Pour la présente étude, la tâche de Gutiérrez avait donc été adaptée avec de vrais polyèdres en 3D (baguettes de bois et connecteurs plastiques).

Parmi trois polyèdres, les élèves devaient trouver celui qui n'était pas le même que le modèle. L'inconvénient de cette tâche c'est qu'elle ne mesure pas uniquement l'habileté de rotation mentale, mais aussi les connaissances géométriques préalables notamment celles des propriétés des figures de l'élève. En raison des difficultés à différencier les causes des erreurs (due à l'habileté de rotation mentale ou à des connaissances géométriques), cette variante n'a pas été retenue.

EN CONCLUSION : QU'EST-CE QUE CES TÂCHES POURRAIENT SUSCITER COMME ADAPTATIONS PÉDAGOGIQUES ET COMME INTÉRÊT POUR LA RECHERCHE ?

Le dispositif proposé a pour but de permettre aux élèves de résoudre des tâches spatiales tridimensionnelles en utilisant du matériel concret en trois dimensions, afin d'observer leurs compétences et la manière dont ceux-ci expriment leurs habiletés au travers de gestes (ou de mots) notamment. Une comparaison entre un test papier-crayon et le dispositif créé a également été réalisée et confirme l'hypothèse selon laquelle l'utilisation de matériel tridimensionnel réel permet à l'élève d'exprimer davantage de compétences en actes. Comme mentionné en introduction, le rôle des gestes dans l'apprentissage des mathématiques fait l'objet de nombreuses recherches actuelles qui suggèrent que leurs implications sont importantes dans les processus de conceptualisation et d'expression des savoirs mathématiques (pour une synthèse : Lacombe, Petitpierre & Dias, sous presse). Produire des gestes serait un outil puissant pour faciliter l'apprentissage, plus précisément apprendre en faisant des gestes permettrait d'incorporer les gestes à une compréhension durable des concepts mathématiques (Wakefield, Congdon, Novack, Goldin-Meadow & James, 2019). Les gestes faciliteraient même la pensée créative des enfants en leur permettant d'avoir accès à un plus large éventail d'idées (Kirk & Lewis, 2016).

Si comme le relèvent Kim, Roth et Thom (2011), certains domaines de pensée ne sont pas directement accessibles par le langage verbal, cela est particulièrement vrai pour les élèves ayant une déficience intellectuelle comme le montre en détail le rapport de l'INSERM (2016) sur la déficience intellectuelle :

En cas de déficience légère c'est surtout la fonction idéique-représentationnelle qui est affectée (symboliser la réalité, traiter l'information, conceptualiser et imaginer). Il en résulte 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 (Inserm, 2016, p.500).

La prise en compte de la dimension gestuelle dans le cadre de l'analyse des processus de conceptualisation mathématique pourrait ouvrir de nouvelles perspectives innovantes d'enseignement-apprentissage offrant

aux élèves la possibilité de montrer leur compétence au travers d'une approche multimodale. Un bel exemple est cette jeune fille de 16 ans atteinte de trisomie 21 : elle a beaucoup de difficulté avec le test papier-crayon ; par contre, dans la tâche de visualisation spatiale (le cube à compléter) elle place correctement l'ensemble des couleurs du niveau 1. Elle effectue des mouvements remplis de sens (qui montrent son cheminement mental) et constate avec fierté qu'elle a réussi.

BIBLIOGRAPHIE

- Albaret, J.-M., Aubert, E. (1996). Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evolutions psychomotrices*, 8(34), 269-278.
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 281-308.
- Bergstrom, C., Zhang, D. (2016). Geometry interventions for K-12 students with and without disabilities: A research synthesis. *International Journal of Educational Research*, 80, 134-154.
- Browder, D.-M., Spooner, F., Ahlgrim-Delzell, L., Harris, A.A. & Wakeman, S. (2008). A Meta-Analysis on teaching mathematics to students with significant cognitive disabilities. *Exceptional Children*, 74(4), 407-432.
- Campos, A. (2009). Spatial imagery: a new measure of the visualization factor. *Imagination, cognition and personality*, 29(1), 31-39.
- Chastellain, M & Jaquet, J. (2001). *Mathématiques cinquième année*. Fribourg : COROME.
- Chastellain, M & Jaquet, J. (2001). *Mathématiques sixième année*. Fribourg : COROME.
- Chen, Y.L. & Mix, K. (2014). Spatial Training Improves Children's Mathematics Ability. *Journal of Cognition and Development* 15(1), 2-11.
- Clements, D.-H. (2004). Geometric and spatial thinking in early childhood education. Dans D. H. Clements & J. Sarama (dir.), *Engaging young children in mathematics: standards for early childhood mathematics education* (pp. 267–297). Mahwah: Taylor & Francis.
- Clements, D. H. & Sarama, J. (2007). Effects of a preschool mathematics curriculum: Summative research on the building blocks project. *Journal for Research in Mathematics Education*, 38(2), 136–163.
- Collins, D. (2003). Pretesting survey instruments: an overview of cognitive methods. *Quality of Life Research*, 12, 229-238.
- Ekstrom, R.B., French, J.W., Harman, H.H. & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton: Educational Testing Service.
- Gutiérrez, A. (1992). Exploring the links between van Hiele levels and 3-dimensional geometry. *Structural Topology*, 18, 31–48.
- Erkek, Ö., Isiksal, M., Cakiroglu, E. (2017). On Pre-Service Teachers Spatial Visualization Ability and Spatial Anxiety. *Kastamonu Education Journal*, 25(1), 33-50.
- Hegarty, M. & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175–191.
- Hendroanto, A., Budayasa, I. K., Abadi, A., Van Galen, F. & Van Eerde, H. A. A. (2015). Supporting Students' spatial Ability in Understanding Three-Dimensional Representations. Dans SEA-DR, actes du 3rd South East Asia Design/Development Research. Universitas Sriwijaya : Palembang.
- Hord, C. & Xin, Y. P. (2014). Teaching area and volume to students with mild intellectual disability. *The Journal of Special Education*, 49(2)118–128. <http://dx.doi.org/10.1177/0022466914527826>.
- INSERM (2016). *Déficiences intellectuelles. Expertise collective. Synthèse et recommandations*. Paris : Editions INSERM.

- 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.
- 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.
- Kirk, E. & Lewis, C. (2017). Gesture facilitates children's creative thinking. *Psychological Science*, 28(2), 225-232. <http://dx.doi.org/10.1177/095679761667918>
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object-manipulation and perspective-taking spatial abilities. *Memory and Cognition*, 29, 745–756.
- Lacombe, N., Petitpierre G. & Dias, T (sous presse). Observer les gestes pour analyser les habiletés spatiales tridimensionnelles des élèves ayant une déficience intellectuelle. *Revue Suisse de Pédagogie Spécialisée*.
- Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. Dans R. J. Sternber (dir.), *Advances in the psychology of human intelligence* (vol. 4; pp. 181-248). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- 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. doi:10.7202/900399ar
- Middle Grades Mathematics Project [MGMP] (1983). *Spatial Visualization Test*. Department of Mathematics, Michigan State University.
- 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.
- Presmeg, N. (2006). Research on visualization in learning and teaching mathematics. Dans A. Gutierrez & P. Boero (dir.), *Handbook of research on the psychology of mathematics education: Past, present and future* (pp. 205–236). Rotterdam: Sense.
- Mercier, A. & Salin, M. H. (1988). L'analyse a priori, outil pour l'observation. Actes de l'Université d'été « Didactique et formation des maîtres à l'École Élémentaire ». 1-3. Bordeaux: IREM de Bordeaux
- Morineau, T. (2010) « La méthode TMTA d'analyse écologique de la tâche et son application à une tâche pratique », *Le travail humain*, 2(73), 97-122. Doi: 10.3917/th.732.0097
- Vandenberg, S.G. & Kuse, A.R., (1978). Mental Rotations, a group test of three dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599–604.
- 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.