

e-FRAN > PLATEFORME

e-FRAN > DES TERRITOIRES ÉDUCATIFS
D'INNOVATION NUMÉRIQUE

Mission Monteil > POUR LE NUMÉRIQUE
DANS L'ÉDUCATION

ProFAN > DES COMPÉTENCES
POUR LES EMPLOIS DU FUTUR



Habileté spatiale et stratégies de modélisation

Sophie CHARLES

CY Cergy Paris Université, Laboratoire BONHEURS

Mots-clés – Niveaux et Public concernés

Mots-clés : habileté spatiale, 3D, modélisation volumique, stratégies de résolution.

Niveaux : 1^{ère} année d'études en école d'ingénieurs comprenant des enseignements de mécanique

Public : enseignants de technologie, enseignants de mathématiques, enseignants de sciences physiques et de sciences naturelles, enseignants de CAO

À quelles questions cette étude tente-t-elle de répondre ?

Ce travail de recherche s'inscrit dans le projet e-FRAN EXAPP_3D qui vise à « entretenir et accentuer l'intérêt des élèves du secondaire dans les filières techniques et professionnelles dédiées principalement à la conception et la définition de produits industriels en vue d'améliorer leur réussite scolaire » (ISAE-Supméca, 2016, paragr. 1). Pour ce faire, EXAPP_3D s'appuie sur une pédagogie par problèmes et par projets auprès d'élèves de collège, de lycées et d'écoles d'ingénieurs impliqués dans des travaux de groupe mobilisant des outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Ces expérimentations visent à aider des élèves dans des territoires en difficulté à persévérer dans leurs études et leur insertion professionnelle. Selon les partenariats inter-établissements conclus, des regroupements d'élèves impliquent des élèves de niveau collège, lycée, BTS ou école d'ingénieurs, autour de projets portant notamment sur l'agriculture urbaine, les transports ou la santé, en mobilisant des outils de CAO variables : SketchUp (Schell et Esch, 2000), Solidworks (Dassault Systèmes, 1995) ou CATIA (Dassault Systèmes, 2012). La variabilité de la distribution des observables et la probabilité qu'une approche pédagogique ait un effet sur les apprentissages, quelle que soit l'approche adoptée (Górska, 2005), oriente la recherche vers une investigation des apports de la pratique de la modélisation 3D aux habiletés spatiales (Górska, 2005; Martín-Dorta *et al.*, 2008), compétences elles-mêmes corrélées à la réussite dans les études d'ingénierie (Wai *et al.*, 2009). Le choix du terrain est orienté vers un public d'étudiants ingénieurs à partir de facteurs de calendrier, de durabilité et de potentialité de maîtrise et de contrôle des variables. Les protocoles définis sur ce public ont pour vocation à être mis à l'échelle auprès d'un public de collégiens pour vérifier la répliquabilité des résultats. Cette partie de la recherche n'a pu avoir lieu dans le cadre de la

thèse en raison de la crise sanitaire.

Plus précisément, ce travail de recherche s'intéresse à caractériser les particularités, les performances et l'activité d'étudiants ingénieurs engagés dans des tâches de résolution de problèmes spatiaux à différents moments de leur parcours de formation. Les étudiants ingénieurs d'ISAE-Supméca¹ sont confrontés à des problèmes spatiaux dès la première année de leur parcours, notamment dans des enseignements dédiés à l'apprentissage de la modélisation volumique et d'outils de CAO. Bien qu'engagés dans une même formation, ces apprenants sont caractérisés par des compétences et connaissances variées, acquises notamment dans les filières post-bac qu'ils ont suivies et dans leur pratique de loisirs. Les compétences spatiales qu'ils ont développées entretiennent-elles une relation avec les tâches de modélisation volumique qu'ils vont rencontrer dans leurs études d'ingénierie? Quelles sont les potentielles sources de développement de ces compétences? Nous nous intéressons aussi bien aux performances relevées dans ces tâches de nature spatiale qu'à l'activité qui y est mise en œuvre.

Pourquoi ces questions sont-elles pertinentes?

Plusieurs études (Branoff et Dobelis, 2012; Sorby, 2009; Steinhauer, 2012) s'intéressent à la relation entre performance spatiale et performance en modélisation 3D. Ces recherches abordent l'habileté spatiale sous l'angle de la performance à des tests psychométriques visant à mesurer la visualisation spatiale, l'un des deux facteurs composant l'habileté spatiale (Tartre, 1984). Notre recherche s'intéresse à explorer l'ensemble des facteurs constitutifs de l'habileté spatiale (Tartre, 1984), au travers de la mesure de performance mais aussi de l'activité mise en œuvre dans ces tâches. Cette recherche vise à répondre à quatre questions :

1. quel est le lien entre performance à des tests spatiaux et caractéristiques individuelles?
2. quel est le lien entre performance en modélisation et caractéristiques individuelles?
3. les habiletés spatiales évoluent-elles suite à des enseignements de première année à ISAE-Supméca?
4. la performance et les stratégies de modélisation évoluent-elles suite à des enseignements de première année à ISAE-Supméca?

Question 1 : quel est le lien entre performance à des tests spatiaux et caractéristiques individuelles? L'évaluation des compétences spatiales se fait souvent, dans la recherche, au travers de tests psychométriques visant à mesurer la visualisation spatiale, c'est à dire en comptant le nombre de réponses justes à des exercices visant à mettre en œuvre des stratégies de rotation mentale et de transformation mentale. Cette mesure permet une évaluation quantitative, rapide et facile à réaliser en classe. Cependant, ces mesures ne prennent pas en compte les stratégies de résolution réellement mises en œuvre par les sujets d'une part (Guay, 1980; Hegarty, 2018) et ne s'intéressent pas aux compétences d'orientation spatiale (Tartre, 1984) d'autre part. Des études suggèrent que plusieurs stratégies sont mobilisables dans certains tests spatiaux (Lohman, 1979; Thurstone, 1938) et qu'il est nécessaire de les investiguer pour déterminer ce qui est réellement mesuré (Barratt, 1953; Bloom et Broder, 1950). Nous nous intéressons aux stratégies mises en œuvre dans les tests spatiaux pour vérifier la pertinence de ces tests dans l'évaluation de ces compétences. Nous nous intéressons de plus au lien entre les caractéristiques des sujets et leur performance spatiale pour identifier d'éventuels effets et ainsi d'éventuelles sources de développement.

Question 2 : quel est le lien entre performance en modélisation et caractéristiques individuelles? La performance en modélisation est liée aux compétences spatiales des utilisateurs, mesurées au travers de

1. ISAE-Supméca est une école d'ingénieurs spécialisée en mécanique. Les enseignements du premier semestre concernent notamment l'analyse de mécanismes, la mécanique des solides, les mathématiques appliquées et la CAO.

tests psychométriques visant à mesurer la visualisation spatiale (Branoff et Dobelis, 2012; Steinhauer, 2012). Les stratégies de modélisation sont en relation avec la même compétence spatiale (Agbanglanon, 2019), mais aussi avec la performance en modélisation (Hamade *et al.*, 2005; Lang *et al.*, 1991). Nous nous intéressons à comprendre l'articulation entre ces éléments et plus particulièrement la relation entre performance en modélisation et caractéristiques individuelles, explorées au travers des variables performances spatiales, stratégies de modélisation, caractéristiques sociodémographiques et pratiques extrascolaires. En d'autres mots, nous investiguons d'éventuelles sources d'acquisition de compétences de modélisation.

Question 3 : les habiletés spatiales évoluent-elles suite à des enseignements de première année à ISAE-Supméca? La malléabilité des compétences spatiales a été établie grâce à la méta revue de Uttal *et al.*, (2013). Les études qui y sont traitées portent sur l'évaluation de dispositifs visant à améliorer les compétences spatiales, principalement de visualisation spatiale, des sujets impliqués. Nous souhaitons déterminer, d'une part, si les compétences spatiales, dont l'orientation spatiale, peuvent évoluer suite à des enseignements de première année d'études d'ingénieurs, dont l'objet premier n'est pas le développement de ces compétences, et d'autre part, si ces éventuelles évolutions sont liées aux caractéristiques individuelles des sujets.

Question 4 : la performance et les stratégies de modélisation évoluent-elles suite à des enseignements de première année à ISAE-Supméca? Les études portant sur les effets des enseignements de modélisation mettent en avant la nécessité de dépasser la simple maîtrise des outils de modélisation volumique, pour enseigner des stratégies de modélisation efficaces (Chester, 2007; Rynne et Gaughran, 2007). Nos sujets sont exposés à des enseignements, dont des enseignements de modélisation. Il s'agit d'investiguer si les enseignements reçus permettent des évolutions en performance et en stratégie, mais aussi si ces évolutions sont liées aux caractéristiques individuelles des apprenants.

Pour conclure, les résultats des recherches menées autour de la modélisation volumique et de sa relation avec les compétences spatiales suggèrent que la performance en visualisation spatiale prédit la performance en modélisation. Caractériser les compétences spatiales, recouvrant les compétences visuo-spatiales et d'orientation spatiale, et les stratégies mises en œuvre dans les tâches visant à les mobiliser, est une première étape indispensable pour que cette habileté soit mieux comprise, mieux prise en compte et enseignée. Il est de même important de caractériser les performances en modélisation et les stratégies qui y sont déployées pour mieux orienter les enseignements qui visent leur acquisition. L'objectif de notre étude est d'approfondir les connaissances actuelles sur le développement de l'habileté spatiale et de la compétence à modéliser en trois dimensions au cours de l'apprentissage. Cette recherche a permis d'établir le lien entre ces deux familles de compétences auprès d'étudiants ingénieurs, d'observer la pertinence des outils d'évaluation de l'orientation spatiale dans l'étude de cette relation, et d'étudier l'importance de caractériser l'activité déployée dans ces tâches.

Quelle méthodologie de recherche a-t-on utilisée ?

Pour répondre à ces questions, notre recherche s'est orientée sur la qualification de la performance de 146 étudiants ingénieurs en première année à ISAE-Supméca dans des tâches spatiales et de l'activité mise en œuvre dans ces tâches pour réaliser cette performance. Pour ce faire, nous avons mobilisé deux types de problèmes spatiaux. D'une part, ceux présentés dans des tests psychométriques visant à mesurer le résultat d'opérations spatiales mentales : le *Mental Rotation Test* (ou MRT, Vandenberg et Kuse, 1978) et le *Revised Purdue Spatial Visualization Tests : Visualization of Rotations* (ou R PSVT :R, Yoon, 2011) visent à évaluer la rotation mentale, le *Mental Cutting Test* (ou MCT, Board, 1939) vise à évaluer la transformation mentale, le *Purdue Spatial Visualization Test : Visualization of Views* (ou PSVT :V, Guay, 1976) la capacité à changer de point de vue et le *Closure Flexibility Test (Concealed Figures) Form A* (ou CFT, Thurstone et Jeffrey, 1956) la dissociation (Question 1). Ce faisant, nous explorons les quatre

sous-facteurs spatiaux du modèle de classification de l'habileté spatiale de (Tartre, 1984). D'autre part, nous mobilisons des problèmes spatiaux présentés dans des exercices de modélisation volumique au travers d'un exercice à réaliser sur une plateforme de développement de produit en ligne (Hirschtick *et al.*, 2014) (Question 2).

Nous incluons dans nos expérimentations des modalités d'évaluation de la performance des étudiants, ainsi que des observations de leur activité. Les tests spatiaux sont suivis de questionnaires ouverts, interrogeant les stratégies mobilisées par les étudiants (Question 1). Les exercices de modélisation sont filmés grâce à la captation de l'activité à l'écran et au filmage de la partie supérieure du corps des apprenants (Question 2).

Les données recueillies sont complétées par l'investigation de la pratique de loisirs et de logiciels de modélisation des étudiants au travers de questionnaires à choix multiples. En effet, au-delà de la performance, nous nous préoccupons d'en explorer de possibles sources de variabilité entre les apprenants (Questions 1 et 2).

Deux prises de mesure ont lieu : la première à l'arrivée des étudiants à l'école, et la seconde, après qu'ils ont suivi les enseignements du premier semestre. Ces deux prises de mesure nous permettent d'observer l'éventuelle évolution des performances et des stratégies employées par les apprenants dans les deux types de tâches spatiales suite aux enseignements (Questions 3 et 4).

Quels résultats a-t-on obtenus ?

Les premiers résultats concernent les habiletés spatiales et les caractéristiques individuelles (Question 1). Conformément à la littérature (Gold *et al.*, 2018), nos résultats mettent en évidence une relation significative entre la pratique de loisirs et performance spatiale. La différenciation des loisirs révèle le rôle des loisirs dynamiques et manipulatoires dans l'enfance et l'adolescence sur le développement des compétences spatiales. Nous observons aussi une relation entre performance spatiale et pratique de modélisateurs volumiques, conformément à des études antérieures (Górska, 2005, p. 203; Martín-Dorta *et al.*, 2008, p. 509). En revanche, nos observations ne corroborent que partiellement la différence de performance spatiale liée au genre en faveur des hommes traditionnellement décrite dans la littérature (Albaret et Aubert, 1996; Maeda et Yoon, 2013) : nous n'observons pas de différence de performance aux tests de visualisation spatiale entre les hommes et les femmes de notre échantillon, et les résultats montrent que les femmes obtiennent de meilleurs résultats au test de dissociation. Ceci confirme la particularité des étudiantes spécialisées en Sciences, Technologie, Ingénierie et Mathématiques ou STIM (Agbanglanon, 2019; Albaret et Aubert, 1996).

L'analyse des stratégies déclarées mobilisées dans les tests spatiaux corrobore la présence de plusieurs stratégies mises en œuvre par les étudiants, que ces stratégies soient visées par les tests ou non, la combinaison de plusieurs stratégies pour répondre à une question et le changement de stratégie d'une question à une autre dans un test mesurant une compétence spatiale unique spécifique (Hegarty, 2018). Notre étude met ces résultats en évidence pour les cinq tests de notre batterie. Nos analyses révèlent que des combinaisons de stratégies spécifiques aux tests sont plus efficaces pour le MCT et le CFT, et que le changement de stratégie est bénéfique à la performance dans le MRT, le MCT et le CFT.

Relativement à notre deuxième question de recherche, les analyses réalisées confirment une corrélation entre performances spatiales et performance en modélisation (Branoff et Dobelis, 2012; Steinhauer, 2012). Notre étude étend cette relation traditionnellement observée avec les tests de visualisation spatiale aux tests d'orientation spatiale, et en particulier au test de dissociation. Nous mettons de plus en évidence une relation entre performance spatiale et stratégies de modélisation 3D.

Nous n'observons en revanche pas de relation entre performance en modélisation et pratique de loisirs alors que la pratique antérieure de modeleurs volumiques et les formations à contenu technologique profitent à la performance en modélisation. Ceci suggère que des formations formelles spécifiques sont nécessaires à l'acquisition de ces compétences, à la différence du développement des habiletés spatiales.

La répétition de nos expérimentations à la fin du premier semestre d'enseignement nous permet d'investiguer l'évolution des performances spatiales suite aux enseignements suivis en première année d'école d'ingénieurs (Question 3). Cette évolution est supérieure à l'évolution imputable à l'effet d'entraînement², c'est-à-dire l'augmentation des performances induite par l'utilisation répétée de tests identiques à trois mois d'intervalle (Hopkins, 1998). Ce résultat confirme la malléabilité des habiletés spatiales (Uttal *et al.*, 2013), y compris grâce à des dispositifs pédagogiques ne visant pas spécifiquement à développer ces compétences. Nous remarquons une progression plus importante en ce qui concerne le MCT et le PSVT :V pour les étudiants dont les performances étaient les plus faibles à la première prise de données, soit les femmes.

De même, nous observons une évolution des performances en modélisation suite à des enseignements en première année d'école d'ingénieurs, qui comprenaient des enseignements de CAO (Question 4). Cette évolution est supérieure à l'évolution imputable à l'effet d'entraînement. Cette progression est plus importante pour les étudiants dont les performances étaient les plus faibles à la première prise de données, soit les étudiants sans bagage technologique et les étudiants sans expérience préalable des modeleurs volumiques. Nous observons parallèlement une évolution des stratégies de modélisation en faveur de stratégies plus efficaces à la seconde prise de données. Nous observons que d'avantage d'étudiants définissent la longueur totale de la pièce, qu'ils le fassent en la définissant d'une extrémité à une autre ou en la décomposant en plusieurs entités. Cette amélioration de la performance en modélisation, suite à des enseignements de CAO à l'aide d'un logiciel différent de celui utilisé pour nos expérimentations, confirme le caractère transférable des connaissances procédurales observées dans la littérature (Lang *et al.*, 1991).

Que dois-je retenir de cette étude pour ma pratique ?

- Les tests spatiaux, y compris les tests d'orientation spatiale, sont utiles pour repérer les étudiants aux connaissances faibles en géométrie plane.
- Les tests spatiaux sont utiles pour repérer des étudiants aux compétences pertinentes pour des spécialisations telles les sciences de l'ingénieur et l'architecture.
- Les habiletés spatiales sont malléables : elles peuvent être développées au travers d'activités de loisirs, aussi bien qu'au travers d'apprentissages formels.
- Une évaluation fine des compétences spatiales devrait tenir compte non seulement de la performance, mais aussi des stratégies (par exemple la rotation mentale) mobilisées dans les tests spatiaux, qui visent souvent des compétences spécifiques (par exemple la transformation mentale). Cette précaution est importante dans le cas où la prise de performance est utilisée pour déterminer les objectifs pédagogiques de dispositifs de remédiation.
- Une évaluation fine de l'activité de modélisation 3D devrait tenir compte non seulement de la performance, mais aussi des stratégies mobilisées. Cette investigation permet d'identifier des sources d'erreur récurrentes (par exemple, choix de la surface à extruder, sur-contraintes) utiles pour orienter les enseignements.

2. <https://dictionary.apa.org/practice-effect>

Références

- 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. et Aubert, E. (1996). Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evolutions psychomotrices*, 206-209.
- Barratt, E. S. (1953). An analysis of verbal reports of solving spatial problems as an aid in defining spatial factors. *The Journal of Psychology*, 36(1), 17-25.
- Bloom, B. S. et Broder, L. J. (1950). Problem-solving processes of college students. *Supplementary Educational Monographs*, B, 1-109.
- Board, C. E. E. (1939). Special Aptitude Test in Spatial Relations (Mental Cutting test).
- Branoff, T. et Dobelis, M. (2012). The relationship between spatial visualization ability and students' ability to model 3D objects from engineering assembly drawings. *The Engineering Design Graphics Journal*, 76(3).
- Chester, I. (2007). Teaching for CAD expertise. *International Journal of Technology and Design Education*, 17, 23-35. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9015-z>
- Dassault Systèmes. (1995). *SolidWorks* [logiciel]. <https://www.solidworks.com/fr>
- Dassault Systèmes. (2012). *CATIA (V6 2013x)* [logiciel]. <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/catia/>
- Gold, A. U., Pendergast, P. M., Ormand, C. J., Budd, D. A., Stempien, J. A., Mueller, K. J. et Kravitz, K. A. (2018). Spatial skills in undergraduate students—Influence of gender, motivation, academic training, and childhood play. *Geosphere*, 14(2), 668-683. <https://doi.org/10.1130/GES01494.1>
- Górska, R. (2005). Spatial imagination-an overview of the longitudinal research at Cracow University of Technology. *Journal for Geometry and Graphics*, 9(2), 201-208.
- Guay, R. B. (1976). *Purdue spatial vizualization test*. Educational testing service.
- Guay, R. B. (1980). *Spatial Ability Measurement : A Critique and an Alternative* [communication]. ERIC. <https://eric.ed.gov/?id=ED189166>
- Hamade, R. F., Artail, H. A. et Jaber, M. Y. (2005). Learning theory as applied to mechanical CAD training of novices. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 19(3), 305-322. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1903_2
- Hegarty, M. (2018). Ability and sex differences in spatial thinking : What does the mental rotation test really measure? *Psychonomic Bulletin & Review*, 25, 1212-1219. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1347-z>
- Hirschtick, J., McEleney, J., Li, T., Corcoran, D., Lauer, M. et Harris, S. (2014). *Onshape* (version 103) [logiciel]. Onshape. <https://www.onshape.com/>
- Hopkins, K. D. (1998). *Educational and psychological measurement and evaluation* [livre]. ERIC. <https://eric.ed.gov/?id=ED423248>
- ISAE-Supméca. (2016). *Expérimenter l'Apprentissage par problèmes et Projets via la conception 3D / EXAPP_{3D}*. <https://www.isae-supmeca.fr/actualites/non-classe/supmy-ca-contre-le-dy-crochage-scolaire/>
- Lang, G. T., Eberts, R., Gabel, M. et Barash, M. (1991). Extracting and using procedural knowledge in a CAD task. *IEEE Transactions on Engineering management*, 38(3), 257-268. <https://doi.org/10.1109/17.83758>
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial ability : A review and reanalysis of the correlational literature* [rapport technique]. School of Education, Stanford University, Stanford, CA. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA075972>
- Maeda, Y. et 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, 69-94. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9215-x>

- Martín-Dorta, N., Saorín, J. L. et Contero, M. (2008). Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. *Journal of Engineering Education*, 97(4), 505-513. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00996.x>
- Rynne, A. et Gaughran, W. (2007). Cognitive Modelling Strategies For Optimum Design Intent In Parametric Modelling (PM). *Computers in Education Journal*, 18(3), 55-68. <https://peer.asee.org/2651>
- Schell, B. et Esch, J. (2000). *SketchUp* [logiciel]. Trimble Inc. <https://www.sketchup.com>
- Sorby, S. A. (2009). Spatial abilities et their relationship to computer aided design instruction. Dans *Proceedings of the 1999 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition* (p. 4-465). <https://peer.asee.org/8070>
- Steinhauer, H. (2012). Correlation between a student's performance on the Mental Cutting Test and their 3D parametric modeling ability. *The Engineering Design Graphics Journal*, 76(3).
- Tartre, L. A. (1984). *The Role of Spatial Orientation Skill in the Solution of Mathematics Problems and Associated Sex-Related Differences* [thèse de doctorat, University of Wisconsin-Madison, Madison, États-Unis d'Amérique].
- Thurstone, L. (1938). The perceptual factor. *Psychometrika*, 3(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/BF02287914>
- Thurstone, L. L. et Jeffrey, T. (1956). *Closure Flexibility : Concealed Figures : Form A*. Industrial Relations Center, the University of Chicago.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C. et Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills : a meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Vandenberg, S. G. et Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Wai, J., Lubinski, D. et 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. <https://doi.org/10.1037/a0016127>
- Yoon, S. Y. (2011). *Psychometric properties of the revised purdue spatial visualization tests : visualization of rotations (The Revised PSVT : R)* [thèse de doctorat, Purdue University, West Lafayette, États-Unis d'Amérique].