

Difficultés liées aux tests spatiaux : une comparaison franco-sénégalaise

Sophie Charles

Cergy Paris Université, laboratoire BONHEURS - EA 7517
F-95000 Cergy, France
sophie.charles@cyu.fr

Sylvain Luc Agbanglanon

École normale supérieure d'Enseignement technique et professionnel (ENSETP)
Université Cheikh Anta Diop de Dakar
BP 5004, Dakar-Fann, Sénégal
Cergy Paris Université, laboratoire BONHEURS - EA 7517
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

Résumé

Cet article examine les difficultés relatives aux items de deux tests spatiaux, le Mental Cutting Test (MCT) et le Mental Rotation Test (MRT). L'étude s'appuie sur deux échantillons : l'un de 146 étudiants français et l'autre de 131 étudiants sénégalais, de niveau bac+2. Les résultats aux différents items des tests du MCT et du MRT, en termes de réussite, d'échec ou d'absence de réponse, ont été traités par le biais de tests de Khi 2 comparant les étudiants sénégalais et français. Bien que cette comparaison montre une différence statistiquement significative dans la manière dont les étudiants sénégalais et ceux français répondaient aux différents items, un classement des questions selon le pourcentage de réussite, d'échec ou d'absence de réponse, montre que les 5 à 8 questions les mieux réussies, les moins réussies et celles sans réponse sont identiques dans les 2 groupes. Ainsi, les principaux items sources de difficultés, de même que leurs causes, ont été mis en évidence pour le MCT et le MRT, par une caractérisation qualitative. Des liens entre scores spatiaux et capacité à utiliser les modeleurs volumiques ayant été établis précédemment, les difficultés identifiées par cette étude présentent l'intérêt de fournir de probables éléments de compréhension des difficultés d'utilisation des modeleurs volumiques et d'éclairer le développement de dispositifs de remédiation.

Mots-clés : Capacités spatiales, Mental Cutting Test (MCT), Mental Rotation Test (MRT), difficultés liées aux tests, modeleurs volumiques

Introduction

Des liens entre habiletés spatiales et réussite en sciences et technologie ont été établis. De nos jours, l'enseignement de la conception industrielle est marqué par la place croissante des modeleurs volumiques. Ces derniers sont mobilisés dans la définition des formes des systèmes conçus. Il est de même établi qu'une habileté spatiale élevée est gage d'une utilisation performante de ces modeleurs.

En raison des difficultés que les items des tests spatiaux posent aux apprenants, plusieurs questions se posent : quelles sont les difficultés rencontrées par les apprenants dans les tests spatiaux ? Quelles sont leurs caractéristiques ? La compréhension de ces difficultés pourrait livrer des pistes de compréhension des obstacles liés à l'utilisation des modeleurs volumiques, et par ricochet éclairer la définition de dispositifs de remédiation dans l'apprentissage de l'utilisation de ces modeleurs.

Cadre théorique

Depuis les années 1980, la conception industrielle s'appuie sur des outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) (Poitou, 1984). Ceux-ci aident les concepteurs, qui autrefois dessinaient en deux dimensions (2D) des objets en trois dimensions (3D), à créer des représentations fiables d'objets 3D complexes (Audy, 1990). L'avènement de la CAO a mené à des modifications profondes des enseignements liés à la conception mécanique : les cours de dessin industriel et de géométrie descriptive laissant la place à l'enseignement de l'utilisation des modeleurs volumiques et à l'exploitation des possibilités offertes par ces outils (Poitou, 1984). Ces logiciels requièrent des compétences spatiales avancées (Sorby, 1999), telles que reconnaître, comprendre et manipuler mentalement des formes en 2D et en 3D (Tartre, 1990).

L'habileté spatiale est composée de la visualisation spatiale et de l'orientation spatiale (Duroisin, 2015; McGee, 1979). Ces habiletés peuvent être mesurées à l'aide de tests spatiaux (Eliot et Smith, 1983). Les résultats obtenus à certains de ces tests prédisent l'orientation et la réussite dans les études et les professions dans le domaine des Sciences, Technologie, Ingénierie et Mathématiques (STIM) (Wai, Lubinski et Benbow, 2009), la capacité à utiliser un modeleur volumique de manière efficace (Hamlin, Sorby et Boersma, 2006 ; Sorby, 1999 ; Steinhauer, 2012), et plus spécifiquement, au recours à des supports numériques lors d'activités dyadiques de conception (Agbanglanon, 2019). Parmi ces tests, le *Mental Rotation Test* (MRT) (Vandenberg et Kuse, 1978) et le *Mental Cutting Test* (MCT) (College Entrance Examination Board, 1939) visent à mesurer la visualisation spatiale (Gorska et Sorby, 2008).

Le MRT est un test psychométrique représentant des formes en 3D selon une vue isométrique. Chaque question comporte une forme à comparer avec quatre choix possibles pour identifier les deux qui correspondent à la première forme. Dans leur analyse consacrée aux difficultés et aux caractéristiques des items du MRT, Caissie, Vigneau et Bors (2009) concluent que les réponses correctes présentant des occlusions, celles qui sont de forme différente ou en miroir des questions leurres sont plus difficiles à comparer. Il existe plusieurs versions du test, dont une version en anglais en 24 questions, dont le temps de réponse est limité à dix minutes (Peters, Laeng, Latham, Jackson, Zaiyouna et Richardson, 1995), une version en anglais en 20 questions, dont le temps est limité à deux fois trois minutes séparées par une pause de cinq minutes (Vandenberg et Kuse, 1978), cette version existant en traduction française (Albaret et Aubert, 1996).

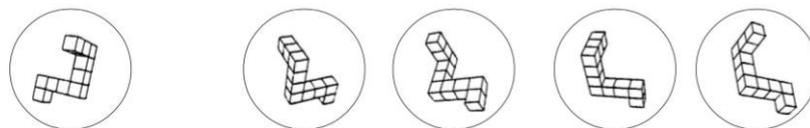


Figure 1 : Exemple de question d'entraînement du MRT (Vandenberg et Kuse, 1978).

Le MCT est un test psychométrique représentant des solides en 3D selon une vue isométrique. Chaque question comporte un solide traversé par un plan de coupe et cinq choix possibles de sections résultant de cette coupe. Il est composé de 25 questions et limité dans le temps à 20 minutes. Identifier la bonne réponse nécessite d'identifier la forme de la section et, pour certaines questions, de tenir compte des mesures des angles ou des segments (Tsutsumi, Shiina, Suzuki, Yamanouchi, Saito et Suzuki, 1999 ; Németh, Sörös et Hoffmann, 2007). Dans leur analyse des causes d'erreur dans le MCT, Tsutsumi, Ishikawa, Sakuta et Suzuki (2008) suggèrent que la relation entre le plan de coupe, les surfaces clefs et la direction du regard est importante pour répondre aux questions.

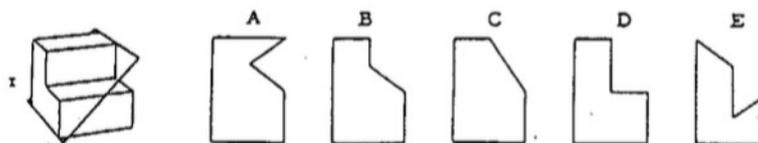


Figure 2 : Exemple de question d'entraînement du MCT (College Entrance Examination Board, 1939).

Méthodologie

Collecte des données

L'échantillon français est composé de 146 étudiants, dont 27 femmes et 125 hommes, qui ont participé à une batterie de cinq tests visant à mesurer l'habileté spatiale, dont le MRT et le MCT, à leur arrivée à l'école d'ingénieurs ISAE-Supméca. Les instructions du MCT ont été traduites en français et la version française du MRT a été utilisée. Les étudiants ont reçu pour consigne de s'abstenir plutôt que de répondre au hasard.

L'échantillon sénégalais est composé de 131 étudiants, dont 12 femmes et 119 hommes, en sciences industrielles, issus de deux écoles de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar : l'école supérieure polytechnique et l'école normale supérieure d'enseignement technique et professionnel. Ils ont été soumis, dans le but de mesurer leur habileté spatiale, au MCT et au MRT (Vandenberg et Kuse, 1978) en version anglaise.

Les étudiants des deux échantillons sont de niveau bac+2, ayant terminé deux années de formation après le Baccalauréat.

Traitement des données

Notre traitement met en avant une approche qualitative de caractérisation des difficultés liées aux items qui posent le plus de problèmes aux étudiants. Ce traitement est toutefois précédé d'une comparaison, par le biais de tests de Khi 2, des pourcentages d'étudiants français et sénégalais, en termes de réussite, d'échec et d'absence de réponse aux items du MCT et du

MRT. Cette comparaison vise à éclairer une différence dans la manière dont les étudiants français et sénégalais répondent aux tests. Cette comparaison est suivie d'un classement, dans chacun des deux groupes d'étudiants, des questions les mieux réussies, celles les moins réussies et celles restées sans réponse, sur la base des pourcentages. Ce classement vise à identifier une probable identité des items qui posent le plus de problèmes aux étudiants français et sénégalais.

Résultats

Pour l'ensemble des questions, du MCT et du MRT, les tests de Khi 2 de comparaison des deux échantillons révèlent une différence significative ($p < 0,001$) de la manière dont les étudiants des deux groupes répondent aux questions. En dépit de cette différence dans la réussite, l'échec ou l'absence de réponse aux items, le classement des 5 ou 6 questions les mieux réussies et des 5 questions avec le plus grand nombre d'absence de réponses, aussi bien pour le MCT (figures 3 et 5) que le MRT (figures 6 et 8), montre que ces questions sont les mêmes dans les deux échantillons, avec une différence dans le classement. De même, les questions enregistrant le plus fort taux d'échec, 6 pour le MCT (figure 4) et 8 pour le MRT (figure 7), sont les mêmes dans les deux échantillons. Nous définissons les questions les mieux réussies comme faciles et les questions les moins réussies comme difficiles.

Questions caractéristiques du MCT

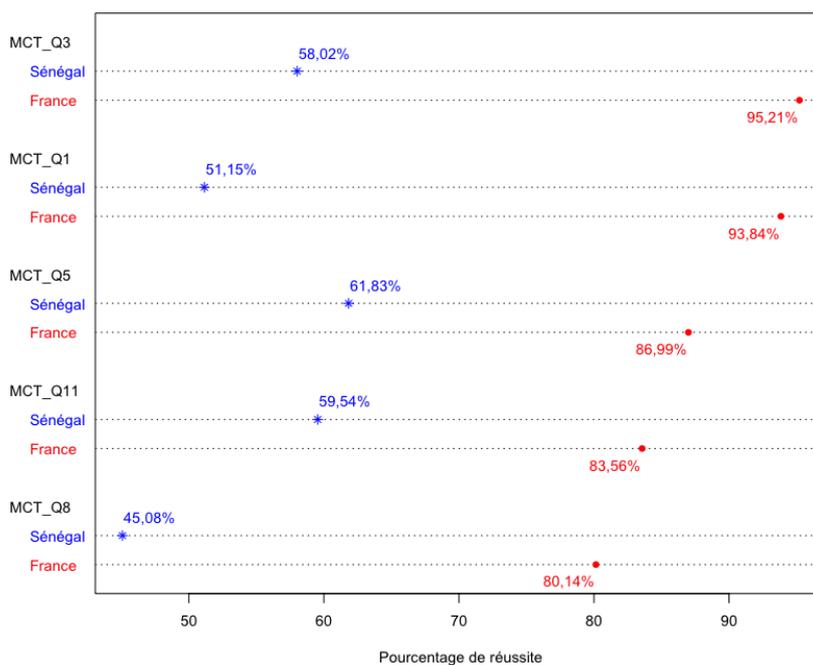


Figure 3 : Questions du MCT les plus faciles

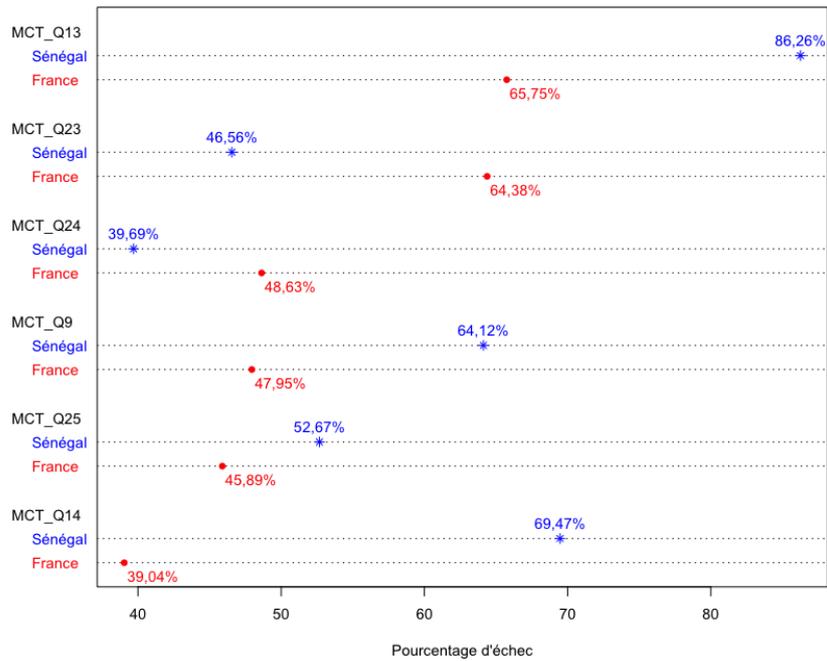


Figure 4 : Questions du MCT les plus difficiles

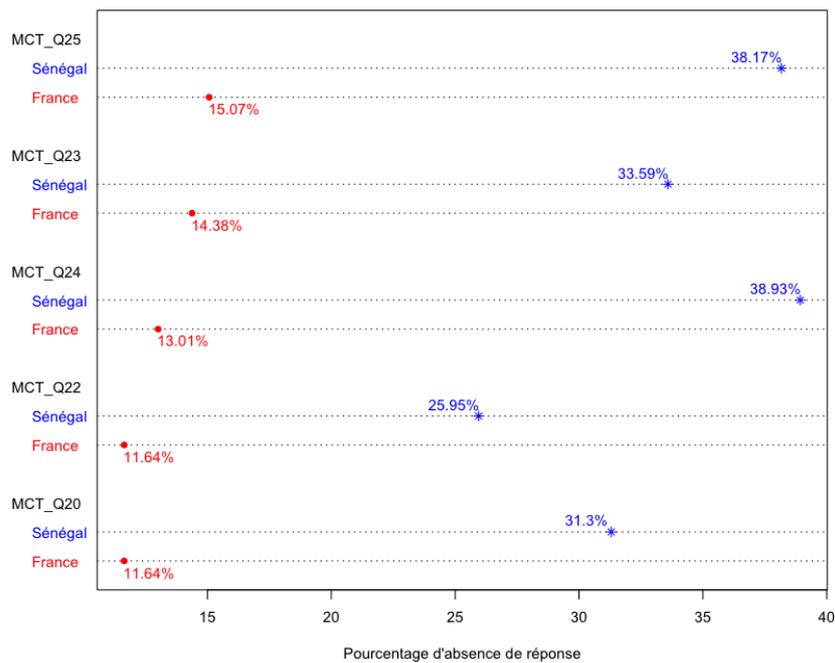


Figure 5 : Questions du MCT enregistrant les plus forts taux d'absence de réponse

En observant la nature des coupes, la nature des faces clefs en relation avec le plan de coupe (Tsutsumi *et al.*, 2008) et l'envergure de la différence métrique (Németh *et al.*, 2007), d'angle ou de longueur, entre la question correcte et les questions leurres, nous déterminons la spécification suivante :

Tableau 1 : Caractérisation des questions du MCT enregistrant les plus forts taux de réussite, d'échec et d'absence de réponses

N°	Niveau de difficulté	Nature de la coupe	Faces clés en relation avec le plan de coupe	Place dans le test	Différence métrique avec questions leurres
1	Facile	Oblique	Inclinée : 1 angle	Début	Importante
3	Facile	Transversale	Parallèle	Début	Importante
5	Facile	Oblique	N/A (Plan de coupe dans la partie pleine du cube)	Début	Importante
8	Facile	Transversale	Parallèle	Milieu	Importante
9	Difficile	Longitudinale	Inclinées : plusieurs angles	Milieu	Importante
11	Facile	Oblique	Inclinée : 1 angle	Milieu	Importante
13	Difficile	Longitudinale	N/A (prisme octogonal)	Milieu	Légère
14	Difficile	Longitudinale	Inclinées : plusieurs angles	Milieu	Légère
20 ; 22	Sans réponse	Oblique	Inclinées : plusieurs angles	Fin	Légère
23 - 24	Difficile ou sans réponse	Oblique	Inclinées : plusieurs angles	Fin	Légère
25	Difficile ou sans réponse	Oblique	Incurvées	Fin	Légère

Questions caractéristiques du MRT

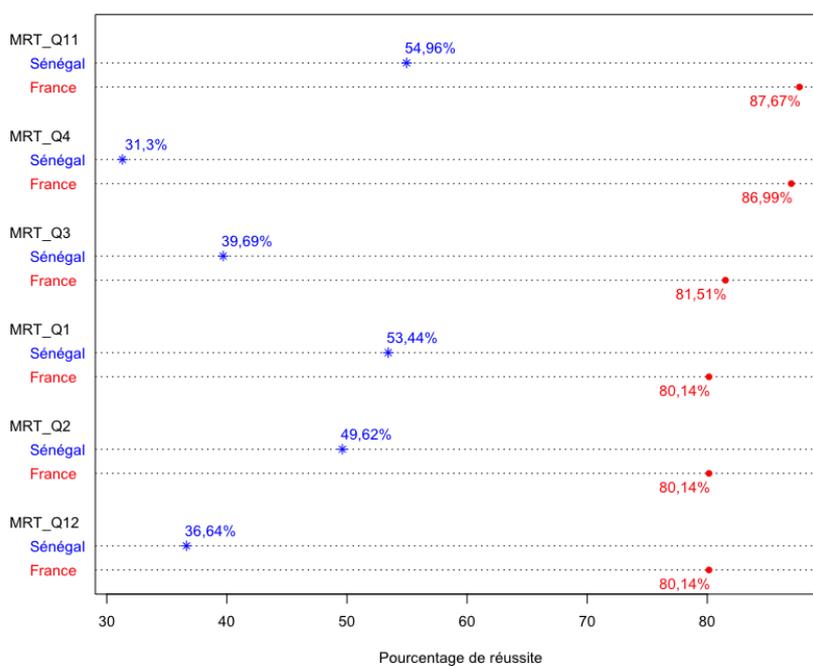


Figure 6 : Questions du MRT les plus faciles

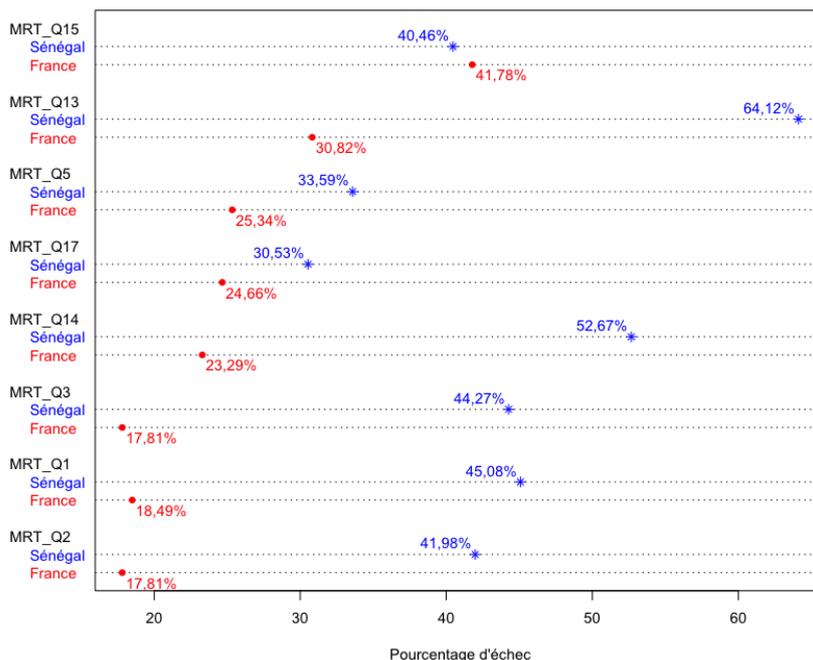


Figure 7 : Questions du MRT les plus difficiles

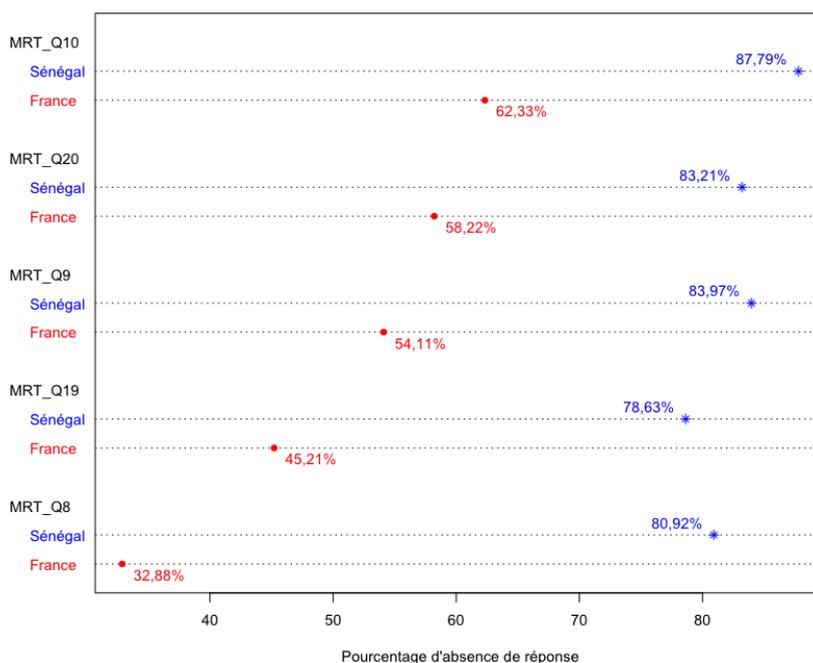


Figure 8 : Questions du MRT enregistrant les plus importants taux d'absence de réponses

Nous nous appuyons sur la classification de Caissie *et al.* (2009) pour catégoriser les items. Ainsi, les réponses correctes dont le nombre de cubes diffère selon les segments sont considérées hétérogènes, et celles dont le nombre de cubes est similaire sont considérées homogènes. Les questions dont les réponses leurres sont des reflets des réponses correctes sont définies comme miroir et les autres comme de structure différente. Les réponses correctes dont une partie est occluse sont classées comme telles. La classification des items décrite dans Caissie *et al.* (2009) s'appliquant à la version du MRT en 24 items dont les dessins sont plus grands que la version en 20 items, nous étendons la catégorie occlusion aux figures qui nous semblent occultées sur la version en 20 items. Nous obtenons les descriptions suivantes :

Tableau 2 : Caractérisation des questions du MRT enregistrant les plus forts taux de réussite, d'échec et d'absence de réponses

N°	Niveau de difficulté	Structures des questions leurres - Sections	Occlusion dans une des bonnes réponses	Place dans le test	Structure des questions leurres - Chiralité
1	Facile et difficile	Hétérogène	Non	Début	Miroir
2	Facile et difficile	Hétérogène	Oui	Début	Miroir
3	Facile et difficile	Hétérogène	Oui	Début	Différente
4	Facile	Hétérogène	Non	Milieu	Différente
5	Difficile	Hétérogène	Non	Milieu	Miroir
8	Sans réponse	Hétérogène	Non	Fin	Différente
9 - 10	Sans réponse	Homogène	Oui	Fin	Miroir
11	Facile	Homogène	Oui	Début	Différente
12	Facile	Homogène	Oui	Début	Miroir
13	Difficile	Homogène	Oui	Début	Différente
14	Difficile	Homogène	Oui	Milieu	Différente
15	Difficile	Homogène	Oui	Milieu	Miroir
17	Sans réponse et difficile	Homogène	Non	Fin	Différente
19 - 20	Sans réponse	Homogène	Non	Fin	Miroir

Discussion

Concernant le MCT, nous observons que les questions sans réponse et les questions difficiles présentent majoritairement des faces inclinées selon différents angles et de légères différences métriques, angle ou longueur, entre la réponse correcte et certaines réponses alternatives. Ces caractéristiques correspondent aux conclusions de Németh *et al.* (2007) et Tsutsumi *et al.* (2008). Ces questions nécessitent une évaluation précise des angles de coupe et des longueurs des segments de la section résultante. De plus, l'inclinaison des surfaces clefs, présentées en perspective, et la présence de plusieurs surfaces clefs inclinées selon différents angles semblent rendre difficile la perception du volume de la pièce et de sa forme globale. En outre, nous constatons que les questions comportant des coupes obliques présentent aussi des difficultés aux étudiants. Ce résultat fait écho à ceux de Duroisin et Demeuse qui constatent en 2016 dans une expérience auprès d'élèves belges âgés de 8 à 14 ans, la difficulté des élèves à imaginer la section résultante d'une coupe oblique sur des volumes simples, quel que soit leur âge : comparées aux coupes longitudinales et transversales, les coupes obliques engendrent majoritairement des taux d'échec supérieurs pour le cube et la sphère.

À l'instar de Caissie *et al.* (2009), nous constatons que les questions du MRT présentant des formes en partie occluses, homogènes et miroir sont plus difficiles à comparer. Les occlusions

cachent une partie de l'information contenue dans la réponse possible. Les formes homogènes sont plus difficiles à confronter en l'absence de points de comparaison saillants tels que le nombre de cubes ou l'orientation des coudes. Finalement, les formes miroir sont aussi marquées par l'absence de point de comparaison tel que le nombre de cubes. Nous remarquons de plus que l'ensemble des questions sans réponse retenues dans notre étude sont placées en fin de test : le MRT étant un test très contraint dans le temps, nous suggérons que ces questions n'ont pu être traitées dans le temps imparti plutôt que par incertitude quant à la réponse.

Conclusion

Au travers de la comparaison des résultats obtenus par des étudiants français et sénégalais au MCT et au MRT, nous avons constaté que malgré des différences de performance significatives, les étudiants issus des deux échantillons butaient sur les mêmes questions. Dans ces deux tests, les questions difficiles concernent des formes 3D présentées en perspective dont le volume peut être difficile à percevoir en raison de ce que la perspective occulte, notamment parce que les éléments cachés doivent être reconstitués ou parce qu'elle fait disparaître la dimension de profondeur. Cette difficulté à percevoir la totalité d'un volume à partir de représentations 2D fournit une piste intéressante pour la compréhension des difficultés rencontrées par les étudiants aux faibles scores spatiaux lors de l'apprentissage de la modélisation volumique : cette articulation de la 2D vers la 3D est au cœur du dialogue entre l'esquisse et le modèle volumique.

Bibliographie

- Agbanglanon, S. (2019). *Outils numériques dans l'apprentissage de la conception mécanique : Analyse des liens entre représentations externes et capacités visuo- spatiales dans le processus de conception* [thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, Cergy Pontoise, France]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02623908>
- Albaret, J. M., & Aubert, E. (1996). Étalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *EVOLUTIONS psychomotrices*, 8(34), 269-278.
- Audy, J.-J. (1990). Conception assistée par ordinateur (référence archive H6570 v1). *Techniques de l'ingénieur*, H65701-H657010. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-technologies-logicielles-et-architecture-des-systemes-tiahb/archive-1/conception-assistee-par-ordinateur-h6570/>
- Caissie, A. F., Vigneau, F., & Bors, D. A. (2009). What does the Mental Rotation Test Measure? An Analysis of Item Difficulty and Item Characteristics. *The Open Psychology Journal*, 2(1), 94- 102. <https://doi.org/10.2174/1874350100902010094>
- College Entrance Examination Board. (1939). *Special Aptitude Test in Spatial Relations (Mental Cutting Test)*. College Entrance Examination Board.
- Duroisin, N. (2015). *Quelle place pour les apprentissages spatiaux à l'école ? Etude expérimentale du développement des compétences spatiales des élèves âgés de 6 à 15 ans* [thèse de doctorat, Université de Mons, Mons, Belgique]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01152392>
- Duroisin, N., & Demeuse, M. (2016). Le développement de l'habileté de visualisation spatiale en mathématiques chez les élèves âgés de 8 à 14 ans. *Petit x*, 102, 5-25.
- Eliot, J., & Macfarlane Smith, I. (1983). *An international directory of spatial tests*. Cengage Learning Emea.
- Gorska, R., & Sorby, S. (2008). Testing instruments for the assessment of 3-D spatial skills. Dans *Proceedings of the 2008 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*, (pp. 13-1196). ASEE.
- Hamlin, A., Boersma, N., & Sorby, S. (2006). Do Spatial Abilities Impact the Learning of 3-D Solid Modeling Software? Dans *Proceedings of the 2006 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*, (p. 11.493.1-11.493.9). ASEE. <https://doi.org/10.18260/1-2--1272>

- Kelly Jr, W. F. (2013). *Measurement of Spatial Ability in an Introductory Graphic Communications Course* (publication n°3575633) [thèse de doctorat, North Carolina State University, Raleigh, États Unis d'Amérique]. ProQuest DissertationsPublishing.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889- 918. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A Redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test - Different Versions and Factors That Affect Performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39- 58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Németh, B., Sörös, C., & Hoffmann, M. (2007). Typical mistakes in Mental Cutting Test and their consequences in gender differences. *Teaching Mathematics and Computer Science*, 5(2), 385-392.
- Poitou, J.-P. (1984). L'évolution des qualifications et des savoir-faire dans les bureaux d'études face à la conception assistée par ordinateur. *Sociologie du travail*, 26(4), 468- 481.
- Shea, D. L., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year Longitudinal Study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604- 614. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.604>
- Sorby, S. A. (1999). Spatial Abilities and their Relationship to Computer Aided Design Instruction. Dans *Proceedings of the 1999 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition* (p. 4.465.1-4.465.6). ASEE.
- Steinhauer, H. M. (2012). Correlation Between a Student's Performance on the Mental Cutting Test and Their 3D Parametric Modeling Ability. *Engineering Design Graphics Journal*, 76(3), 44- 48.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial skills, gender, and mathematics. Dans E. Fennema et G. C. Leder (dir.), *Mathematics and gender*, (p. 27–59). Teachers College Press.
- Tsutsumi, E., Shiina, K., Suzaki, A., Yamanouchi, K., Saito, T., & Suzuki, K. (1999). A mental cutting test on female students using a stereographic system. *Journal for Geometry and Graphics*, 111–119.
- Tsutsumi, E., Ishikawa, W., Sakuta, H., & Suzuki, K. (2008). Analysis of Causes of Errors in the Mental Cutting Test—Effects of View Rotation. *Journal for Geometry and Graphics*, 12(1), 109- 120.