

## CONNAISSANCES SPATIALES ET HABILITÉS VISUO-SPATIALES – CROISEMENT DE DEUX PARADIGMES POUR MIEUX COMPRENDRE LES ENJEUX D’ENSEIGNEMENT ET D’APPRENTISSAGE EN GÉOMÉTRIE

Sylva Coutat\*, Sandra Berney\*

### RÉSUMÉ

Les connaissances spatiales sont fondamentales dans les apprentissages de la géométrie. Les travaux de Bertelot et Salin (1999) entre autres, ont démontré que connaissances spatiales et connaissances géométriques bien que distinctes sont aussi indissociables. Les connaissances spatiales sont classiquement définies par les interactions d’un sujet avec l’espace sensible (Berthelot & Salin, 1999). Les psychologues cognitivistes étudient les habiletés spatiales. Elles sont définies à l’aide de différentes composantes liées à l’orientation spatiale, la visualisation spatiale, la rotation mentale, la mémorisation spatiale mais aussi la navigation spatiale (Carroll, 1993). Les mesures de ces habiletés utilisent différents tests standardisés. Afin de mieux saisir les enjeux complexes liés aux connaissances spatiales, nous proposons de croiser les composantes des tests issus des études en psychologie avec les caractérisations des connaissances spatiales issues des études menées en didactique des mathématiques.

Mots-clefs : connaissances spatiales ; connaissances géométriques ; habiletés visuo-spatiales

### ABSTRACT

Spatial knowledge is fundamental in geometry learning. Bertelot and Salin (1999) has shown that spatial knowledge and geometrical knowledge, although distinct, are also inseparable. Spatial knowledge is classically defined by the interactions of a subject with sensible space (Berthelot & Salin, 1999). In psychology research consider spatial abilities. They are defined using different components related to spatial orientation, spatial visualization, mental rotation, spatial memorization and spatial navigation (Carroll, 1993). These abilities are measured using various standardized tests. To better understand the complex issues related to spatial knowledge, we propose to cross-reference some items of tests from studies in psychology with the characterizations of spatial knowledge from studies in mathematics didactics.

Keywords: spatial knowledge, geometrical knowledge, visuo-spatial abilities

### INTRODUCTION

Cette présente étude s’insère dans le projet de recherche SPAGEO<sup>1</sup> soutenu par le Fond National Suisse. Ce projet réunit des experts de différents domaines de recherches : la technologie éducative, la psychologie cognitive et la didactique des mathématiques. Parmi les questions de recherche, une s’intéresse à identifier les habiletés visuo-spatiales d’élèves de 7 à 10 ans. Pour cela, une série de tests a été proposée à des élèves de grade 2, 3 et 4 (ce qui correspond aux âges visés par l’étude). Ces différents tests ont pour objectif d’identifier et mesurer les différentes sous-habiletés visuo-spatiales des élèves. Au vu de certaines proximités avec des attentes en géométrie, nous nous sommes intéressées à une éventuelle proximité entre les connaissances spatiales et les habiletés spatiales. Nous revenons sur les connaissances spatiales avec les principaux travaux issus de la didactique des mathématiques. Nous définissons ensuite les habiletés visuo-spatiales du point de vue de la psychologie cognitive. Nous présentons la méthodologie d’analyse des tests utilisée, pour conclure autour des résultats qu’elle apporte dans la caractérisation des sous-habiletés visuo-spatiales.

---

\* Université de Genève

<sup>1</sup> « Rethinking the links between spatial knowledge and geometry in primary education through virtual environments » 2019-2023 (SPAGEO-Subside no100019\_188947/1).

## CADRE THÉORIQUE

Les connaissances spatiales renvoient au champ de la didactique des mathématiques. Les habiletés visuo-spatiales renvoient au champ de la psychologie cognitive. Cette première partie vise à définir ces termes spécifiques à chaque champ.

### *1. Connaissances spatiales*

Dans cette étude, le champ de la didactique des mathématiques s'intéresse aux connaissances géométriques et connaissances spatiales. Les connaissances spatiales ont été définies par Berthelot et Salin (1999) comme « les connaissances qui permettent à un sujet un contrôle convenable de ses relations à l'espace sensible ».

Marchand (2020) a complété cette définition en utilisant deux composantes. La composante Orientation concerne les connaissances utilisées pour « situer et déplacer un sujet ou un objet dans un espace donné » (p.142). Cette connaissance met en relation différents objets à travers les perspectives, les points de repère, les référentiels (relations extrinsèques). La composante Organisation concerne plus spécifiquement le développement d'images mentales (Marchand, 2006) par l'articulation entre les objets à travers leur position, et relation (relations intrinsèques). Cela lui permet de compléter la définition de Berthelot et Salin avec la prise en compte du développement et de la coordination des images mentales.

### *2. Habiletés visuo-spatiales*

En psychologie cognitive, les définitions des habiletés visuo-spatiales peuvent varier selon les auteurs. Nous retiendrons celle de Carroll (1993) qui est utilisée par nos collègues de psychologie cognitive pour qui les habiletés spatiales caractérisent les représentations et manipulations mentales des informations visuelles perçues, tout en intégrant les relations spatiales entre les éléments d'information.

Ces habiletés spatiales sont caractérisées par différents facteurs ou sous-habiletés. Il en existe une variété importante, il n'existe pas de consensus, cependant ceux que l'on retrouve le plus fréquemment dans la littérature sont la Visualisation Spatiale, la Rotation Mentale (aussi appelée parfois repérage spatial), l'Orientation Spatiale et la Navigation Spatiale.

#### *Visualisation spatiale*

Cette sous-habilité visuo-spatiale est définie comme la capacité à appréhender, encoder, manipuler mentalement des formes spatiales (Carroll, 1993). Elle peut aussi inclure la transformation de formes complexes du plan ou de l'espace ainsi que l'imagination de certains mouvements spatiaux.

#### *Rotation mentale*

Cette sous-habilité visuo-spatiale caractérise la capacité à imaginer un objet (2D ou 3D) tourner dans le plan ou l'espace (Carroll, 1993).

#### *Orientation spatiale*

Cette sous-habilité visuo-spatiale est la capacité à imaginer un objet (2D ou 3D) selon une autre perspective. C'est-à-dire que le sujet imagine son propre déplacement autour de l'objet fixe (Thurstone, 1950).

Ces deux dernières habiletés sont proches car il y a des objets du plan ou de l'espace ainsi que des rotations, cependant dans le cas de la Rotation Mentale, le sujet est fixe et c'est

l'objet qui tourne alors que dans le cas de l'Orientation Spatiale le sujet se déplace alors que l'objet reste fixe.

### *Navigation spatiale*

Cette sous-habilité visuo-spatiale est la capacité à se localiser et se déplacer dans un espace réel ou virtuel en se basant sur la perception et la compréhension de l'organisation de l'espace (Pick et al., 1999).

Selon Tolman (1948) la Navigation Spatiale est soutenue par la construction d'une carte cognitive. Cette carte cognitive peut utiliser différents cadres de références, elle permet de définir la position et l'orientation des différents objets de l'environnement.

Cette dernière habileté est spécialement visée par les séquences didactiques conçues dans le cadre du projet SPAGEO. Afin de mesurer l'efficacité des séances d'enseignement sur cette habileté, plusieurs tests spécifiques ont été mis en place utilisant un environnement virtuel. Cette habileté pouvant faire l'objet d'une communication à elle seule, elle n'est pas développée davantage ici.

### *3. Questions de recherche*

Plusieurs travaux en didactique des mathématiques (Berthelot & Salin, 1992 ; Duroisin & Demeuse, 2016 ; Marchand, 2006) considèrent les connaissances géométriques et les connaissances spatiales interdépendantes. En parallèle, de nombreux travaux en psychologie (Buckley et al., 2019 ; Newcombe, 2016 ; Wai et al., 2009) pointent une corrélation entre des habiletés spatiales élevées et des performances élevées dans les disciplines scientifiques comme les mathématiques, sciences, ingénieries, technologies. Comme en didactique des mathématiques, des travaux en psychologie soulignent un investissement moindre dans les habiletés spatiales dans les contextes éducatifs relativement aux autres capacités cognitives.

L'utilisation d'un regard didactique sur les habiletés visuo-spatiales a pour but d'identifier d'éventuels liens entre les connaissances spatiales et les habiletés spatiales. Pour cela nous reprenons les principaux tests utilisés dans le cadre du projet de recherche SPAGEO pour l'identifications des habiletés visuo-spatiales des élèves de 7-10 ans (en mettant de côté la Navigation Spatiale). Les tests que nous avons retenus sont ceux qui permettent d'évaluer les sous-habilités que nous venons de présenter : la Visualisation Spatiale, la Rotation Mentale et l'Orientation Spatiale.

## ANALYSE DES TESTS

### *1. Méthodologie d'analyse*

Pour analyser les différents tests présentés, nous utilisons la structure génératrice d'activités de Marchand (2020). Cette structure s'articule autour de trois assises.

Une première assise considère les connaissances spatiales de l'école et utilise les deux composantes (orientation et organisation) présentées précédemment.

La deuxième assise s'appuie sur les niveaux d'abstractions sollicités dans les situations didactiques permettant le développement des connaissances spatiales. En s'appuyant sur les travaux de Battista (2007), Marchand propose trois niveaux d'abstraction pour illustrer entre autres « le processus d'abstraction d'objets d'abord relevant de l'espace sensible » (Marchand, 2020, p. 150). Le premier niveau est le niveau Archéologique, les élèves peuvent identifier certaines propriétés des objets par leur manipulation. Lorsque les manipulations ont été suffisamment nombreuses pour permettre de se représenter mentalement les propriétés des différents objets, le niveau d'abstraction atteint le niveau Photographique. Les propriétés

peuvent être mobilisées mentalement mais elles restent statiques et dépendantes d'une seule perspective. C'est au troisième niveau d'abstraction, niveau Scénographique, que les images mentales devient « cinétiques, transformatrices et même anticipatrices » (Marchand, 2020, p. 151).

La troisième et dernière assise considère les variables didactiques sur lesquelles les situations reposent. Les tests que nous utilisons ne sont pas pensés comme des situations d'apprentissage, certains éléments ne pourront être exploités dans les variables didactiques. Marchand considère quatre principales variables qui valorisent les connaissances spatiales.

La première variable concerne l'espace en jeu dans la situation et permet de distinguer un micro-espace, d'un macro-espace ou méso-espace (Berthelot & Salin, 1992).

La deuxième variable permet de définir la tâche selon différents groupements de tâches. En s'appuyant sur Davis et al. (2015), Marchand identifie six groupements de tâches propices au développement des connaissances spatiales. :

- « 1- Observer ou toucher / Identifier / Décrire ;
- 2- Repérer / Situer / Cartographier / Coordonner les perspectives ;
- 3- Déplacer / Assembler / Décomposer / Plier / Réorganiser ;
- 4- Transformer / Déformer / Sectionner / Mettre à l'échelle ;
- 5- Construire / Représenter ;
- 6- Anticiper / Rechercher ». (Marchand, 2020, p. 154)

Si Marchand ambitionne l'utilisation de ces groupements pour assurer (dans le cas d'une analyse a priori) ou identifier (dans le cas d'une analyse a posteriori) le maillage des différentes tâches proposées, nous l'utiliserons plutôt pour identifier à quel groupement de tâches pourrait être associé chaque test.

La troisième variable définie par Marchand a pour but de distinguer les objets en jeu dans la situation. Ces objets peuvent être des objets du plan (points, droites, figures planes) ou des solides ; dans des orientations prototypiques ou non.

N'étant pas dans un contexte d'apprentissage nous n'utiliserons pas la dernière variable qui s'intéresse au questionnement autour des connaissances spatiales que peut susciter la situation.

Nous allons présenter cinq tests conçus pour mesurer différentes habiletés visuo-spatiales. Pour chaque test, la consigne est complétée par un ou plusieurs exemples avec leur solution. Cela permet à l'expérimentateur de discuter de la réponse de l'élève et si besoin de la corriger. Ces exemples ont pour objectif de s'assurer que le sujet a compris la consigne. Seuls ces exemples sont corrigés, l'élève n'a aucun retour sur ses réponses évaluées par le test. Pour répondre aux différents tests il est impossible de dessiner sur les illustrations, ou de manipuler les feuilles (les tourner par exemple). Enfin, ces tests sont proposés dans un ordre aléatoire.

## 2. Visualisation spatiale

Deux tests sont utilisés pour mesurer cette sous-habilité, le Paper Folding et Purdue Spatial Visualization Test-Revised. Ces tests sont conçus pour mesurer la visualisation spatiale des sujets, c'est-à-dire leur capacité à appréhender, encoder, manipuler mentalement des formes 2D ou 3D.

### *Paper folding (Ekstrom et al., 1976)*

Ce test, comme la grande majorité des tests visuo-spatiaux, est destiné à des adultes. Le sujet doit répondre à deux séries de 10 questions. Un enjeu temporel est ajouté, il est demandé au sujet de répondre à un maximum d'item dans la limite de 3 min pour chaque série. La Figure 1 présente la consigne et l'exemple qui l'accompagne.

Dans ce test tu dois imaginer le pliage et dépliage d'une feuille de papier. Les dessins de gauche montrent une feuille de papier carrée qui a été pliée puis trouée (trou désigné par un petit rond). Le trou traverse les différentes couches de papier. Un des 5 dessins de droite montre où les trous seront une fois la feuille complètement dépliée. Retrouve parmi les dessins de droite celui qui est correct.

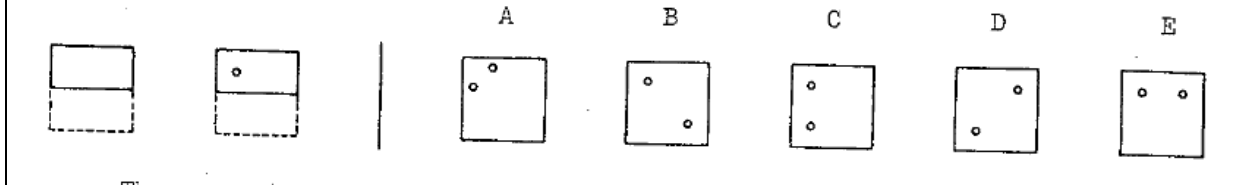


Figure 1. – Consigne pour le Paper folding (Erkstrom, 1976, p.176)

Dans cet exemple il n'y a qu'un seul pliage horizontal. Dans la suite de la série de questions les pliages peuvent avoir différentes orientations (certains pliages sont horizontaux, d'autres verticaux et d'autres obliques par exemple). Pour certains items il y a une succession de pliages. Les différentes étapes de pliages sont toujours représentées sur les images de gauche.

#### *Purdue Spatial Visualization Test-Revised (Maeda & Yoon, 2013)*

Ce test est conçu pour des sujets âgés de 13 ans et plus. Comme les élèves concernés par notre étude sont âgés de 7 à 10 ans, la consigne et les exemples sont enrichis de matériel tangible<sup>2</sup>. Les solides représentés sur les images sont disponibles à l'élève qui peut ainsi les manipuler dans les premiers exemples illustrés. Dans le dernier exemple les solides sont toujours présents mais l'élève ne peut plus les toucher. Finalement les solides sont rangés une fois la consigne des exemples terminée. Pour les questions du test, l'élève travailler uniquement à partir des images. Le sujet doit répondre à une série de 30 questions. Un enjeu temporel est ajouté, il est demandé au sujet de répondre à un maximum d'item dans la limite de 20 min. La Figure 2 présente la consigne avec le premier exemple.

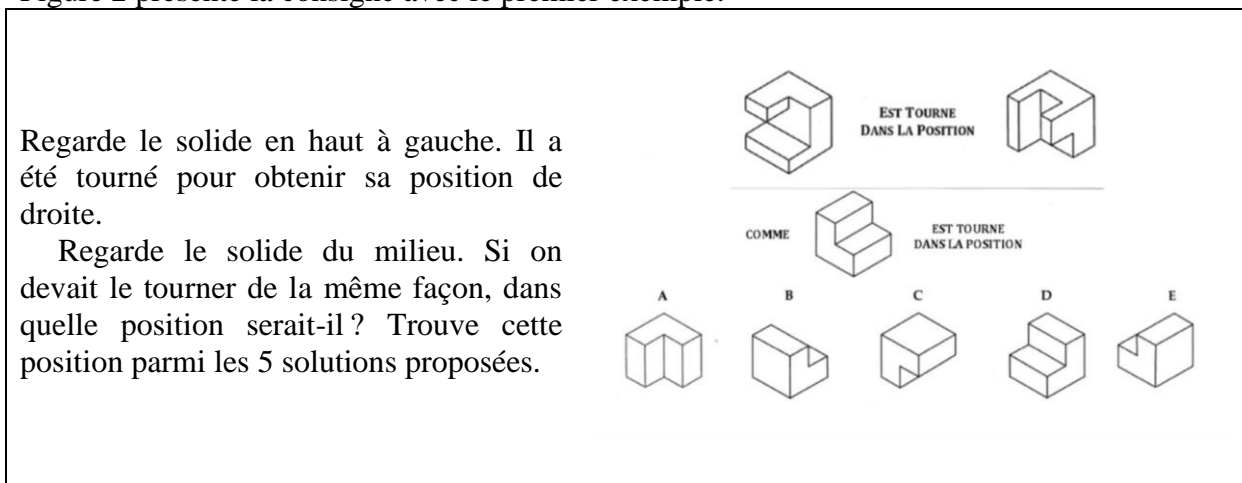


Figure 2. – Consigne pour le Purdue Spatial Visualization Test-Revised (Maeda & Yoon, 2013, p.75)

Dans l'exemple présenté dans la Figure 2 le modèle a subi une rotation de 90° autour d'un axe vertical. Dans les items suivants, les rotations peuvent être selon un axe vertical ou horizontal, pour certains plusieurs rotations sont combinées. Les formes représentées peuvent avoir des faces planes ou arrondies.

<sup>2</sup> Cette adaptation du test fait l'objet d'une communication au congrès de la Société Suisse en psychologie 2022 (Berney et al. (accepted)).

### *Analyse didactique*

Ces deux tests permettent de mesurer l'habileté Visualisation Spatiale qui est définie comme la capacité à appréhender, encoder, manipuler mentalement des formes (2D ou 3D). Comme l'ordre des tests est aléatoire, ces deux tests ne sont pas forcément posés l'un après l'autre ou dans l'ordre où ils sont présentement présentés.

Dans le cas du deuxième test (PSVT-R), différentes représentations d'un même objet (le solide) doivent être mises en relation ce qui peut être associé à la composante Orientation des connaissances spatiales. Les transformations – les pliages ou rotations – sur l'objet (ici la feuille de papier ou solide) ne sont pas visibles, seuls les résultats de ces transformations apparaissent. La représentation mentale de ces transformations implique la mobilisation d'images mentales chez le sujet. Ces deux tests mobiliseraient ainsi la composante Organisation des connaissances spatiales.

Même si les objets sont représentés par une image, les transformations effectuées ne sont pas représentées. Pour trouver la solution, il s'agit de visualiser mentalement ces transformations, ce qui nécessite un niveau d'abstraction Scénographique.

Concernant les variables didactiques de ces deux tests, les objets présents dans les tâches sont des objets 2D avec la feuille de papier, 1D avec les traits de pliage et 0D pour le trou dans la feuille de papier. Le deuxième test quant à lui utilise des éléments 3D (solides) représentés en 2D. L'analyse des rotations peut s'appuyer sur des éléments 2D (les faces) ou 1D (les arêtes) ou 0D (les sommets), cependant nous n'avons aucune information sur les procédures des élèves. Enfin, seul le micro-espace de la feuille de papier est présent. On peut s'interroger sur les rotations sur les solides car les faces ne sont pas toutes visibles simultanément se qui pourrait s'apparenter à un méso-espace conceptualisé.

Nous concluons avec le groupement de tâches auquel ces tests peuvent être associés. La transformation présente est la rotation, ainsi le troisième groupement les tâches « Déplacer / Assembler / Décomposer / Plier / Réorganiser » est celui qui correspond le mieux.

### *3. Rotation mentale*

Cette habileté caractérise la capacité à faire tourner mentalement un objet du plan ou de l'espace. Là encore deux tests ont été utilisés avec les élèves.

#### *Mental Rotation Test (Peters et al., 1995)*

Ce test est conçu pour des sujets adultes. Comme pour les tests précédents on ne s'attend pas à ce que les élèves répondent correctement à toutes les questions. La Figure 3 présente la consigne avec un exemple.

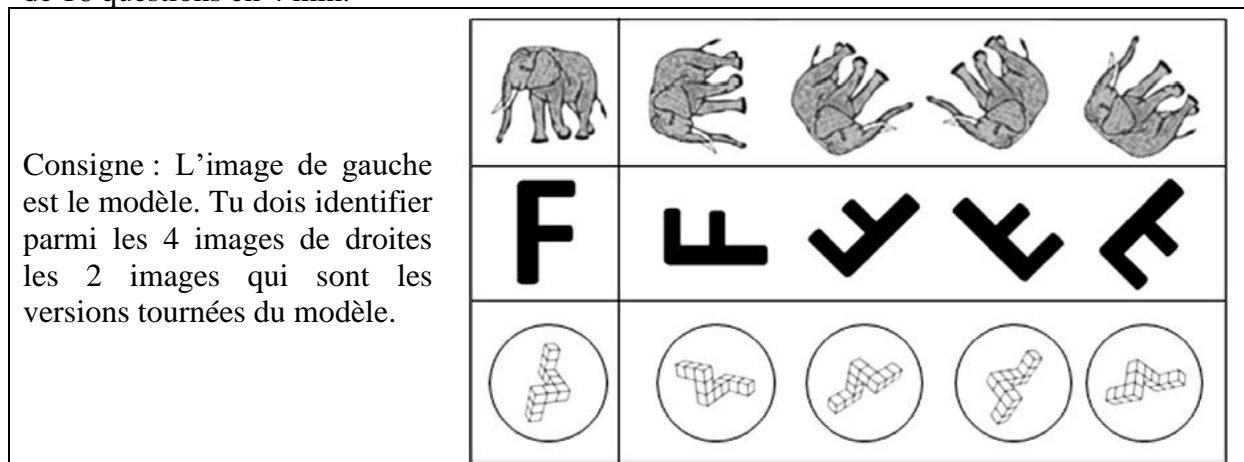
L'image de gauche est le modèle. Tu dois identifier parmi les 4 images de droites les 2 images qui sont les versions tournées du modèle.

**Figure 3.** – Consigne pour le Mental Rotation Test (Peters, et al. 1995, p.42)

Le sujet doit répondre à deux séries de 12 questions avec 4 min pour chaque série. Les angles et axes de rotations varient à chaque item.

*Picture-Mental Rotation Test (Neuburger et al., 2011)*

Ce test est conçu pour des élèves de maternelle, il a été utilisé pour des sujets de 5 à 20 ans. Il se décline en trois séries de questions. Ces trois séries sont présentées dans un ordre aléatoire. Le sujet doit répondre à deux séries de 16 questions en 2 min pour chaque série puis une série de 16 questions en 4 min.



**Figure 4.** – Consigne pour le Picture-Mental Rotation Test (Neuburger et al., 2011, p.1240)

Chaque série de questions utilise une catégorie d'images (animaux, lettres, assemblages de cubes). L'image de gauche est soit tournée soit retournée pour obtenir les images de droites.

Pour la première catégorie d'images, la consigne précise qu'il faut retrouver l'animal qui regardera dans la même direction que le modèle (image de gauche) une fois tourné sur ses pieds.

La deuxième série de questions utilise des lettres. Tout comme pour les animaux, les lettres de droites sont tournées ou retournées. Le sujet doit retrouver les lettres qui une fois tournées sont identiques au modèle de gauche.

Enfin la dernière série de questions utilise des assemblages de cubes comme pour le test précédent. Cependant dans ce test ce sont les images des assemblages de cubes qui sont tournées ou retournées et non les assemblages. Cette spécificité n'est pas précisée aux élèves.

*Analyse didactique*

Ces deux tests permettent de mesurer l'habileté Rotation Mentale qui est la capacité à faire tourner mentalement un objet du plan ou de l'espace. Comme l'ordre des tests est aléatoire, ces trois tests ne sont pas forcément posés dans l'ordre où ils sont présentement présentés. Les rotations subies par les images ne sont pas visibles, seules les configurations finales le sont. L'articulation des images mentales implique la composante Organisation des connaissances spatiales. Cependant il est aussi primordial de se repérer lors des transformations selon un référentiel droite-gauche et distinguer le retournement de la rotation dans le plan, ainsi la composante Orientation est aussi présente dans cette tâche.

La mobilisation d'images mentales pour identifier les différentes transformations nécessite un niveau d'abstraction Scénographique.

L'espace de travail mobilisé dans ces tests est le micro-espace. Tout comme pour l'analyse précédente les différentes faces des assemblages de cubes ne sont pas visibles simultanément, cela peut impliquer des caractéristiques du méso-espace pour la représentation mentale de l'assemblage dans sa globalité.

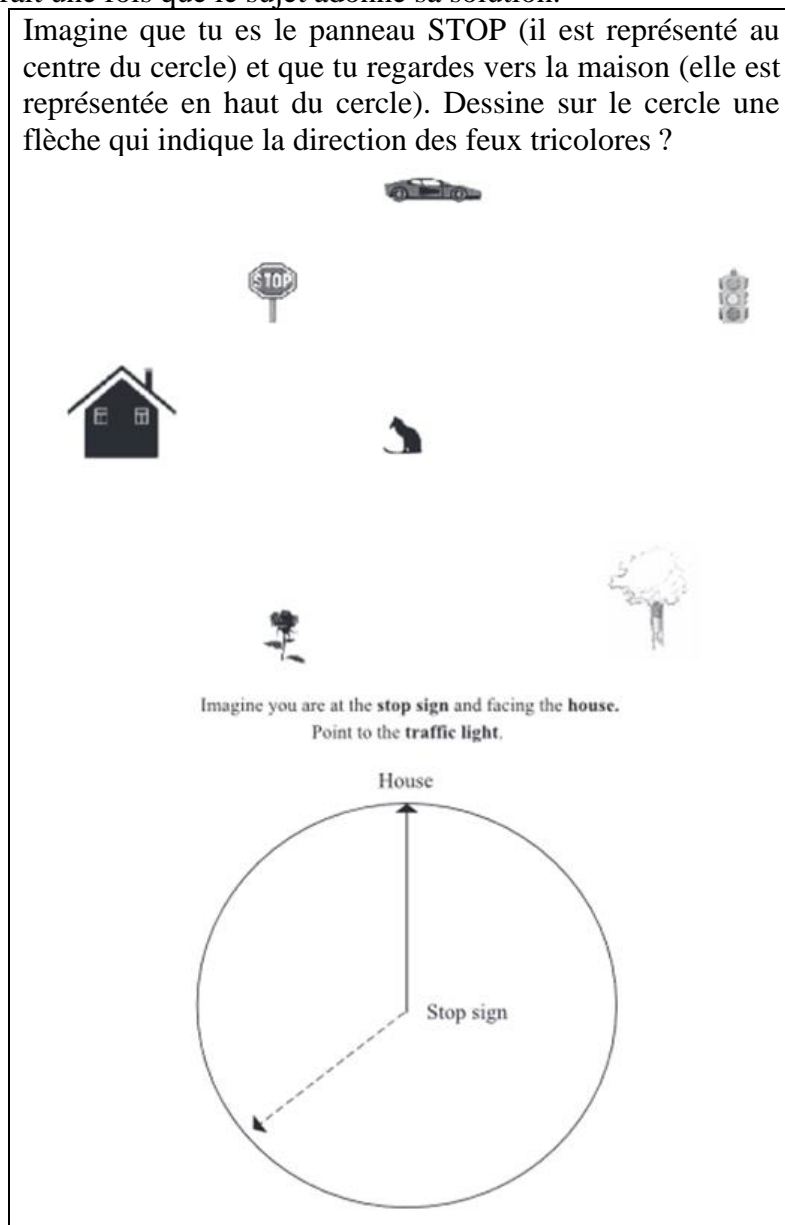
Enfin, le groupement de tâche est toujours « Déplacer / Assembler / Décomposer / Plier / Réorganiser » avec la rotation comme transformation.

#### 4. Orientation spatiale

Un seul test a été utilisé concernant l'habileté Orientation Spatiale. Pour rappel cette habileté caractérise la capacité à imaginer un objet (2D ou 3D) selon une autre perspective.

##### *Perspective Taking – Spatial Orientation Test (Hegarty & Waller, 2004)*

Ce test est conçu initialement pour des adultes. La consigne est aussi complétée d'exemples et de leur solution. La Figure 5 présente la consigne et le premier exemple. La flèche qui indique la solution apparaît une fois que le sujet adonné sa solution.



**Figure 5.** – Consigne pour le *Perspective Taking – Spatial Orientation Test* (Hegarty & Waller, 2004, p.178)

Le test contient cinq exemples, les 12 questions sont à résoudre en 5 minutes. Il est impossible de tourner la feuille. Plusieurs configurations spatiales sont interrogées. Ainsi dans ce test on attend que le sujet adapte son orientation et non pas que les objets tournent autour de lui.

### *Analyse didactique*

Ce test permet de mesurer l'habileté Orientation Spatiale, la capacité à imaginer son propre déplacement autour d'un objet fixe. Les déplacements opérés par le sujet sont uniquement mentaux. En effet il est impossible de déplacer la feuille pour changer son orientation. La coordination des diverses représentations de l'espace implique la composante Orientation. L'articulation des images mentales produites implique la composante Organisation des connaissances spatiales.

La création et articulation des images mentales pour identifier les différents points de vue et orientations nécessite un niveau d'abstraction Scénographique.

L'espace de travail mobilisé dans ces tests est le micro-espace.

Cette tâche relève de l'orientation dans le plan et la coordination de différentes perspectives, ainsi elle rejoint le groupement de tâches 2) « Repérer / Situer / Cartographe / Coordonner les perspectives ».

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans le cadre d'une étude des habiletés visuo-spatiales des enfants de 7 à 10 ans, une batterie de tests a été composée. Les tests choisis visent une mesure de différentes sous-habiletés : la Visualisation Spatiale, la Rotation Mentale, l'Orientation Spatiale et la Navigation Spatiale. Afin de mieux comprendre les éventuels liens entre les habiletés visuo-spatiales et les connaissances spatiales, des outils d'analyses didactiques ont été utilisés pour spécifier les différents tests. La Navigation Spatiale faisant l'objet de tests spécifiques, elle a été mise de côté pour cette présente analyse.

L'analyse didactique de ces tests utilise la structure génératrice des activités développée par Marchand (2020). Cette structure se compose de balises pour traiter les connaissances spatiales, de niveaux d'abstraction mobilisés dans le développement des connaissances spatiales et enfin d'un ensemble de variables didactiques incontournables pour des situations valorisant les connaissances spatiales.

Selon les tests étudiés, la Visualisation Spatiale, la Rotation Mentale et l'Orientation Spatiale peuvent être associées à la composante Orientation et la composante Organisation à travers la coordination mentale des différentes représentations d'objets du plan ou de l'espace. Cela implique la mobilisation d'images mentales et leur articulation à partir des relations intrinsèques et extrinsèques des objets en jeux.

La Visualisation Spatiale, la Rotation Mentale et l'Orientation Spatiale utilisent le niveau d'abstraction Scénographique. En effet durant les tests il est attendu du sujet qu'il soit capable de manipuler des images mentales cinétiques (Marchand, 2006), c'est-à-dire pour lesquelles les objets peuvent être transformés mentalement.

En ce qui concerne l'analyse des variables didactiques, les trois sous-habiletés sont associées au micro-espace de la feuille de papier. Dans le cas de manipulation mentale de solides on peut questionner la mobilisation d'un méso-espace conceptualisé dans le sens où les différentes faces du solide ne peuvent pas être visible simultanément. Les objets représentés sont des objets du plan (2D) ou de l'espace (3D) avec pour certains test la mobilisation de droites ou points dans les consignes. Enfin, la Visualisation Spatiale et la Rotation Mentale peuvent être associés à des tâches « Déplacer / Assembler / Décomposer / Plier / Réorganiser ». L'Orientation Spatiale peut être associé aux tâches « Repérer / Situer / Cartographe / Coordonner les perspectives ».

À l'issu de ces analyses il apparait que certains éléments caractérisant les connaissances spatiales semblent pouvoir être associés aux habiletés spatiales. Il apparait cependant que ces éléments communs (composantes, niveaux d'abstraction et variables didactiques) ne sont pas représentatifs de toutes les situations qui convoquent les connaissances spatiales.

Les composantes Orientation et Organisation apparaissent simultanément dans les tests étudiés. En ce qui concerne les situations didactiques visant les connaissances spatiales, ces deux composantes ne sont pas nécessairement convoquées conjointement. Il apparait même que la composante organisation impliquant les images mentales est souvent moins sollicitée que la composante orientation dans les programmes scolaires (Marchand, 2020).

Le niveau d'abstraction des différents tests est le niveau scénographique. Pour ce niveau les connaissances spatiales sont définies comme mentale et cinétique selon Marchand (2020). Elles reposent sur la mobilisation des images-concepts qui deviennent « cinétiques, transformatrices et même anticipatrices » (p. 151). Ce niveau d'abstraction est plus rarement mobilisé au profit des autres niveaux.

Une prochaine étape pourrait être d'analyser les tâches proposées dans les ressources institutionnelles visant le développement des connaissances spatiales afin d'identifier la place de ces images mentales et du niveau scénographique voire d'identifier en quoi les tâches institutionnelles participent, a priori, aux développements des habiletés spatiales des élèves.

#### RÉFÉRENCES

- BATTISTA, M. (2007). The development of geometric and spatial thinking. In F. K. Lester (éd.), *second handbook of research on mathematics reaching and learning* (p. 843-908). National council of teachers of mathematics.
- BERNEY, S., BÉNARD-LINH QUANG, S., BÉTRANCOURT, M. & MAURER, R. (ACCEPTED). Adapting a spatial visualization adult test for school-aged children. SGP-SSP 2022.
- BERTHELOT, R. & SALIN, M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Université de bordeaux.
- BERTHELOT, R. & SALIN, M.-H. (1999). L'enseignement de l'espace à l'école primaire. *Grand N*, 65, 37-59.
- BUCKLEY, J., SEERY, N. & CANTY, D. (2019). Investigating the use of spatial reasoning strategies in geometric problem solving. *International journal of technology and design education*, 29, 341-362. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9446-3>
- CARROLL, J. B. (1993). *Human cognitive abilities. A survey of factor-analytic studies* (1st ed.). Cambridge, uk: cambridge university press.
- DAVIS, B., OKAMOTO, Y., & WHITELEY, W. (2015). Spatializing school mathematics. In b. Davis & the spatial reasoning study group (éds.), *Spatial reasoning in the early years: principles, assertions, and speculations* (p. 139-150). New york: routledge.
- DUROISIN, N. & DEMEUSE, M. (2016). Le développement de l'habileté des visualisations spatiales en mathématiques chez les élèves âgés de 8 à 14 ans. *Petit x*, 102, 5-25.
- EKSTROM, R., FRENCH, J., HARMAN, H. & DERMEN, D. (1976). Manual for kit of factor-referenced cognitive tests. Princeton, nj: educational testing service.
- HEGARTY, M., & WALLER, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- MAEDA, Y., & YOON, S. Y. (2013). A meta-analysis on gender differences in mental rotation ability measured by the purdue spatial visualization tests: visualization of rotations (psvt:r). *Educational psychology review*, 25(1), 69-94.
- MARCHAND, P. (2006). Comment développer les images mentales liées à l'apprentissage de l'espace en 3 dimensions ? *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 11, 103-121.
- MARCHAND, P. (2020). Quelques assises pour valoriser le développement des connaissances spatiales à l'école primaire. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 40(2), 135-178.
- NEUBURGER, S., JANSEN, P., HEIL, M., & QUAISSER-POHL, C. (2011). Gender differences in pre-adolescents' mental-rotation performance: do they depend on grade and stimulus type? *Personality and individual differences*, 50, 1238-1242.
- NEWCOMBE, N. S. (2016). Thinking spatially in the science classroom. *Current opinion in behavioral sciences*, 10, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.010>
- PETERS, M., LAENG, B., LATHAM, K., JACKSON, M., ZAIZOUNA, R., & RICHARDSON, C. (1995). A redrawn vanderberg and kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance. *Brain and cognition*, 28, 39-58.
- PICK, H. L., WAGNER, D., GARING, A. E., & RIESER, J. J. (1999). The recalibration of rotational locomotion. *Human perception and performance*, 25(5), 1179-1188.
- THURSTONE, L. L. (1950). *Some primary abilities in visual thinking*. Chicago il, usa: university of chicago press.
- TOLMAN, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological review*, 55(4), 189.
- WAI, J., LUBINSKI, D., & BENBOW, C. P. (2009). Spatial ability for stem domains: aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of educational psychology*, 101(4), 817-835. <https://doi.org/10.1037/a0016127>

Vandebrouck F. & Gardes, M.-L. (dir.) (2023). Nouvelles perspectives en didactique des mathématiques - Preuve, Modélisation et Technologies Numériques. Volume des séminaires et posters des actes de EE21.