

L'impact des capacités mentales et spatiales sur la maîtrise du concept de projection orthogonale

Ezzeddine Abdelwahed*, Abdelkarim Mami**
et Kais Ben Romdhane***

* I.S.E.F.C., Bardo Tunis
ezzeddine_abdelwahed@yahoo.fr

** E.S.S.T. de Tunis
ramimami@planet.tn

*** I.S.E.F.C., Bardo Tunis
kais_b_romdhane@yahoo.fr

Résumé

Dans cette étude, nous avons tenté en premier lieu, d'élucider les origines des difficultés d'acquisition du concept projection orthogonale, par une analyse des capacités mentales et spatiales mises en jeu par les élèves de la première année de l'enseignement secondaire tunisien. En deuxième lieu, nous proposons comme remédiation, l'utilisation de Solidworks logiciel de simulation et modelage en trois dimensions virtuelles vu son impact positif pour la réussite de l'enseignement-apprentissage du dessin technique en général.

Mots clés

Capacité mentale - Capacité spatiale - Ordinateur - Simulation et modelage

Introduction

Dans le processus de production industrielle d'objets techniques, la phase de conception détermine 75% du coût final d'un objet manufacturé (Fanchon, 1999). Cette phase repose pour l'essentiel sur la définition graphique de l'objet qui n'existe que sous forme symbolique (Vérillon, 1997). De fait, l'enseignement du dessin technique ou industriel est un enjeu important dans la formation des futurs techniciens et ingénieurs en construction mécanique. Dans une enquête préliminaire à ce travail, nous montrons que la quasi-totalité des enseignants tunisiens de construction mécanique que nous avons interrogés rencontrait des difficultés pour enseigner la projection orthogonale ou orthographique¹ qui consiste à faire une projection de l'objet réel en trois dimensions selon des lignes de projection orthogonales parallèles. La représentation ainsi obtenue se compose de vues planes en deux dimensions. Plusieurs vues découlent de ce mode de projection ; la première, appelée vue de face, correspond à ce que voit l'observateur qui serait placé en face de l'objet. À partir de cette vue de face, il est possible de définir cinq autres vues complémentaires (vues de gauche, de droite, de dessus, de dessous, de derrière), obtenues en faisant tourner l'observateur dans l'espace d'un angle de 90° par rapport à sa position d'origine. Les causes liées aux difficultés d'enseignement de ce système de représentation invoquées principalement par ces enseignants sont de deux types. Il s'agit d'une part de l'insuffisance du temps alloué pour son enseignement et du manque de publications didactiques et pédagogiques qui traitent spécifiquement cette question de la lecture du plan (Bouchaccourt, 1982).

D'autre part, les enseignants ajoutent les difficultés liées aux organisations de l'enseignement, l'inadéquation des prescriptions curriculaires en regard des conditions d'enseignement en première année de l'enseignement secondaire. Ce décalage entre le niveau d'exigence attendu et les conditions d'enseignement est source d'ambiguïtés dans les enseignements technologiques (Chatoney, 2005). Par exemple, les instructions officielles

¹ La représentation, appelée orthographique, est obtenue par des projections et donne des vues (bidimensionnelles ou 2D), systématiquement positionnées les unes par rapport aux autres. L'observateur se place perpendiculairement à l'une des faces de l'objet, appelée vue de face. À partir de cette vue, sorte de vue principale, il est possible de définir cinq autres vues ou projections orthogonales dans des directions à 90° les unes des autres.

tunisiennes demandent que les élèves puissent *compléter la représentation d'un composant en projection orthogonale et lire/écrire une perspective cavalière*. Répondre à ce genre d'injonction suppose un haut niveau de compétences. Ainsi que l'ont souligné quelques enseignants, la vision dans l'espace constitue un obstacle à l'enseignement de l'expression graphique. La lecture d'un dessin en perspective n'a rien de spontané pour des élèves débutant en construction mécanique et son exploitation dans le cadre de projections orthogonales n'a rien de simple. En ce sens, l'expression graphique est un système complexe qui articule un ensemble de supports perceptifs d'information et d'instruments sémiologiques, conçu comme un moyen d'opérer un traitement du réel (du point de vue des finalités, des structures, du fonctionnement, etc.) dans un environnement sociotechnique donné. De fait, les difficultés rencontrées par les élèves pour résoudre ce genre de problème ont des effets sur leur motivation à poursuivre ce type d'études. Pour les enseignants, l'importance donnée à cet enseignement du graphisme s'oppose à l'enseignement des concepts de technologie et se révèle être un obstacle majeur pour atteindre les objectifs prescrits dans les programmes.

Bien sûr, l'analyse de ces difficultés et/ou obstacles – notamment, l'étude de leur impact sur les processus d'enseignement et apprentissage – peut être conduite selon différents points de vue, dans différents domaines épistémologiques, avec des méthodologies spécifiques. Dans cette étude, nous nous sommes limités à l'analyse des difficultés des élèves dans la réalisation de projections orthogonales, notamment en ce qui concerne les représentations spatiales et les passages de dessins en deux dimensions à trois dimensions ou vice-versa. La maîtrise des compétences liées à la manipulation de ces intermédiaires graphiques et le passage d'un type à l'autre est évidemment significative de la réussite des élèves dans ce type de tâches. Notre recherche s'intéresse, dans le respect des prescriptions curriculaires, à la mobilisation de ces capacités dans la dynamisation du processus d'enseignement apprentissage pour l'acquisition de ces notions de base. Il s'agit d'amener les élèves à concevoir et donc manipuler des objets dans des univers graphiques en deux ou trois dimensions. De ce point de vue, la construction de signification des activités technologiques résulte de la mise en relation entre conception, production et utilisation (CPU cf. Ginestié, 1996, 1999). Or l'approche de la production industrielle est curieusement absente des programmes d'enseignement de la technologie en première année.

L'analyse des stratégies d'acquisition du concept de *projection orthogonale* a été conduite en référence à la théorie piagétienne de l'apprentissage (Piaget & Inhelder, 1948). Pour ce faire, nous avons utilisé une grille qualitative visant à identifier les capacités de repérage spatial. Confrontés à un exercice de projection orthogonale sur papier, plusieurs élèves engagent des mouvements de la tête pour tenter de se représenter l'objet selon la vue choisie ; par exemple, un élève imprime un mouvement de la tête vers la gauche pour imaginer la vue de gauche dans la projection orthogonale. De fait, il est difficile pour les élèves de donner des réponses sur ces différentes projections sans accompagner leur recherche de solution d'un mouvement de tête, c'est-à-dire en jouant sur leur construction mentale de l'objet. Ainsi, la tentative de changement de position physique les renvoie à adopter leur nouveau point comme une nouvelle vue de face qui concurrence la précédente et génère nombre de confusions, notamment en comparant ces deux vues de face.

Résultats

Pour apprécier l'efficacité des stratégies d'élèves de première année, nous avons mis en place un protocole expérimental dans lequel ils devaient (1) construire une vue à partir d'une perspective donnée et (2) construire une troisième vue à partir de deux autres.

Le dépouillement du test révèle que trente-sept élèves sur soixante-quatre éprouvent des difficultés à traduire le dessin en perspective (3D) dans un système de vues en deux dimensions (Figure 1). Ils ont des difficultés à se représenter mentalement l'objet en volume et à changer de point de vue afin d'imaginer les différentes vues obtenues par projection. D'une certaine manière, ils n'ont pas acquis cette capacité mentale de représentation.

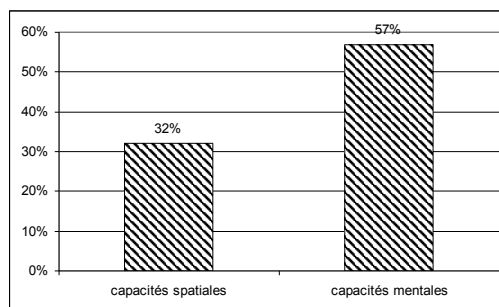


Figure 1. Résultats du test sur les projections

Les capacités qui permettent de passer mentalement d'un type de représentation à une autre (formes volumiques ou projection en deux dimensions) s'acquièrent progressivement. Nous avons pu ainsi apprécier les évolutions tout au long des différents exercices que nous avons proposés aux 64 élèves de première année de l'enseignement secondaire, tout au long de cette expérimentation. Ainsi, s'il était encore besoin, ce travail confirme le fait que, comme le dit Piaget (1991), l'intelligence n'est pas innée. Notre expérimentation concernait des élèves débutants dans ce domaine de la construction mécanique. L'analyse des erreurs qu'ils ont commises met en évidence les grandes difficultés qu'ils rencontrent dès qu'il s'agit de coordonner deux ou plusieurs éléments de base simultanément tels que rainure, nervure, socle et entaille. Ces combinaisons supposent effectivement de mettre en œuvre des stratégies de résolution très complexes, reposant sur une grande efficacité dans la manipulation mentale des différentes représentations. Au-delà des processus d'apprentissage, on voit se dégager tout un espace de remédiations qui relèvent des organisations didactiques mises en œuvre par les enseignants. Une de nos questions dans cette recherche porte sur le rôle que peut jouer une application informatique telle que les modeleurs 3D dans le processus d'enseignement apprentissage de la construction mécanique.

Stratégie de remédiation

Notre choix s'est porté sur la mise en place d'un dispositif de remédiation utilisant le logiciel de modélisation 3D *Solidworks*. Ce dispositif visait, d'une part, à améliorer les capacités des élèves à se représenter un objet selon deux modes de représentation (projection et en volume) et donc à améliorer leurs performances lors des évaluations scolaires et, d'autre part, à valoriser l'utilisation de systèmes informatiques dans les situations didactiques d'enseignement de construction mécanique ; il y a, en effet, un enjeu social à faire évoluer l'environnement de travail depuis l'utilisation des tables à dessin jusqu'à celle des systèmes de conception et fabrication assisté par ordinateur (CFAO).

L'engagement des élèves dans les activités de construction

Apprendre, comme le note Giordan (1998), est un processus actif, complexe, souvent conflictuel, qui suppose de bousculer les conceptions ancrées dans nos têtes. La réussite du processus d'enseignement-apprentissage repose pour partie dans l'engagement des élèves dans les organisations que leur propose l'enseignant. Cet engagement témoigne de la motivation des élèves à accomplir les tâches scolaires et, au-delà, à développer des apprentissages. Cet engagement relève du processus complexe de reconnaissance par l'élève de son incapacité à résoudre la tâche qui lui est proposée avec ses savoirs et ses stratégies de résolution usuelles. La concentration de la tâche sur son but premier est une condition initiale nécessaire mais non suffisante susceptible de provoquer cet engagement ; il s'agit de mettre l'accent sur les difficultés repérées des élèves, d'éliminer tout ce qui autour pourrait distraire de ces objectifs et de mettre en scène ces difficultés dans un dispositif suffisamment contraignant pour que l'élève ne puisse s'y soustraire. L'usage d'un environnement informatique permet d'organiser cela tout en donnant à l'ensemble une dimension attrayante.

L'engagement dans l'activité est une première étape, son maintien tout au long de l'activité en est une seconde. Les dispositifs proposés doivent valoriser les réussites des élèves (Houssaye, 1999) afin d'entretenir leur motivation à aller jusqu'au bout de leur travail. Dans notre cas, cette dimension est première car il s'agit bien de développer une dynamique de compréhension dans la manipulation de différentes représentations et de leurs traductions dans des intermédiaires graphiques. Cette dynamique relève du développement de processus et de stratégies bien plus que de l'acquisition de connaissances factuelles ; elle s'inscrit dans une approche de construction progressive de la capacité à agir. De fait, si la réussite constitue le soutien apporté au maintien de la

motivation, c'est la gestion des erreurs qui va permettre à l'élève d'éprouver ses stratégies de résolution et de les optimiser ; la performance provient de la gestion des erreurs, l'engagement est lui soutenu par les réussites. Une telle dichotomie met en lumière tout le paradoxe porté par un enseignement de cette nature. Ce processus est bien évidemment un long cheminement.

Conclusion

Les enseignants, confrontés à l'hétérogénéité des classes, ont à faire face aux difficultés rencontrées par les élèves lors de la réalisation de dessins de construction mécanique, notamment dans le passage d'une représentation volumique à des représentations obtenues par projection orthogonale. Dans l'ensemble, ces enseignants ne rencontrent pas de problème avec de nombreuses parties des programmes d'enseignement. En revanche, ils rencontrent systématiquement et généralement des difficultés réelles qui se traduisent par un important échec des élèves dès qu'ils abordent les projections orthogonales ou les liaisons mécaniques (Abdelwahed, 2004). La recherche présentée ici est une contribution à la résolution de quelques-unes de ces difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des processus d'enseignement apprentissage de la projection orthogonale. Notre démarche vise à identifier les erreurs des élèves de façon à pouvoir les instancier lors des évaluations scolaires trimestrielles ou annuelles de manière plus pertinente que par l'usage de moyennes de notes par définition fluctuantes (les élèves réussissent très bien certains exercices de technologie mais échouent systématiquement dès lors qu'il s'agit de projection orthogonale). Par ailleurs, au-delà de cette instanciation, l'analyse des stratégies de résolution éclaire le processus d'acquisition des élèves, notamment leur difficulté à passer mentalement d'une représentation en trois dimensions à une des vues obtenues par projection orthogonale.

L'utilisation d'un système de modelleur volumique qui permet de produire des représentations virtuelles en trois dimensions apporte une aide aux élèves, aide qu'il conviendra de préciser et de qualifier (Ben Romdhane, 2004). D'un point de vue didactique, un tel système permet de diversifier les situations en disposant d'un objet virtuel que l'élève peut faire tourner, ouvrir, examiner de l'intérieur. Cette diversité bien organisée va contribuer à l'accompagnement de l'élève dans sa progression en lui permettant de revenir à cet objet chaque fois que nécessaire. Cette possibilité d'allers-retours entre la représentation volumique de l'objet et les vues en cours de réalisation obtenues par projection orthogonale semble réduire la charge cognitive des élèves qui sont ainsi plus disponibles pour se centrer sur les modes d'élaboration des représentations (Ben Romdhane, Mami & Abdelwahed, 2006). Bien sûr, ces systèmes offrent une ergonomie séduisante avec leur souplesse de manipulation des objets volumiques, les couleurs et les formes utilisées. Pour autant, la mise à distance du réel par la manipulation de ces objets virtuels n'exonère pas l'élève de son rapport aux objets réels et à leur manipulation mentale au travers de représentations construites pour l'occasion ; les simulations ne peuvent se substituer à l'expérience réelle, elles peuvent tout au plus les précéder afin de les compléter (Nonnon, 1998). L'organisation de la simulation en relation avec le réel relève de ce que cet auteur appelle "la lunette cognitive".

La projection orthogonale est indispensable et incontournable dans toutes les différentes phases de la conception. Sa maîtrise s'appuie sur le développement de capacités mentales pour se représenter un objet dans ses propriétés volumiques et spatiales. Cette maîtrise suppose de pouvoir l'organiser en différentes vues et à coordonner les différents points de vue et les éléments de base qui le constituent. Au bout du compte, il s'agit d'imaginer un objet dans les trois dimensions. Pour autant, cette qualité fondamentale n'est pas un don du ciel. Elle doit être travaillée, développée et cultivée (Fanchon, 1994). Bien sûr, la facilité de mise en œuvre de ces systèmes et leur banalisation repose la question de l'abandon des situations s'appuyant sur des exercices papier/crayon, exercices qui permettent de développer la motricité fine, la maîtrise et l'économie du geste, l'exigence de précision et qui offrent à l'élève un outil de communication lui permettant de matérialiser ses idées avec clarté et rapidité.

Références bibliographiques

- Abdelwahed, E. (2004). Contribution à l'étude de l'expression graphique: cas de l'enseignement de la projection orthogonale en première année de l'enseignement secondaire. Mémoire de D.E.A., Institut supérieur de l'éducation et la formation continue, Le Bardo, Tunis, Tunisie.
- Ben Romdhane, K. (2004). *Contribution à l'enseignement apprentissage de la lecture d'un plan d'ensemble : cas des élèves tunisiens de la troisième année technique*. Mémoire de D.E.A., Institut supérieur de l'éducation et la formation continue, Le Bardo, Tunis, Tunisie.
- Ben Romdhane, K, Mami, A & Abdelwahed, E. (2006). *Le dessin d'ensemble n'est pas un ensemble de dessins*. Communication à la 4^{ème} conférence internationale- JTEA'06, Hammamet, Tunisie.
- Bouchaccourt, H. (1982). *Exercices de lecture de dessin de mécanique*. Paris : Éditions Casteilla.

- Chatoney, M. (2005). Activités de production et construction du concept de matériau en réalisation sur projet en classe de CP. In P. Vérillon, J. Ginestié, B. Hostein, J. Lebeaume & P. Leroux (Eds.), *Produire en technologie à l'école et au collège* (pp. 279-306). Paris: INRP.
- Fanchon, J-L. (1994). *Guide des sciences et technologies industrielles*. Paris: Nathan & AFNOR.
- Fanchon, J-L. (1999). *Guide interactif des sciences et technologies industrielles*. Paris: Nathan & AFNOR.
- Ginestié, J. (1996). *Some questions about introducing technology education in France*. Communication à International Congress for Assesment in Technology education. Braunschwick, Germany.
- Ginestié, J. (1999). La démarche de projet industriel et l'enseignement de la technologie. *Éducation technologique, 24*, 14-21.
- Giordan, A. (1998). *Apprendre !* Paris : Belin.
- Houssaye, J. (1999). L'éducation nouvelle : utopies d'hier, innovation d'aujourd'hui ? In *Apprendre autrement aujourd'hui ? 10^o entretiens de la Villette* (chapitre 4, pp. 1-7). Paris : Cité des sciences et de l'industrie. [<http://desette.free.fr/pmevtxt/doc/17housst.doc>]
- Nonnon, P. (1998). Intégration du réel et du virtuel en science expérimentale. In F.-M. Blondel & M. Schwob (Eds.), *Actes des 8èmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques* (pp. 133-137). Paris : INRP.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1991). *La psychologie de l'intelligence*. Paris : Armand Colin.
- Vérillon, P. (1997). Eléments pour une didactique comparée. In J. Colomb & J-L. Martinand (Eds.), *Modéliser l'apprentissage de la lecture des graphismes techniques : l'apport des approches psychologiques du dessin technique* (pp. 21-41). Paris : INRP.

Annexes

Informations sur le test

Le matériel mis à la disposition des élèves (crayon, gomme, règle) leur permet d'exécuter les dessins à la règle mais ils peuvent le faire à main levée.

Le non respect des proportions des dessins est un indice de difficulté chez l'élève.

Expliquer l'objet de la passation à l'ensemble du groupe en insistant sur son objectif pédagogique.

L'emplacement des élèves dans la salle d'examen sera fait d'une manière à réduire les risques d'échange d'informations.

Indiquer que le temps de passation n'est pas pris en compte et qu'il ne s'agit donc pas de répondre le plus vite possible, seule est notée la qualité de la réponse.

Indiquer qu'il existe deux types de questions (perspective cavalière et vue en projection orthogonale) et qu'il est possible de sauter celles paraissant trop difficiles (après avoir essayé de les traiter). Enfin, signaler qu'à tout moment on peut revenir en arrière.

Insister sur la nécessité de respecter les dimensions des dessins.

Consignes de correction

Chaque élément de la grille de correction (grille qualitative fondée sur les différentes transformations nécessaires pour aboutir à la bonne réponse) est noté sur un point, l'ensemble porte sur 34 points. Le calcul des points s'effectue en regroupant ceux qui relèvent d'un même type d'éléments, car nous voulons déterminer si chaque élève possède certaines capacités, lesquelles sont à mobiliser dans plusieurs items. En outre, chaque item permet de tester plusieurs capacités.