

Chapitre 1 : Pratiques d'enseignement du DAO

Baignés dans un monde d'images, nous les trouvons banales, au point de considérer le dessin comme un art mineur. C'est bien mal le connaître quand on voit l'importance qu'il revêt dans la société. En effet, aujourd'hui, c'est à une promenade *virtuelle* qu'invite l'architecte, en vol *virtuel* que s'entraîne le pilote d'avion, à un crash *virtuel* qu'est soumise une future voiture, ... A la base de ses images, figure le dessin assisté.

Sans toutefois prétendre remplacer le dessin classique, le DAO est devenu un outil incontournable aujourd'hui en conception. C'est la raison pour laquelle, idéalement, il doit faire partie de la formation d'un futur ingénieur. Une formation au DAO poursuit de nombreux objectifs. Parmi ceux-ci, le cours dispensé à l'UCL n'en poursuit que quelques-uns. Et déjà, de nombreux problèmes se posent aux étudiants comme aux enseignants.

1 Dessin classique ou dessin assisté

Le dessin classique "à main-levée" et le Dessin Assisté par Ordinateur ont bien en commun le terme "dessin". Il s'agit, dans les deux cas, de dessiner. Mais c'est une gageure que de considérer le DAO comme un outil permettant de mettre, sur ordinateur, un dessin réalisé à la main, tout simplement pour être à la mode, dans un monde résolument tourné vers le multimédia. Il est, au contraire possible d'y voir deux disciplines à la fois distinctes et complémentaires.

Dans le domaine de l'industrie, la plupart des processus de fabrication nécessitent la mise sur papier de "l'objet" à réaliser, mais aussi de ses dimensions réelles, tolérances à respecter, etc. Tous ces renseignements, portés sans ambiguïté sur un plan, font du dessin un des supports essentiels de la technique. De nombreuses générations d'ingénieurs (ou plus généralement de concepteurs) l'ont utilisé, à un moment ou à un autre, pour la mise au point de leurs projets. Dans la littérature, de nombreux exemples de plans témoignent de cette nécessité de dessiner avant de réaliser.

Pour ce faire, les dessinateurs ont d'abord utilisé des outils classiques de traçage, tels que la latte, l'équerre, le compas. Bien plus tard, avec les progrès de l'informatique, ils ont ensuite pu imaginer se faire aider par l'ordinateur, d'abord au niveau du tracé, mais aussi au niveau de la conception. Le dessin étant un intermédiaire entre leur idée et sa réalisation, ils ont même été jusqu'à rêver d'automatisation, puis de fabrication assistée par ordinateur. Mais avant de passer de la fabrication à la fabrication assistée, il a fallu repenser les différentes étapes de la conception, depuis la naissance du projet jusqu'à sa concrétisation finale.

Une des premières étapes, et non des moindres, est celle du dessin. En effet, la plupart des processus de conception, du moins dans les domaines de l'ingénierie, nécessitent une première expression graphique issue de la spontanéité du concepteur. "Le dessin sert en *priorité* aux diverses opérations de la conception, dans toutes les disciplines traitant de la construction et de la représentation de l'espace" (Ludi, 1989). Cette représentation peut être floue, sans aucune précision. Elle peut même ne représenter une réalité que dans l'esprit de celui qui l'a dessinée. Une autre personne pourrait l'interpréter différemment. Boudon et Pousin y font référence en analysant un dessin de Carlo Scarpa "(...) le dessin ne représente rien, au sens où *représenter* signifie rendre présent un objet réel absent. Mais c'est bien plutôt l'architecte qui *se* représente son projet." (Boudon & Pousin, 1988). En aucun cas, le premier tracé crayonné, alors que le projet n'est encore qu'à l'état d'embryon, ne doit être sous-estimé. "Le dessin à main-levée est le plus court chemin de la pensée au papier"³. En effet, l'architecte débute un projet par un croquis rapide sur un morceau de papier⁴; le mécanicien, l'électricien, ... crayonnent aussi leur première intuition. Et l'on comprend ici toute l'importance de pouvoir aisément manipuler la représentation classique à main-levée, en tant que *dessin de conception*.

Lorsque vient le moment des réalisations concrètes (usinage d'une pièce mécanique, construction d'un bâtiment, ...), un dessin plus précis, techniquement plus rigoureux, s'impose. C'est le moment où plus aucune erreur ne sera tolérée sur les plans d'exécution, sous peine d'erreur de réalisation. C'est pourquoi, le dessinateur, dont la responsabilité sera engagée, veille à disposer d'un maximum d'outils de précision et de calcul pour les réaliser. Les logiciels de DAO en font partie.

³ Abou-Jaoude, G., (1994), *Machine à projeter et projet d'architecture*, Flash Informatique n°3, EPFL, Lausanne.

⁴ Dans l'état actuel des systèmes de DAO, ce premier trait de crayon n'est pas (ou très peu) pris en compte. Mais des recherches tentent d'y voir un élément déjà chargé d'informations. Peut-être, un jour, verrons-nous des logiciels d'aide à l'esquisse ou plutôt d'exploitation des informations déjà contenues dans un premier croquis. C'est un autre débat.

Le Dessin Assisté par Ordinateur n'a donc pas pour prétention de remplacer le dessin de conception. Il le complète dans les tâches délicates. Il est un outil d'aide à la production de *dessins de communication*, où la *communication* est prise ici dans le sens de "la transmission d'informations sous forme de plans". Ses avantages sont nombreux, du point de vue de la communication, mais aussi pour la pratique de l'utilisateur, la visualisation des plans et l'exploitation des informations graphiques. Quelques avantages sont cités ci-dessous. Ils ne sont pas décrits par ordre d'importance et sont principalement basés sur notre observation des utilisateurs (étudiants et professionnels).

Du point de vue de la communication des informations

- En plus de simplifier la phase complexe de représentation du dessin, les systèmes de DAO offrent la possibilité de faciliter la mise en page et la production de plans (choix des échelles, des coupes, des vues et de leur disposition, des détails, etc.).
- Sa caractéristique de manipuler deux "mondes" distincts, c'est-à-dire celui de la représentation⁵ et parallèlement celui de l'impression de plans, ajoute un avantage supplémentaire au DAO. En effet, une modification du projet dans sa phase de représentation est directement répercutée dans la phase d'impression des plans, contrairement au dessin à main-levée où tout serait à refaire.
- Plusieurs avantages liés à l'utilisation d'un ordinateur bénéficient directement aux systèmes de DAO. L'un d'eux est la grande capacité de stockage des informations permettant l'archivage des dessins et, par conséquent, la réutilisation future de tout ou partie d'un projet.
- Citons aussi le partage et le transfert des informations entre utilisateurs ou entre machines. Ceci est classique dans des projets de grande envergure, impliquant des intervenants de différentes disciplines qui peuvent, sans difficulté, utiliser les mêmes dessins, les compléter, etc. Citons, par exemple, la conception d'un bâtiment nécessitant, sur un même plan, les tracés de plusieurs types : celui de l'architecte pour la conception globale, de l'ingénieur précisant le plan de ferrailage, etc.

⁵ On parle aussi de "modélisation" dans la mesure où est représenté un "modèle" du dessin. Dans AutoCAD®, l'espace graphique dans lequel se représente un dessin porte le nom de "Model Space". Parallèlement, l'espace dans lequel se prépare l'impression papier du dessin s'appelle le "Paper Space".

- Enfin, citons un avantage appréciable en cours de travail. Le DAO est un outil permettant de reproduire proprement les dessins réalisés autrefois au crayon et à la plume. Il permet, en effet, de fournir des dessins sans risque de taches ou de corrections définitivement visibles !

Cependant, aujourd'hui, profitant des progrès de la technique informatique, le DAO a pris son essor et peut apporter bien d'autres avantages que la seule production de plans. En voici quelques exemples aussi issus de l'observation.

Du point de vue de l'utilisateur

- Les logiciels de DAO permettent de tout dessiner en deux et/ou en trois dimensions, de "l'infiniment petit" à "l'infiniment grand". Ils disposent d'une série impressionnante d'outils de traçage, de visualisation, etc. Ils bénéficient de la puissance de calcul des processeurs. Ceci ajoute, pour le dessinateur, une facilité de travail très importante. Ils permettent, par exemple, de gérer des situations complexes tant au niveau des formes traitées (surfaces gauches, volumes non canoniques, ...) qu'au niveau du nombre de celles-ci et de leur arrangement (cas de la conception d'un escalier en colimaçon constitué de volumes simples mais d'un arrangement complexe).
- Les systèmes de DAO proposent aussi une série d'outils facilitant la réalisation des phases fastidieuses telles que la copie multiple de mêmes éléments, la récupération d'éléments déjà dessinés dans un autre projet (par l'utilisation de bibliothèques de dessins), etc. Le gain de temps pour le dessinateur peut être apprécié et le risque d'erreur diminuer significativement.
- Le DAO est aussi un excellent outil de précision. Par l'ensemble des fonctions mises à disposition (introduction de coordonnées pour spécifier un point, outils d'accrochage, définition de directions préférentielles, ...), il force l'utilisateur à travailler avec rigueur. Les angles sont précis, les parallèles parfaitement disjointes, les traits uniques et d'épaisseur constante. Il ne permet pas de dissimuler une erreur par un trait de crayon plus large ou légèrement dévié.
- Les dessinateurs ont l'habitude de manipuler des plans de grande taille. Si l'espace d'affichage se limite à l'écran, l'espace de représentation est, quant à lui, "illimité". Au niveau de la modélisation, l'utilisateur n'est pas tenu de choisir un format standard de support et de s'y limiter. De plus, il est libre d'y organiser ses dessins, sans que cela n'ait d'influence sur la production finale des plans.

- Les processus de conception ne sont qu'exceptionnellement rectilignes. Combien de dessinateurs n'ont-ils pas corrigé ou recommencé partiellement un dessin ? L'ordinateur peut être une aide pour faciliter ces démarches longues et laborieuses. Avec l'outil de DAO, l'utilisateur peut très facilement récupérer un dessin en vue de le modifier et de le tenir à jour. Dans ce cas, le gain de travail est appréciable. Il permet aussi d'ouvrir de nouvelles portes au concepteur qui peut, plus facilement, s'adonner au jeu des essais et erreurs. L'architecte peut, par exemple, déplacer une ouverture ou reculer un mur et en analyser les conséquences sans devoir élaborer de nouveaux plans.

Du point de vue de la visualisation

- D'un dessin très complet, même exagérément chargé d'informations, il est possible de ne visualiser temporairement qu'une partie. En effet, grâce à une structuration des informations bien pensée, il suffit de n'afficher que les éléments avec lesquels on souhaite travailler.
- En quelques opérations simples, l'ordinateur calcule puis fournit une représentation graphique exacte de "l'objet", situation parfois très complexe à réaliser à la main. Citons l'exemple d'une représentation en perspective centrale qui est une réalisation graphique difficile en dessin classique (angle de vue, tracé des points de fuite et des lignes de construction, ...).
- En DAO, il est tout aussi aisé de travailler sur un détail précis du dessin en effectuant un "zoom", plus ou moins important, sur la zone concernée. Ceci garantit davantage de précision au tracé.
- La modélisation impose souvent des allers et retours entre le plan, l'élévation et la coupe. Le modèle 3D les rassemble. Les systèmes de DAO ont l'avantage de pouvoir manipuler aisément ces "objets". Le passage instantané d'une représentation volumique à une représentation plane est possible, par la définition d'un plan de coupe ou de vecteurs de projections. A l'inverse, un plan tracé en deux dimensions est une excellente base de travail pour représenter plus facilement le volume correspondant en trois dimensions.
- Enfin, notons que la manipulation de systèmes de DAO pourrait être une occasion supplémentaire, pour l'utilisateur, d'améliorer ses compétences à voir et se repérer dans l'espace.

Du point de vue de l'exploitation des informations

- Les systèmes de DAO sont aussi capables de gérer des informations non graphiques liées aux entités représentées. Celles-ci peuvent ensuite être réutilisées par d'autres logiciels en vue d'un traitement adéquat (par exemple, un tableur pour le calcul d'un métré et une estimation d'un coût de réalisation, une base de données de matériaux,).
- Certains logiciels de DAO disposent d'un langage de programmation (LISP, C, VB,...) permettant à l'utilisateur d'écrire des commandes qui lui sont propres. Il est ainsi possible de se créer une bibliothèque de commandes utiles selon les applications. C'est ainsi que chaque entreprise peut disposer de ses propres outils de représentation graphique, qu'il s'agisse d'entités spécifiques ou d'opérations à leur appliquer.
- Mais aussi, et c'est capital dans un processus global de conception, un dessin réalisé à l'aide d'un outil de DAO peut être utilisé par d'autres produits d'aide à la conception. Des logiciels ont été développés en vue d'exploiter le dessin. Ils permettent, par exemple, des calculs de structure et de stabilité, des simulations de comportement, des tests de résistance, une visualisation réaliste de "l'objet" représenté (couleur, ombre, matériaux), etc. Cette exploitation du dessin à des fins plus techniques est intéressante pour la mise au point de certains procédés de fabrication ou l'évaluation du produit à réaliser.

S'il y a des avantages certains à utiliser un outil de DAO, il ne faut pas occulter les inconvénients qui en découlent et que rapportent les utilisateurs. Citons, par exemple :

- la taille réduite de l'écran, qui empêche d'avoir une vue d'ensemble d'un projet de grande envergure;
- la nécessité de maîtriser une méthodologie de travail rigoureuse pour bénéficier des avantages du DAO;
- la nécessité d'une connaissance suffisante des possibilités offertes par de tels systèmes, afin de les exploiter le plus efficacement possible;
- la rigueur indispensable dans la représentation de dessins, afin de pouvoir en assurer le transfert vers d'autres utilisateurs ou logiciels;
- la complexité croissante des systèmes, qui ne permet pas une approche approximative et immédiate, mais nécessite une phase d'apprentissage.

2 Le dessin et les ingénieurs

Si l'utilisation du DAO a des avantages certains pour un dessinateur, elle ne lui est pas exclusivement réservée. De nombreuses raisons plaident aussi en faveur d'une formation au DAO pour les ingénieurs :

- Quel que soit le type de conception (architectural, mécanique, électrique, ...) dans lequel il intervient, l'ingénieur doit idéalement pouvoir manipuler un maximum d'outils performants, destinés à l'aider dans sa tâche et pour lesquels il serait formé. "Fondements scientifiques et technologiques forment une boîte à outils. Plus elle est riche et l'ingénieur apte à l'enrichir d'outils nouveaux, plus vaste est le champ de questions qu'il peut aborder et plus nombreuses sont les solutions qu'il lui est permis d'envisager" ⁶. Parmi les outils de base nécessaires à la conception et surtout à la Conception Assistée par Ordinateur, figure le dessin et donc, a fortiori, le Dessin Assisté par Ordinateur.
- L'ingénieur détient une responsabilité non négligeable dans la communication des résultats de ses recherches et de ses innovations. Outre ses capacités à communiquer verbalement et par écrit, il est tenu de pouvoir présenter des plans corrects et bien établis de ses projets (Ludi, 1989). Son aptitude à communiquer par le dessin devrait donc aussi être prise en considération et développée.
- En plus de concevoir et communiquer, l'ingénieur a aussi pour mission de garantir la réalisation finale des projets. Pour cela, il tente d'apporter la plus grande rigueur à chaque étape du processus. Idéalement, les phases de dessin ne devraient pas échapper à cette règle. La rigueur de travail apportée aux plans est directement mise à l'épreuve lorsque ceux-ci sont couplés à des machines-outils de fabrication assistée (découpage d'une tôle, par exemple) ou sont utilisés sur chantier lors de la réalisation d'un immeuble ou d'un ouvrage d'art. Une erreur pourrait être économiquement grave, alors qu'un travail rigoureux pourrait permettre une minimisation des erreurs et des rebuts de fabrication.
- Dans le cas de certains systèmes complexes (conception d'un avion, d'un bâtiment, ...), le concepteur ne peut toujours se permettre de réaliser une maquette ou un prototype de "l'objet" imaginé, pour des raisons évidentes de coût. Sur base de représentations graphiques détaillées, il est alors possible au

⁶ <http://www.fsa.ucl.ac.be/accueilFSA/Accueil.html>, consultation novembre 2003.

concepteur de simuler des comportements, afin de valider ses modèles et, si nécessaire, d'y apporter les corrections utiles. Ce processus complet de conception-modélisation-simulation-validation peut être reproduit un grand nombre de fois, à moindre coût, avant la première réalisation physique du prototype. A l'inverse, utiliser le dessin en cours de conception permet aussi, dans certains cas, d'apporter des solutions à des problèmes posés. Dans ce cas, c'est la simulation qui peut apporter des éléments de réponse. Pour Boudon et Pousin, "le dessin fonctionne aussi comme une simulation qui est ici un support pour le raisonnement" (Boudon & Pousin, 1998).

D'autres raisons plaident encore en faveur de l'apprentissage du dessin dans la formation des ingénieurs. Ces raisons sont plus éloignées de l'acte même de dessiner, mais importantes dans celui de concevoir : "Le dessin est non seulement l'outil de représentation indispensable à l'architecte, pour l'étude et la communication du projet, mais aussi l'outil d'acquisition de connaissances, aussi bien d'ailleurs pour la formation des architectes que celles des ingénieurs: il est le moyen d'apprendre à voir" (Quinrant, 1985).

3 Objectifs d'un enseignement du DAO

Si la nécessité d'une formation au DAO est évidente pour les ingénieurs, voyons quels pourraient en être, plus précisément, ses objectifs. En considérant l'utilisation du DAO dans l'exercice professionnel, il est intéressant de constater qu'une formation au DAO devrait permettre d'augmenter les connaissances directes, c'est-à-dire celles propres à la discipline, mais aussi qu'elle devrait favoriser l'amélioration et le développement d'autres compétences plus transversales. Un cours de DAO devrait donc idéalement poursuivre différentes catégories d'objectifs.

3.1 Objectif général

Une des raisons principales de l'utilisation d'un système de DAO est la représentation graphique d'objets, de volumes de l'espace tridimensionnel, sur support plan. L'objectif général d'un enseignement du DAO pourrait donc se synthétiser, de manière abrupte, en ceci : *à l'issue du cours, l'étudiant doit être capable de communiquer par le dessin⁷ à l'aide d'un outil de Dessin Assisté par Ordinateur*". La maîtrise de l'outil de DAO sera donc nécessaire à l'étudiant pour

⁷ Dans le cadre de ce travail, nous ne parlerons pas du dessin de conception qui, de son côté, peut poursuivre d'autres objectifs.

développer son aptitude à *communiquer par le dessin*. Précisons cette notion de "maîtrise".

L'interface d'un logiciel de DAO diffère d'un produit à l'autre. Quelques notions propres au domaine ciblé (architecture, mécanique, électricité, ...) différencient aussi les produits. Mais le futur ingénieur ne peut déterminer avec certitude, au moment de ses études, quels types de logiciels il sera amené à utiliser plus tard (d'autant que ceux-ci évolueront encore). Or tous ces logiciels sont fondés sur les mêmes principes de base. Un indicateur de bonne maîtrise du DAO pourrait donc être la capacité qu'a son utilisateur à passer, sans problème, d'un logiciel à un autre, puis à en tirer les avantages et inconvénients, et ce, de manière la plus autonome possible. Au sein d'une entreprise, l'étudiant devenu professionnel serait alors capable, à la fois d'établir une critique constructive des différents systèmes, définir celui qui convient le mieux à ses besoins et surtout le manipuler efficacement dans son projet réel de conception.

"Maîtriser le DAO" consiste donc à acquérir une compréhension en profondeur de ce type d'outil, pour ensuite manipuler n'importe quel logiciel de DAO et pouvoir en établir la critique. Ceci rejoint l'opinion de Martegani, Denis et Huynen pour qui "l'apprentissage ne peut se réduire à une seule accumulation de connaissances ne s'accompagnant pas d'une compréhension approfondie de la démarche qui a présidé à leur élaboration. Sans posséder la logique interne d'une discipline, il serait impossible de porter un jugement critique fiable sur la valeur des informations reçues et donc il serait très difficile d'intégrer de nouvelles données" (Martegani, Denis & Huynen, 1976).

Pour posséder cette "logique interne", plusieurs types d'objectifs doivent être poursuivis. D'un point de vue des connaissances, nous en distinguons principalement de trois types : des objectifs de contenu (matière propre au DAO), des objectifs mathématiques et d'autres plus techniques. D'un point de vue des compétences, nous distinguons des objectifs méthodologiques liés à la discipline et d'autres plus transversaux.

3.2 Objectif de contenus propres à la discipline

Parler du Dessin Assisté par Ordinateur sans d'abord donner une vue d'ensemble d'un tel outil, aurait bien peu de sens. C'est pourquoi, un des objectifs premiers du cours serait d'exposer les entités qui composent un dessin en deux et en trois

dimensions, les opérations que l'on peut y effectuer, les outils de sélection d'entités, d'accrochage à des points particuliers, de calcul de dimensions, etc.⁸.

C'est ainsi que seraient revues les formes géométriques planes de base telles que la ligne, le cercle, l'arc, le polygone mais aussi des entités plus spécifiques (selon les logiciels) telles que la polyligne, la ligne de construction, la spline, ... etc. En termes de volumes canoniques, le cours permettrait de revoir le parallélépipède rectangle, le cône, la sphère, le tore, le cylindre, le prisme, Il aborderait aussi des entités plus spécifiques telles que des surfaces 3D (surfaces réglées, surfaces de révolution,), des contours plans extrudés. Pour mettre en oeuvre ces entités planes et volumiques, une série d'opérations d'édition existent et seraient présentées. Elles sont, par exemple, des transformations telles que des déplacements, des rotations, des changements d'échelle, des coupures, des unions, des symétries, des copies en tableaux, des chanfreins, etc.

Seraient aussi présentés, une série d'outils nécessaire à assurer la précision du tracé. Ces outils, mis en place dans les systèmes de DAO, permettent, par exemple, d'accrocher des points particuliers du dessin sans erreur due à la visualisation à l'écran (centre d'un cercle, intersection de deux entités, point tangent à un cercle, etc.). Un autre outil, tout à fait fondamental dès que l'on parle de représentation graphique, puisqu'il est le moyen de se situer avec précision et sans ambiguïté dans l'espace est le repère.

Pour visualiser un dessin, les notions de projection parallèle, perspective centrale et les notions connexes telles qu'un plan de projection, une caméra, une cible, une distance focale, seraient étudiées.

Les systèmes de DAO ont des atouts supplémentaires très intéressants tels que des fonctions de calcul (centre de masse, moment d'inertie, volume, ...) et de mesure (distance entre deux points, cotation des entités dessinées, ...). Pour vérifier l'exactitude d'un dessin ou pour obtenir certaines informations complémentaires, il est nécessaire de pouvoir utiliser ces outils. Ceux-ci seraient aussi présentés dans le cadre d'un cours de DAO.

Selon les exigences rencontrées actuellement dans le monde industriel, le dessin réalisé à l'aide de l'outil de DAO se voit attribuer d'autres rôles que sa seule

⁸ Rappelons qu'il n'est pas du tout question ici de l'étude de logiciels de type "painting program" servant plus à l'illustration qu'à la réalisation de dessins techniques (Paint[®], Corel Draw[®], Paint Shop Pro[®], ...).

existence sous forme de plan. Il est, par exemple, à la base de la production d'images de synthèse. En plus de ses capacités à dessiner, l'utilisateur devrait donc maîtriser les techniques de couleurs, de lumière, de matériaux et de génération d'images qui permettront d'obtenir un aspect de l'objet dessiné plus proche de la réalité.

Enfin, un outil de DAO offre généralement des possibilités d'échange de fichiers vers d'autres systèmes, assurant son passage vers la CAO. Ceci permet d'élargir considérablement la pertinence de son utilisation puisque, d'un simple fichier de dessin, il sera possible de passer à des logiciels performants de vérification de contrainte, d'animation virtuelle, de fabrication assistée, etc. Ces transmissions d'informations graphiques seraient aussi abordées.

A l'issue d'un enseignement du DAO, les étudiants devraient donc être capables de manipuler concrètement l'ensemble des notions décrites ci-dessus⁹.

3.3 Objectifs mathématiques

D'un point de vue mathématique, deux domaines plus difficiles tant du point de vue de leur utilisation (règles et conventions d'écriture strictes) que de leur motivation à être étudiés trouveraient idéalement des applications pratiques dans une formation au DAO.

A une époque où les ordinateurs n'avaient pas la place qu'ils tiennent aujourd'hui, il était aisé de comprendre l'utilité de la géométrie descriptive. En effet, les règles de géométrie, et tout particulièrement celles de la géométrie descriptive, permettaient aux concepteurs de représenter avec précision des figures de l'espace sur support plan et de résoudre des problèmes géométriques complexes (recherche de distances, par exemple). Actuellement, la puissance de calcul des ordinateurs semble occulter cette nécessité. Il est, en effet, possible de dessiner directement un objet tridimensionnel puis d'en extraire des coordonnées de points, des mesures de distances, des valeurs d'angles, etc.

Il reste toutefois des cas, en deux dimensions, où la géométrie descriptive apporte une aide. En effet, toutes les informations de dimension ne peuvent être condensées sur un même dessin; il en deviendrait illisible. Il est donc important que l'utilisateur

⁹ Rappelons que certains logiciels ont la possibilité d'écrire une série de commandes et de menus propres à l'utilisateur grâce à un *langage de programmation classique* associé. De manière générale, les langages de programmation font l'objet d'autres cours.

se représente mentalement l'objet, au départ de ce dont il dispose comme informations, de manière à déduire graphiquement les données "manquantes". Un exemple concret de problème peut être consulté en annexe, page 216.

Les concepts généraux de la géométrie analytique permettent de formaliser les transformations et certaines projections réalisées au cours de dessin classique. Les déplacements, la visualisation et la manipulation des objets dans le plan et l'espace sont fondamentaux pour tous les systèmes d'infographie. Ces opérations sont réalisées par des translations, des rotations, des changements d'échelle, des symétries, etc., nécessitant une bonne maîtrise des notions de repères, de coordonnées absolues, relatives, polaires, de matrices, de vecteurs, ...

La notation matricielle est très utilisée dans beaucoup d'applications géométriques. Elle permet l'écriture des transformations géométriques habituelles. Elle est familière d'un point de vue mathématique et facile à traiter par ordinateur. Toutefois, certaines transformations géométriques sont obtenues par multiplication de matrices et/ou addition de vecteurs. Ceci pose des problèmes au niveau des dimensions des matrices. Pour éviter ces problèmes, le concept de coordonnées dites "homogènes" est introduit. La représentation des points en coordonnées homogènes donne une approche unifiée à la description des transformations. De plus, l'introduction de ce nouveau type de coordonnées permet de représenter, mathématiquement, les points et le plan "à l'infini".

Ces éléments de géométrie projective (espace et invariants projectifs) permettent donc, non seulement de généraliser les transformations sous forme matricielle, mais aussi de "décrire" les différents constituants des perspectives centrales, utilisant la délicate notion d'infini.

Il s'agirait donc de décrire et d'appliquer les opérations de transformation et de visualisation possibles sous une forme mathématique adaptée à leur traitement informatique. Ceci permettrait une compréhension plus en profondeur des notions de projection, d'infini "borné" (puisque limité aux possibilités de la machine) et de certaines combinaisons d'opérations graphiques (la non-commutativité de la rotation dans l'espace et l'ordre des transformations composées en sont des exemples).

Etudier la géométrie analytique et la géométrie projective dans le cadre d'un cours de DAO relève bien d'un apprentissage "en profondeur", afin de maîtriser "la logique interne" de la discipline (pour reprendre les termes de Martegani, Denis et Huynen, page 21). S'il est évident qu'il y a moyen d'utiliser un outil de DAO sans être un

spécialiste de ces géométries, force est d'admettre que maîtriser les outils mathématiques, certes plus théoriques, peuvent faciliter la représentation de dessins.

A l'issue d'un enseignement du DAO, les étudiants devraient donc être capables de comprendre les règles élémentaires des géométries descriptive et analytique, et de les appliquer lors de la représentation de dessins.

3.4 Objectifs techniques

Pour manipuler les logiciels existants, il convient évidemment de connaître un minimum de concepts élémentaires relatifs à l'utilisation des ordinateurs tels que, entre autres, les notions de pixels, bytes, système de multi-fenêtrage, sauvegarde, impression, ... etc. Au fil des années, ces notions semblent généralement vite acquises par les utilisateurs de plus en plus familiers avec l'usage des ordinateurs.

Mais il est un objectif, à la fois technique et mathématique, qu'il serait intéressant d'aborder. Si la visualisation d'un objet (2D ou 3D) est relativement aisée dans les systèmes graphiques, il est une série d'opérations que certains utilisateurs confondent. Effectuer une translation d'objet ou un "panoramique" (déplacement latéral de la vue) sont deux opérations bien distinctes. Modifier un point de vue ou effectuer un zoom en est un autre exemple. Etudier un exemple complet de transformation de visualisation, comme le proposent les standard graphiques, pourrait être une bonne occasion de comprendre ces différences. En effet, le développement mathématique sous-jacent permettrait de distinguer les opérations de visualisation.

A l'issue d'un enseignement du DAO, les étudiants devraient donc être capables de comprendre les notions techniques décrites ci-dessus.

3.5 Objectifs méthodologiques et de savoir-être

Comme dans beaucoup d'autres contextes, l'apprentissage du seul contenu, même approfondi, ne peut suffire. Encore faut-il pouvoir mettre le tout en oeuvre et développer une méthodologie correcte de travail. Cette aptitude, nécessaire à toute démarche scientifique et de conception, est acquise au fur et à mesure des différents travaux réalisés. Il n'est, en effet, pas possible de l'acquérir en une application précise. C'est pourquoi, dans le cadre du cours de DAO et dans une vue plus globale de la formation des étudiants, il est important d'insister sur une série d'objectifs à

atteindre, partagés avec d'autres cours et projets, et poursuivis à plusieurs reprises durant les études.

- Pour représenter un nouveau dessin sur ordinateur, outre les phases d'analyse en cours de conception de l'objet réel qui sont ici hors sujet, il est encore au moins une phase critique : l'analyse globale de ce qu'il faut dessiner. Que dessiner et comment, pour assurer la bonne communication du dessin final et pour réduire au maximum la quantité d'informations graphiques à gérer et le temps passé à les représenter ?

Cette phase initiale au niveau de la représentation graphique est capitale et exige certaines compétences. En effet, analyser correctement le dessin à représenter c'est :

- être capable de le décomposer mentalement en éléments primaires;
 - être capable de déterminer les catégories logiques d'éléments qui composent le dessin (par exemple, sur un plan d'architecture : les murs extérieurs, murs intérieurs, ouvertures, toiture, dalle de sol, etc.);
 - pouvoir établir une liste des caractéristiques propres au dessin (taille, unité graphique, etc.)
 - pouvoir établir une liste de caractéristiques du dessin qui en faciliteront la représentation (symétrie, éléments identiques qu'il est possible de copier, etc.);
 - choisir une stratégie de représentation du dessin (tenant compte des éléments précédents).
- Manipuler des systèmes de DAO est une bonne occasion de se familiariser avec des outils de haute précision de calcul et de représentation graphique. La moindre erreur peut être lourde de conséquence. Il convient donc de travailler avec précision au niveau des tracés et du choix des outils, et avec rigueur quant à la démarche. Ceci rencontre parfaitement la problématique de l'ingénieur qui consiste à minimiser les erreurs de fabrication dans un processus complet de conception (page 19).
 - Les systèmes de dessin assisté offrent souvent une série d'outils de mesure, de calcul, de visualisation et de rendu réaliste des objets représentés. Ceux-ci permettent de vérifier l'exactitude de la représentation d'un dessin. Lorsqu'une erreur est détectée suffisamment tôt, elle peut, dans la plupart des cas, être rectifiée. En revanche, une erreur détectée fort tard peut obliger le dessinateur à

développer une nouvelle stratégie de représentation ou ... à recommencer une partie du travail. Il est donc important de pouvoir détecter et évaluer les conséquences d'une erreur afin de décider, en connaissance de cause, de la suite à lui réserver. Le cours peut être une bonne occasion de développer cette compétence d'auto-vérification qui, à plus long terme et toutes disciplines confondues, est un bon réflexe de travail.

- Dans le monde professionnel, un dessin est rarement utilisé par son seul réalisateur. Le dessin initial doit donc être structuré de manière à ce que le travail de l'un ne rende pas inabordable le travail de l'autre. Pour structurer le dessin de manière rigoureuse, plusieurs concepts propres au DAO sont à mettre en évidence dans le cours : les unités graphiques, les limites du dessin, les couches du dessin, les blocs d'informations (notion de bibliothèque), etc.
- Même au sein d'une équipe, l'étudiant peut être amené, dans sa vie professionnelle, à utiliser l'outil de DAO de manière autonome. En effet, celui-ci sera un des outils à gérer en cours de conception au même titre qu'un traitement de texte, un tableur, certaines machines-outils, etc. Sa capacité et sa rapidité à s'y adapter seront une de ses forces. Le cours peut donc aussi être une bonne occasion de développer cette compétence utile dans de nombreux domaines.
- Enfin, pour compléter l'ensemble des objectifs, citons l'indispensable capacité à gérer les différentes ressources disponibles : l'accès à une aide en ligne, l'appel à une personne ressource, l'utilisation de livres de référence, la compréhension passive de la langue anglaise largement utilisée par les logiciels ... Autant d'atouts qu'il est important de développer aussi dans un cours de DAO.

A l'issue du cours, les étudiants devraient donc être capables de :

- *identifier de bonnes démarches d'analyse; appliquer des méthodes de représentation de dessins en DAO;*
- *organiser le travail;*
- *dessiner avec précision et rigueur;*
- *vérifier le travail par des tests, en faisant appel aux outils mis à disposition; prendre les décisions qui s'imposent en cas de détection d'erreurs;*
- *représenter un nouveau dessin de manière autonome;*
- *recourir aux ressources disponibles.*

3.6 Objectifs de communication

En tant qu'outil de communication (page 15), le dessin doit être correctement imprimé (vues adéquates, échelles correctes, détails précis, ...) afin d'éviter toute ambiguïté dans la phase finale du projet dans lequel il s'inscrit.

A l'inverse, puisqu'il sert de support rigoureux non équivoque à une future réalisation industrielle, et qu'il est l'indispensable intermédiaire d'informations entre le concepteur et le réalisateur, le dessin devra aussi être lu et/ou corrigé par le dessinateur.

Enfin, la vision dans l'espace, l'habileté à pouvoir se représenter un objet dans l'espace à partir de sa représentation en deux dimensions et inversement, est un avantage et le cours peut être une bonne occasion de l'améliorer.

A l'issue du cours, les étudiants devraient donc être capables de produire des plans, lire des plans et voir dans l'espace.

3.7 Deux hypothèses supplémentaires

Récapitulons l'ensemble des objectifs dans un schéma simple où l'objectif général d'apprentissage du DAO est divisé en cinq modules d'objectifs plus spécifiques (Figure 1 où la relation " → " signifie "nécessite la maîtrise de ..."). Aucun des modules présentés dans ce schéma ne semble prioritaire par rapport aux autres. A priori, seule la combinaison du tout devrait permettre d'acquérir une bonne maîtrise du DAO. Oui mais ...

Il faut être familier avec les possibilités d'un système de DAO, c'est-à-dire connaître les entités 2D, 3D, les opérations possibles, les notions de blocs d'informations, de couches, de visualisation etc., pour pouvoir analyser correctement un dessin et le réaliser de manière organisée. Il faut déjà être un peu *expert* pour décider de corriger une erreur ou préférer recommencer une partie du dessin. Paradoxalement, il faut *savoir ce que l'on cherche* pour le chercher et a fortiori le trouver dans la documentation.

Nous partons donc de l'hypothèse suivante : plus l'utilisateur connaît les entités, outils et opérations à disposition, plus sa phase d'analyse initiale (et donc sa méthode de travail) sera rapide et pertinente, et plus son dessin final sera correct, gérable et possible à diffuser. C'est un peu le degré d'expertise de l'étudiant qui est visé ici.

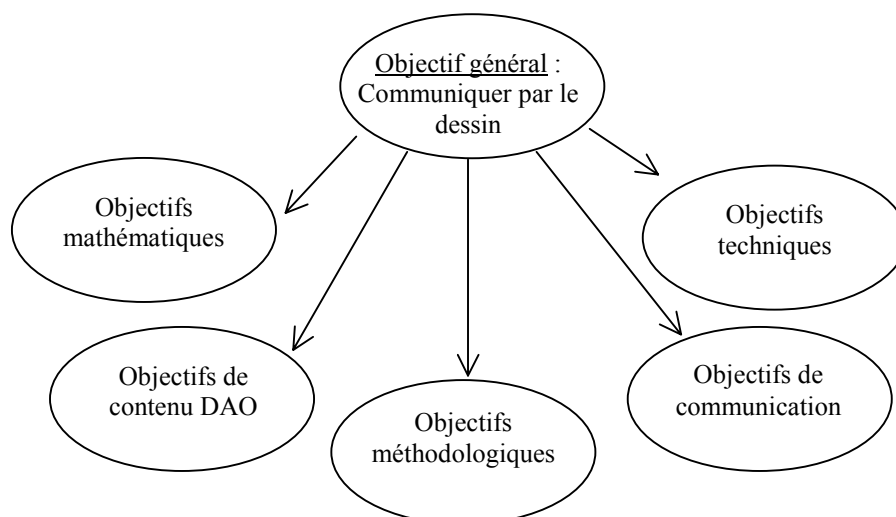


Figure 1: Objectifs d'un cours de DAO

En clair, nous souhaitons faire acquérir de nouvelles connaissances aux étudiants (des contenus). Or, le démarrage d'un nouveau dessin nécessite une analyse préalable. Et nous ajoutons maintenant que l'analyse est facilitée si l'on connaît ... les contenus ! D'où la nécessité semblant "paradoxale" d'ajouter un lien "aller-retour" entre les *objectifs méthodologiques* et les objectifs plus spécifiques de maîtrise des concepts et entités de base du DAO, les *objectifs relatifs aux contenus* !

Les objectifs décrits constituent certainement des conditions nécessaires à la bonne maîtrise du DAO mais de là à dire qu'ils en constituent aussi des conditions suffisantes, il y a un pas à ne pas franchir trop vite.

En effet, ne négligeons pas un dernier point de vue qu'est celui de "l'expérience". Celle-ci ne peut malheureusement pas se transmettre d'un individu à l'autre. Il apparaît tout aussi capital, dans ce cas, que l'étudiant puisse disposer d'un logiciel de DAO à manipuler concrètement, pour mettre en place les nouvelles notions qu'il rencontre d'un point de vue théorique. Il doit expérimenter ses nouveaux acquis théoriques. Il doit essayer, rater, recommencer, tester, ... Montaigne disait déjà dans *Les essais*, (livre I, chap 26) "Fâcheuse suffisance, qu'une suffisance pure livresque" !

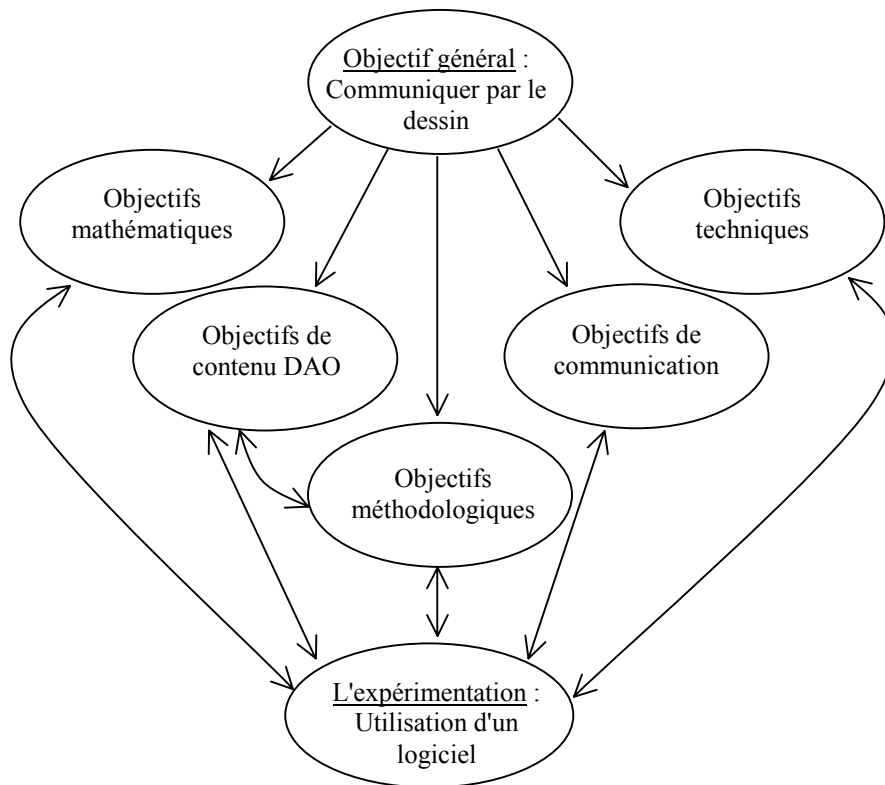


Figure 2 : Objectifs complétés

Or pour se construire, l'expérience se nourrit des va-et-vient incessants entre la théorie et la pratique, c'est-à-dire entre les nouvelles compétences et connaissances acquises en cours de route. En effet, comment pourrait-elle évoluer positivement si elle n'effectuait pas de constants allers-retours entre un approfondissement des mathématiques, une habileté technique croissante, une méthodologie qui s'affine, un savoir-être qui évolue ?

Le schéma de la Figure 1 peut être complété, tenant compte de l'hypothèse supplémentaire et de la nécessité de l'expérience (Figure 2).

Nous pouvons constater que les objectifs sont nombreux et variés. Ils touchent plusieurs domaines d'ordres scientifiques et méthodologiques. De manière générale, le cours de DAO visera bien à exposer les *fondements du dessin assisté* et non pas à *former des spécialistes d'un logiciel* précis, même si la phase d'expérimentation tend à favoriser un outil plutôt qu'un autre.

4 L'enseignement du DAO à l'UCL

Un nouveau cours de DAO débute, à la faculté des sciences appliquées de l'UCL, l'année académique 1993-1994. Il s'adresse aux étudiants préparant le diplôme d'ingénieur civil, en première année de formation. Dans le texte qui suit, en plus des objectifs et de l'organisation du cours, nous décrivons quelques difficultés rencontrées par les étudiants et leurs enseignants, tant du point de vue des contenus et des méthodes de représentation de dessin, que de leur comportement face à ce type d'enseignement.

4.1 Objectifs du cours

Nous avons mis en évidence, précédemment, l'ensemble des objectifs que pourrait poursuivre un cours de DAO "idéal". Trop nombreux pour être tous atteints à l'issue d'une vingtaine d'heures de cours magistraux et autant d'heures de travaux pratiques, il a fallu effectuer un choix. Les objectifs du cours de DAO dispensé à l'UCL sont donc d'amener les étudiants à pouvoir :

- manipuler concrètement les entités et opérations de base 2D et 3D d'un système de DAO;
- comprendre les notions techniques de couleur, pixel, transfert de fichiers,; structurer un dessin;
- dessiner avec précision;
- lire et reproduire¹⁰ à l'écran un plan donné (mais pas l'imprimer);
- comprendre les opérations de visualisation pratiquement et dans un standard graphique (PHIGS);
- comprendre et appliquer les règles élémentaires de la géométrie descriptive et de la géométrie analytique;
- démarrer et analyser un nouveau dessin de manière autonome.

¹⁰

Le cours ne prévoit pas la représentation de dessins sur base d'objets 3D tangibles ni sur base de plans tracés à main-levée.

4.2 Mise en œuvre du dispositif pédagogique

Le cours magistral se déroule durant 10 semaines, à raison de 2 heures par semaine. Il est une présentation ex cathedra des concepts généraux du DAO et des notions mathématiques de base, incluant bon nombre d'exemples affichés sur grand écran. Notons qu'aucun syllabus n'a été écrit pour le cours et que les étudiants sont invités à prendre des notes.

Parallèlement, des séances de travaux pratiques ont lieu durant 12 semaines à raison d'une heure et demie par semaine (chronologie au Tableau 7, page 218). Quatre assistants encadrent les étudiants répartis en douze groupes d'environ 25 à 28 personnes¹¹. Durant chaque séance, les étudiants disposent chacun d'un PC, sur lequel est installé le logiciel de DAO AutoCAD®, marque déposée de la firme Autodesk¹². Un projecteur "vidéo" permet aux étudiants de suivre d'éventuelles démonstrations sur grand écran. Pratiquement, en début de séance, l'assistant distribue un nouveau dessin à réaliser, puis expose l'ensemble des concepts nécessaires à sa réalisation. Si celui-ci n'est pas terminé en fin de séance, l'étudiant est libre de le continuer à son rythme, en dehors des heures encadrées. Aucun document ni aucun dessin supplémentaire ne sont distribués aux étudiants.

Deux séances d'exercices de géométrie analytique sont prévues pour les mêmes groupes d'étudiants. Elles consistent en la résolution individuelle d'exercices (2D et 3D) tels que la recherche de matrices de transformation d'homothétie, rotation, projection, etc. Ces séances ne se déroulent pas devant un PC. Elles s'apparentent plutôt à des séances classiques de mathématiques, durant lesquelles l'assistant laisse un temps libre de travail pour la résolution d'un énoncé, puis effectue une correction collective au tableau. Aucun exercice de géométrie descriptive ni de manipulation de PHIGS ne sont prévus au programme. Ces notions sont abordées de manière théorique lors des cours magistraux.

Le déroulement des cours et des travaux pratiques est détaillé en annexe, page 217.

¹¹ La taille des groupes est fixée par le nombre maximum de PC disponibles dans la salle didactique.

¹² Le choix de ce produit a été motivé par quelques raisons matérielles simples. Il s'agit d'un système disponible à peu de frais pour l'enseignement, connu et répandu (puisque plus d'un million d'utilisateurs "officiels" ont été répertoriés). En outre, travaillent en permanence à son développement plusieurs centaines de personnes réparties dans le monde. Son ouverture peut donc être mise en évidence. Il devient un véritable standard. La version utilisée dès 1993 est AutoCAD version 12.

Les étudiants à qui s'adresse le cours de DAO sont de deux groupes distincts. Le plus important en nombre est constitué d'environ 300 étudiants en première année de formation ingénieur civil. Le second groupe est constitué d'environ 30 étudiants en deuxième année de formation ingénieur civil architecte. Leurs pré-aquis sont un cours d'informatique (bases de la programmation) et un cours de dessin classique dispensés durant le premier semestre de l'année académique. Les bases de la géométrie euclidienne sont abordées durant les études secondaires. Le second groupe bénéficie, en plus du premier, de l'expérience d'une année d'étude supplémentaire.

4.3 Analyse des difficultés rencontrées

Après deux années de cours, nous sommes en mesure d'établir un premier état des lieux.

4.3.1 Les cours magistraux

Du côté de l'équipe enseignante (professeurs et assistants), on déplore le manque de prises de notes des étudiants durant les cours magistraux. Les étudiants semblent les suivre attentivement mais de manière assez passive. Ceci constitue un handicap lors des séances de travaux pratiques, puisque les étudiants n'ont plus aucune trace des notions abordées. Il faut toutefois noter que l'environnement de travail très démonstratif dans lequel se déroulent les cours magistraux n'incite pas beaucoup à la prise de notes. D'une part, la salle de cours est plongée dans la pénombre, de manière à mieux visualiser l'écran de projection. D'autre part, les démonstrations sont soigneusement choisies et telles qu'elles sont présentées, elles semblent évidentes.

Du côté des étudiants, aucune difficulté particulière ne nous a été signalée concernant le déroulement des cours magistraux, excepté la non-existence de notes de cours ou livre de référence pouvant servir de fil conducteur.

En revanche, nous avons pu observer davantage de difficultés lors des séances de travaux pratiques, que ce soit au niveau du dessin ou d'un point de vue méthodologique.

4.3.2 Apprentissage du dessin en deux et trois dimensions

Nous relevons des difficultés :

- à travailler avec précision (utilisation d'outils d'accrochage, pixels, zoom,);
- à manipuler les repères (type de repère, interprétation de l'icône des repères, définition de nouveaux repères, ...);
- à manipuler les vues (définition de vecteurs de projection parallèle, confusion vue-repère, ...);
- à composer des volumes sous forme d'opérations booléennes;
- à lire les plans et à se représenter mentalement les "objets" dans l'espace.

Les exercices de géométrie analytique 2D et 3D sont donnés de manière très classique. Il s'agit d'énoncés à résoudre individuellement en classe, suivis d'une correction commentée de l'assistant. La principale difficulté rencontrée est relative au caractère détaché de ces exercices par rapport aux dessins à représenter.

Pour plus de détails concernant l'ensemble de ces problèmes, nous renvoyons le lecteur en annexe page 221 et suivantes.

4.3.3 Méthodologies observées

Plusieurs types de démarches adoptées par les étudiants sont observés durant l'apprentissage. Voici, de manière non exhaustive, quelques commentaires à ce sujet.

A propos de l'analyse du dessin et de la méthode de travail

- Certainement le problème le plus crucial pour les étudiants, la phase d'analyse préliminaire d'un dessin qui consiste à lire celui-ci, en déduire les entités principales et les ordonner, est de loin l'étape la plus sous-estimée. Même si la question "par où faut-il commencer ?" est très fréquemment posée à l'assistant, peu d'étudiants lui accordent l'importance qu'elle mérite. En effet, un mauvais démarrage de la représentation, une mauvaise réflexion quant à la structure à donner au dessin, peuvent conduire à des erreurs. Un dessin non correctement réalisé peut être mal interprété par les divers intervenants et provoquer de dangereuses confusions.

Deux exemples très simples, repris en annexe page 235, illustrent l'importance de l'analyse préliminaire qui doit présider au démarrage d'un nouveau dessin.

Reportés à l'échelle d'un projet professionnel plus complexe, ces deux exemples permettent de comprendre l'importance de l'enjeu.

- Pour remédier à ces problèmes d'analyse préalable du dessin, les assistants doivent consacrer beaucoup de temps à expliquer les tenants et aboutissants des choix stratégiques opérés par les étudiants. Or, dans un même temps, les étudiants posent énormément de questions de base aux assistants. Celles-ci ont aussi bien trait au fonctionnement de commandes, telles qu'un déplacement ou une rotation, qu'au menu dans lequel il est possible de les localiser. "Dans quel menu se trouve telle commande ?", "Y a-t-il moyen de dessiner un arc de cercle ?", "Comment déplacer telle entité ?", Toutes ces questions auraient pu trouver réponse sans intervention de l'assistant, puisque d'une manière ou d'une autre les étudiants ont déjà eu accès à ces notions, via le cours magistral. La perte de temps engendrée dans ces cas-ci est un élément à prendre sérieusement en compte dans les futures préparations de séances d'exercices.
- Une des difficultés rencontrées par les étudiants qui entament leur premier travail en deux dimensions, se situe au niveau des concepts de limites du dessin et de couches. Ces notions ne se retrouvent pas de la même manière dans le dessin technique classique. La difficulté vient probablement du fait qu'il faut comprendre et utiliser correctement ces notions sur des dessins assez élémentaires, alors que leur avantage se comprend plus facilement sur des dessins plus complexes, partagés entre différents utilisateurs ou lors de leur impression. Il semble toutefois que cette difficulté s'atténue au fur et à mesure de l'apprentissage. Le problème de la manipulation des couches, par exemple, est nettement moins présent lorsque sont abordés les dessins en trois dimensions. Ce fait est probablement dû à l'expérience croissante des étudiants.
- Pour représenter un bâtiment 3D en utilisant la notion de volumes, deux démarches bien distinctes sont observées. L'une consiste à construire les murs les uns après les autres, comme étant chacun un volume séparé (principe identique à l'édification d'un bâtiment : démarche proche de celle d'un architecte). L'autre démarche observée est celle qui consiste à représenter le bâtiment comme un volume plein, duquel il reste à soustraire les volumes devenus inutiles pour constituer les pièces de celui-ci (principe identique à l'usinage des pièces mécaniques obtenues par retrait de matière puis assemblage : démarche plus proche de celle du mécanicien).
- Les étudiants en difficulté lors de leur travail ont rarement le réflexe d'effectuer l'opération des "lignes vues et cachées" pour mieux percevoir leur dessin en

cours d'élaboration. Alors qu'ils pensent voir la pièce d'un certain point de vue, c'est, en réalité, un tout autre qui est affiché. Ce problème souligne davantage un manque d'auto-vérification et rejoint celui de la mauvaise lecture de l'icône du repère.

A propos de l'autonomie des étudiants

- Les étudiants n'ont pas encore le réflexe qu'auront davantage leurs cadets de naviguer et chercher une instruction dans des menus déroulants, de dessiner, effacer, recommencer, tester. Leur démarche est très linéaire et ils craignent souvent de commettre des erreurs irréversibles. Ils préfèrent attendre une confirmation ou une instruction de l'assistant.
- Notons aussi la fréquence très élevée d'appels des étudiants pour obtenir l'aide de l'assistant. A tout moment, le travail doit être validé par l'assistant qui encadre. Celui-ci est davantage submergé de questions d'utilisation que de questions de méthode. Ceci a deux conséquences. D'une part, l'assistant ne peut se consacrer à des questions plus fondamentales et, d'autre part, les étudiants en attente d'aide regrettent le manque paradoxal de disponibilité de leur assistant.
- De même, les étudiants n'ont pas du tout le réflexe de la vérification des dimensions de leur dessin. C'est donc seulement en phase de cotation que certaines erreurs sont découvertes. Il est souvent beaucoup trop tard pour pouvoir les corriger dans des délais raisonnables et sans devoir recommencer tout ou partie du dessin. Dans la majorité des cas, ces erreurs sont souvent dues à un manque de rigueur et de précision en cours de travail.
- Certains étudiants s'organisent spontanément par deux pour pallier le manque de disponibilité immédiate de l'assistant. Et c'est seulement lorsqu'aucun des deux ne peut répondre à une de leurs questions qu'ils font appel, ensemble, à l'assistant.
- Les étudiants ne disposent d'aucun syllabus de cours. Très rares sont ceux qui se sont procurés, de leur propre initiative, une documentation supplémentaire (nous en avons observé moins d'une dizaine). Dans ce cas aussi, l'assistant apparaît comme l'unique ressource.

Après un tour d'horizon des difficultés rencontrées, tant par les étudiants que par les enseignants, lors des deux premières années du cours de DAO à l'UCL, nous nous sommes tournés vers les cours de dessin assisté dispensés hors de notre université.

5 L'enseignement du DAO hors UCL

Il n'est évidemment pas possible d'effectuer, dans ces quelques pages, un recensement exhaustif de tous les cours de DAO existants, qu'ils soient accessibles dans la littérature et les sites WEB ou qu'ils soient dispensés dans les filières classiques de l'enseignement. Dans la suite du texte, nous nous limiterons donc volontairement à commenter quelques exemples de cours, de manière à pouvoir en dégager certaines caractéristiques. Nous avons divisé notre propos en deux parties. La première concerne les outils qu'il est possible de trouver sur le Web et la seconde montre deux exemples de cours de DAO, l'un dans une école supérieure belge formant des ingénieurs industriels¹³ et l'autre dans une université francophone belge formant, comme à l'UCL, des ingénieurs civils¹⁴.

5.1 Analyse de l'existant sur le réseau Internet

Sur le réseau Internet, la situation est très variée. En effet, nous avons recensé différentes catégories de cours de DAO. Sont-ils d'ailleurs tous des "cours" ? Ne faudrait-il pas plutôt parler, pour certains d'entre eux, de "présentations de logiciels de DAO" ? Nous les présentons ci-dessous classés en deux catégories : d'une part, les cours proposés par des firmes commerciales et d'autre part, les cours dispensés en établissement d'enseignement technique ou supérieur.

Nous excluons de notre recherche les logiciels graphiques d'illustration, souvent confondus avec des logiciels de DAO, tels que Paint Shop Pro®, Gimp®, Photoshop®, etc. De nombreux sites proposent des outils d'auto-apprentissage permettant aux débutants d'aborder ces logiciels. Mais ceux-ci sont hors de notre sujet d'étude, puisqu'ils visent davantage la représentation d'une image que la représentation d'un dessin technique rigoureux. Ces didacticiels mis sur le WEB sont soit fournis par les firmes officielles, soit disponibles sur des sites qualifiés de "perso". Ils sont très répandus, à lire en ligne ou téléchargeables à peu de frais, voire gratuitement. Nous ne nous y attarderons pas.

5.1.1 Les didacticiels de sites commerciaux

D'un autre côté, nous distinguons les sites officiels des firmes fournissant de véritables logiciels de DAO (tels que le site d'Autodesk pour le logiciel AutoCAD®),

¹³ Formation supérieure de niveau universitaire en quatre ans.

¹⁴ Formation supérieure universitaire en cinq ans.

de Graphisoft pour ArchiCAD®, etc.). Ces firmes proposent aussi des outils d'aide en ligne. Ces "didacticiels" sont très visuels, animés, d'un niveau multimédia relativement élevé (probablement créés par des "designers", plutôt que par des enseignants). Les présentations proposées sont plus des démonstrations des possibilités offertes par les produits que de véritables outils d'auto-apprentissage. Ils semblent principalement destinés aux (futurs) clients et non à des étudiants. Le but de ces firmes est probablement de présenter les atouts majeurs de leurs produits respectifs et prouver que, quoique complexes, leurs logiciels sont facilement utilisables. En effet, les difficultés de mise en œuvre et les concepts de base globaux du DAO y sont occultés.

La firme Graphisoft, par exemple¹⁵, propose une quarantaine de didacticiels en ligne dans lesquels sont abordées les caractéristiques principales du produit ArchiCAD® (logiciel de DAO destiné aux architectes). Ces outils sont présentés sous forme de clips vidéos de courte durée (de l'ordre de 2 à 3 minutes). Ils montrent la réalisation concrète d'un dessin, en présentant la succession des commandes à utiliser, comme si l'on regardait un utilisateur les exécuter. Un dispositif sonore décrit cette même succession. L'avantage de la méthode utilisée est, à la fois, de montrer ce qu'il faut faire et d'en décrire les étapes. Mais la difficulté principale réside certainement dans la vitesse d'exécution. Celle-ci est peut-être possible pour un expert mais, à notre avis, trop élevée pour un débutant. Le premier didacticiel propose, par exemple, la réalisation d'un bâtiment élémentaire (deux murs, sol, toiture, ouvertures et un peu de mobilier) en 2 minutes et 43 secondes (Figure 37 et Figure 38, page 237) !

D'autres sociétés n'ont pas directement choisi la présentation animée que permettent les outils informatiques actuels et ont préféré donner, à leurs clients, la possibilité de télécharger des fichiers d'aide en ligne sous format texte. Ceux-ci, plus complets que les précédents, abordent toutes les facettes du produit, mais imposent davantage de lecture. Ils ne permettent pas de démarrer rapidement une première réalisation concrète et n'ont développé aucune méthodologie particulière d'apprentissage. C'est le cas de la firme Visionics¹⁶ pour le logiciel Edwin® (Figure 39, page 238). Notons toutefois qu'une visite rapide (quick tour) des possibilités du logiciel existe sous format "vidéo".

¹⁵ http://www.graphisoft.com/products/archicad/online_demos.html; consultation août 2003.

¹⁶ http://www.visionics.a.se/edwinxdemo_f.html; consultation août 2003.

Dans tous ces cas, les aides proposées sont surtout liées à la manipulation concrète du produit (*comment faire*) mais très peu à l'enseignement des concepts de base du DAO (*pourquoi le faire*).

5.1.2 Cours d'écoles techniques secondaires et supérieures

Enfin, nous pouvons trouver sur le réseau, des sites d'écoles techniques secondaires ou supérieures qui mettent à disposition de leurs étudiants leurs propres outils d'aide à l'apprentissage du DAO. Ces sites viennent généralement en complément de cours magistraux dispensés dans l'établissement. Ils ne sont pas orientés, contrairement aux précédents, vers la présentation commerciale d'un logiciel de référence. Ils exposent de manière plus linéaire la façon de représenter un dessin simple, avec le logiciel de référence choisi par l'institution. Ils sont l'œuvre d'enseignants qui voient, dans ces didacticiels, un moyen supplémentaire de soutien à l'apprentissage.

Voyons, par exemple, le site¹⁷ d'un professeur de lycée professionnel français, proposant à ses étudiants un document et trois didacticiels pour aborder la réalisation de schémas de circuits imprimés, de simulation de circuits et de création de typons¹⁸, à l'aide du logiciel Edwin32[®]. Selon les propos de l'enseignant-concepteur, ces didacticiels sont intégralement utilisés dans la formation initiale des étudiants, agrémentés de commentaires et d'exemples sur le vif (dépendant directement de la réceptivité et de la motivation de la classe). Ils ont aussi été conçus pour une prise en main en totale autonomie. C'est dans ce but que l'enseignant les a mis à disposition d'utilisateurs isolés sur le WEB.

Le document, sous format PDF, introduit le cours. Il commence par la présentation d'une page générale explicitant les objectifs du cours (en 4 lignes), l'organisation du logiciel (Edwin32[®]), une méthode de travail (en 4 lignes aussi) et enfin la manière de lancer le logiciel et commencer pas à pas le dessin. Les didacticiels sont donnés sous format PDF et comprennent chacun 11 pages. Ils s'adressent aux étudiants préparant un brevet professionnel pour les métiers de l'électronique. Chacun des trois didacticiels propose une table des matières (titres des paragraphes sous forme de liens hypertextes). Le premier décrit la réalisation d'un schéma de circuit imprimé simple (Figure 40, page 238), de l'ouverture du fichier vierge à la sauvegarde finale

¹⁷ <http://perso.wanadoo.fr/louis.buades/>; consultation août 2003.

¹⁸ typon : n. masc. (du nom d'une firme suisse.). IMPRIM. Film photographique à grand contraste, destiné aux images au trait ou tramées; positif destiné à la reproduction sur la plaque offset.
© 2001 Hachette Multimédia / Hachette Livre. Il semble que le terme "typon" utilisé par ce cours soit, pratiquement, un calque transparent, résistant aux UV, sur lequel sont imprimées en noir les différentes pistes d'un circuit imprimé en vue de sa fabrication.

de celui-ci, puis son impression et son exportation vers d'autres logiciels (Word[®] par exemple).

Le schéma à représenter n'est pas détaillé pas à pas mais toutes les commandes utiles à sa représentation sont fournies. Celles-ci sont présentées sous forme de captures d'écrans, sur lesquelles sont collées des zones de texte, permettant d'expliquer l'action à effectuer. Les deuxième et troisième didacticiels se présentent exactement sous la même forme. Une page de ce didacticiel est fournie en annexe, à titre d'exemple (Figure 41, page 239).

Enfin, l'enseignant propose deux types d'aide (du moins sur son site). Il fournit son adresse électronique et met à disposition une annexe (sous format PDF) de 24 pages, reprenant l'ensemble des descriptions générales des barres de menus, icônes, écrans, etc.

5.2 Analyse de l'existant dans les formations diplômantes

De manière générale, les cours de DAO dispensés dans les institutions d'enseignement supérieur sont, soit tournés vers la maîtrise d'un logiciel de référence, soit orientés vers l'infographie théorique.

Un cours d'une école supérieure belge, formant de futurs ingénieurs industriels¹⁹, a choisi d'aborder les notions de base du DAO en dispensant quelques cours magistraux et quelques séances d'exercices réparties en première (pour le dessin 2D) et en dernière année (dessin 3D) de formation. A la différence de notre pratique, les premiers dessins proposés sont très simples. Nous retrouvons, par exemple, une dizaine d'exercices basés sur le seul tracé de lignes, pour lesquelles sont fournies les coordonnées absolues ou relatives de deux points, une série de cercles de différents rayons, etc. Les quatre exercices suivants proposent la représentation des trois plans principaux d'un volume de type parallélépipédique modifié (percé ou coupé par un plan). La séance suivante s'attache à représenter des cercles, des droites tangentes pour arriver finalement à la représentation plane d'une bielle simplifiée, plus proche de notre premier dessin (Figure 3, page 99).

Les derniers exercices proposés sont les représentations des trois projections principales de volumes imaginaires, choisis pour la difficulté qu'ils présentent (un raccord en arc, un chanfrein, ...). Un plan d'habitation un peu plus complexe est fourni à titre d'exercice facultatif.

¹⁹ Institut Supérieur Industriel de la Province de Hainaut (ISIPH) – Tournai, Maffle

Pour aborder les notions du dessin 3D, un volume type est proposé et décrit pas à pas dans les notes de cours. Les exercices supplémentaires sont laissés au choix des étudiants.

Le logiciel utilisé est AutoCAD[®]. Les notes de cours sont composées d'extraits d'un livre de référence.

Dans une université belge formant de futurs ingénieurs civils²⁰, nous trouvons un cours très différent. Il aborde le DAO sous sa partie infographique. Il est principalement un cours de mathématiques et de programmation. C'est ainsi que les étudiants sont amenés à écrire des programmes permettant d'afficher le graphe de fonctions trigonométriques, de tracer une sphère, de représenter une image de synthèse au lancer de rayons²¹ sur des objets simples opaques et non-réfléchissants, etc.

Dans ce cas, les étudiants n'ont pas la possibilité d'utiliser un logiciel de DAO existant, mais se mettent plutôt en situation de le réécrire. La bibliothèque graphique utilisée et les programmes sont écrits en Pascal.

Entre ces deux exemples extrêmes, l'un très appliqué, voire simpliste, et l'autre très orienté vers la programmation, ne faut-il pas trouver un juste milieu permettant, d'une part, aux étudiants de manipuler un logiciel professionnel mais aussi, d'autre part, d'en comprendre les fondements ?

Le choix de ces deux institutions belges est loin d'être exhaustif. Il a été possible grâce aux notes de cours et aux commentaires reçus de deux étudiants qui y sont formés. Nous sommes conscients de la petite taille de l'échantillon représenté par ces deux établissements pour pouvoir se forger une opinion. Mais des demandes de renseignements, adressées aux écoles d'architecture et d'ingénieurs francophones

²⁰ Faculté Polytechnique de Mons.

²¹ Technique propre à l'imagerie de synthèse, qui consiste à simuler le parcours de la lumière éclairant une scène, de façon à obtenir des effets réalistes de réfraction, de réflexion ou de transparence sur la surface des volumes modélisés.
<http://www.comm.uqam.ca/~GRAM/C/term/inf/inf104.html>; consultation septembre 2003;
Dictionnaire des arts médiatiques © 1996, Groupe de recherche en arts médiatiques – UQAM

(belges et françaises), sont restées sans réponse. Dans la littérature, nous n'avons trouvé aucune publication d'école ou université faisant état de recherche relative à l'enseignement du DAO. Les sites Web des hautes écoles et universités mentionnent souvent la liste des cours qu'elles dispensent : nous y trouvons l'énoncé des contenus et non la méthodologie appliquée. Nous nous limiterons donc à ces quelques commentaires, pour confirmer l'intérêt de développer une méthodologie adaptée à l'enseignement du DAO.

6 Questions de recherche

Conscients de l'importance du DAO dans le curriculum du futur ingénieur et comme suite aux observations effectuées sur le terrain lors de son enseignement, nous nous interrogeons sur les causes de ces difficultés. Quelles modifications d'environnement de travail, de comportement des différents acteurs ou de contenu faudrait-il proposer aux enseignants, dans le but de contourner ces problèmes, faciliter l'apprentissage et par conséquent augmenter les performances des étudiants ?

Plusieurs catégories de questions sont données ci-dessous, comme autant de sujets d'approfondissement possibles. Nous ne pouvons, dans le cadre de ce travail, prétendre répondre à toutes les questions. L'une d'elle retiendra plus particulièrement l'attention et sa réponse formulée sous forme de thèse.

De manière globale, de nombreuses questions peuvent déjà se poser quant à l'*environnement* dans lequel se donne le cours. Qu'il s'agisse du passé de l'étudiant, de son entourage familial ou du cadre de travail qui lui est proposé, ... Qu'il s'agisse de l'institution d'enseignement dans laquelle il étudie et des dispositifs pédagogiques qu'elle favorise, Il serait intéressant de s'interroger sur l'impact de ces données "extérieures" sur l'apprentissage, dans la mesure où l'enseignant a peu de poids pour y imposer une quelconque modification.

Qui sont les étudiants concernés par le cours de DAO, leurs connaissances antérieures, leur environnement familial, leurs compétences dans d'autres matières, etc. ?

Dans quel programme global de formation le cours de DAO s'inscrit-il ?

Quel dispositif pédagogique l'institution d'enseignement prône-t-elle prioritairement ? Favorise-t-elle l'enseignement magistral, l'emploi des nouvelles technologies, l'apprentissage par projets, l'étude individuelle, ... ?

De manière plus "interne" au cours, interrogeons-nous, à présent, sur l'impact que peut avoir l'*enseignant* dans le processus d'apprentissage. A l'UCL, les quatre assistants, travaillant en parallèle lors des séances de travaux pratiques, font le même constat. Après un bref exposé des consignes relatives à la séance d'exercices, ils passent énormément de temps à répondre aux nombreuses questions élémentaires posées par les étudiants. Citons, par exemple, des questions relatives au logiciel de référence utilisé : "Dans quel menu se trouve la commande permettant de tracer une ligne ? Le système peut-il copier une entité ? Que dois-je faire pour sauvegarder mon dessin ?" etc. Ces questions ont surtout trait à la manipulation de l'ordinateur, au contenu des menus du logiciel et à la découverte des possibilités d'un tel outil. Toutes peuvent facilement trouver réponse avec un minimum d'initiative des étudiants. Elles ne font donc qu'accaparer l'enseignant au détriment d'autres développements plus fondamentaux.

Comment éviter ce piège ? Comment l'enseignant peut-il amener les étudiants à apprendre des concepts généraux de DAO et pas seulement l'utilisation exclusive d'un logiciel donné ? Doit-il prévoir des ressources supplémentaires (syllabus, démonstrations, aide en ligne, ...) ?

Selon leurs propres commentaires, la majorité des étudiants estiment être dans le schéma d'apprentissage le plus efficace. Dès qu'un problème se pose à eux, de quelque nature qu'il soit, l'assistant intervient pour en donner une solution. Or celui-ci ne peut consacrer beaucoup de temps à chacun. Si l'on considère l'heure et demie de séance, un maximum de trois minutes peut être "alloué" à chacun ! Cet état de fait est frustrant, tant pour l'enseignant que pour l'étudiant, aussi motivés soient-ils l'un et l'autre.

Dans un tel contexte, quel rôle doit jouer l'enseignant ? Faut-il ne pas répondre et laisser l'étudiant chercher seul une solution ? Comment peut-il amener les étudiants à être davantage autonomes face à leur apprentissage ? Comment les y motiver ? Cela ne va-t-il pas prendre plus de temps ?

Les assistants s'accordent à dire qu'ils n'ont pas eu le temps de développer quelque stratégie de résolution de dessin que ce soit durant la séance de travaux pratiques. Quelques pistes éparpillées sont données aux étudiants demandeurs, mais il n'y a pas eu de réelle élaboration d'une méthode de travail. Or, nous avons constaté, précédemment, qu'une analyse préalable à la réalisation du dessin est nécessaire pour éviter certaines complications importantes. Mais analyser un dessin demande

d'autres compétences que la "simple" lecture d'un plan élémentaire. Il faut pouvoir se représenter l'objet dessiné dans l'espace, déduire des dimensions non fournies textuellement, choisir une stratégie de représentation, dégager la manière la plus économique d'élaborer le dessin, s'interroger sur sa structuration, etc.

Quelle technique de représentation faut-il enseigner et comment ? Faut-il montrer un exemple type ? Faut-il laisser la possibilité aux étudiants de définir leur propre méthode au risque d'être inadaptée ? Comment leur apprendre les réflexes indispensables tels que auto-vérification, rigueur de travail, précision du dessin, ... ? Comment l'enseignant peut-il mobiliser, chez les étudiants, des compétences autres que celles directement nécessaires à la représentation d'un dessin ?

La vitesse de familiarisation de chaque étudiant, face à un outil professionnel de cette envergure, diffère de manière importante. Quelques étudiants l'explorent, l'esprit curieux, d'autres attendent les instructions pour représenter pas à pas le dessin proposé, d'autres encore sont noyés et ne voient comment démarrer !

La diversité des attitudes et les contraintes temporelles obligent l'enseignant à combiner plusieurs méthodes de travail au cours d'une même séance. D'une part, il expose, de manière collégiale, les étapes à franchir pour réaliser un dessin donné et, d'autre part, il pratique une pédagogie plus différenciée, en intervenant individuellement auprès des étudiants, à leur demande. Dans le cadre d'un petit groupe d'étudiants, cette manière de fonctionner peut être gérable. Dans le cas qui nous concerne, chaque enseignant répète, en moyenne, trois fois la même séance de travaux pratiques (de deux à six fois, selon les enseignants et l'année considérée). Ces répétitions impliquent évidemment certains dangers. D'une part, quelles sont les informations déjà diffusées et pour lesquelles il est possible de renvoyer les étudiants à leurs notes ? Jusqu'à quel point les réponses fournies par les enseignants sont-elles identiques et de même niveau (niveau du concept ou "truc et astuce" du logiciel) ? Et d'autre part, assaillis par tant de questions de forme et de mise en route, les enseignants n'ont plus de temps à consacrer aux problèmes de méthode et analyse.

Quelle méthode de travail l'enseignant doit-il développer pour s'adapter à la diversité des attitudes des étudiants ? Comment peut-il raisonnablement respecter le rythme de chacun ? Un dispositif pédagogique particulier et/ou un outil spécifique peu(ven)t-il(s) venir en aide ?

Si les étudiants ne tarissent pas de questions relatives à l'utilisation du produit, ils n'en sont pas moins exigeants quant au démarrage des nouveaux dessins. Par où commencer ? Quelle est la première étape à franchir ? Quelle première entité faut-il dessiner ? A ce propos, nous remarquons, en effet, l'attitude des étudiants qui consiste à commencer très vite à dessiner. Ils se posent d'emblée des questions relatives au logiciel, le "comment". Or, ils ne savent pas encore le "pourquoi" et "avec quelles conséquences" représenter telle ou telle entité.

Quelles questions les étudiants doivent-ils impérativement élucider avant de commencer la représentation d'un nouveau dessin ? Quelles premières étapes garantiront de meilleures chances de réalisation d'un dessin correct ?

Les étudiants travaillent de manière très individuelle et lorsqu'une question surgit, seul l'étudiant qui l'a posée en écoute vraiment la réponse. Ceci amène donc l'assistant à répéter de nombreuses fois les mêmes propos. McKee souligne aussi, dans un de ses articles, l'impossibilité d'exposer un peu de théorie dans une classe telle que celle dont nous disposons, c'est-à-dire lorsque les étudiants sont physiquement installés devant leur PC allumé (McKee, 1997). Ils sont distraits, ils anticipent la tâche sans tenir compte des consignes. Ils n'apportent que peu d'attention à l'enseignant. Etant probablement chacun dans une autre phase du travail, les étudiants ne voient-ils pas, à ce moment précis, le sens de la question posée par un de leurs condisciples.

Est-ce vraiment "rentable" pour l'ensemble des étudiants ? N'y a-t-il pas moyen de consacrer ce temps précieux à d'autres développements ? Comment rendre tous les étudiants concernés ? Comment donner, pour tous, un sens aux interventions de l'enseignant ?

Nous constatons, lors de l'observation des étudiants en cours de travail, qu'ils consultent peu, voire pas du tout, leurs notes de cours. En revanche, ils interrogent volontiers leurs voisins.

Quel serait l'impact d'un apprentissage en petits groupes de deux ou trois étudiants ? Faut-il favoriser l'interaction spontanée entre étudiants pour la résolution de problèmes ponctuels ?

Enfin, avec les connaissances et les compétences acquises au terme de leur cours de DAO, les étudiants devraient être capables d'utiliser correctement un logiciel graphique tel qu'AutoCAD®. Bien entendu, de nombreuses fonctionnalités n'ont pu être abordées mais l'essentiel a été utilisé.

Plus généralement, à l'issue du cours, les étudiants seraient-ils capables d'utiliser un autre logiciel de DAO ? Pouvons-nous envisager de mesurer leurs performances à se servir correctement d'un autre outil ? Pourraient-ils l'aborder de manière autonome ou un autre cours adapté au nouveau produit devrait-il être dispensé ?

Notons encore qu'au niveau des compétences des étudiants, nous pouvons nous interroger sur l'intérêt d'utiliser le DAO pour améliorer, voire même acquérir, quelques notions de vision spatiale. En effet, nous avons pu constater que certains étudiants étaient incapables de se représenter un objet de l'espace. Il leur était aussi difficile de manipuler des repères dans l'espace, des points de vue, etc. Ces notions sont délicates pour beaucoup et doivent probablement être exercées un minimum.

Le cours de DAO permet-il d'améliorer la vision spatiale ? Faut-il au contraire une bonne représentation spatiale pour aborder le cours ? Faut-il prévoir des activités particulières pour les étudiants ayant des difficultés à ce niveau ?

Enfin, si le contexte de travail, l'enseignant et l'étudiant lui-même ont une part de responsabilité dans la relation pédagogique, ne perdons pas de vue qu'un contenu précis est à la base de l'apprentissage. Celui-ci n'est pas négligeable et pose aussi questions.

Certaines notions de DAO sont techniquement faciles à expliquer (limites, couches, etc.) mais difficiles à motiver dans le cadre de dessins élémentaires. Les débutants appliquent ces concepts par "obligation" et non par nécessité. On peut aisément comprendre que le dessin de quelques entités incite peu à la définition de quatre ou cinq couches de travail, alors que la représentation d'un plan de bâtiment se prête spontanément à en définir bien davantage. Le choix des premiers dessins à réaliser aurait donc plus d'importance qu'il n'y paraît pour donner un sens à l'apprentissage.

Quels dessins aborder dès le démarrage ? Peut-on immédiatement aborder des plans suffisamment complexes ou faut-il commencer par des représentations élémentaires d'entités de base ? Comment donner un sens à l'apprentissage pour motiver sans décourager ? Quel est le juste milieu ?

Les chapitres relatifs à la géométrie descriptive et à la géométrie analytique posent surtout des problèmes aux étudiants, quant au sens. Les questions relatives à la pertinence de leur étude reviennent très fréquemment. L'usage d'un logiciel graphique n'incite pas à l'étude systématique des théories géométriques sous-jacentes. Ce sont donc des parties plus difficiles à motiver.

Les chapitres relatifs aux transferts d'informations et aux librairies graphiques, telles que PHIGS, sont des parties ardues. De ces opinions d'étudiants (relayés par les résultats de l'examen écrit portant, entre autres, sur ces matières), nous pouvons en déduire que l'apprentissage du DAO est très apprécié tant qu'il s'agit de dessiner et d'être très concret, mais est moins bien perçu quand il s'agit d'étudier les fondements mathématiques sur lesquels de tels systèmes reposent.

Faut-il envisager de supprimer complètement ces chapitres du cours ? Faut-il, au contraire, insister sur leur rôle ? Une autre manière de présenter ces matières faciliterait-elle leur apprentissage (forme plus dynamique de la présentation, séances d'exercices en plus grand nombre, ...) ? N'y a-t-il pas, tout simplement, un manque de sens à l'apprentissage de ces matières ? Le choix d'exercices intégrés (dessins nécessitant l'utilisation de la géométrie descriptive, par exemple) ne serait-il pas plus judicieux ?

7 Conclusion

Les questions posées sont nombreuses et ne peuvent toutes être résolues. Un choix s'impose. Sur base du contexte professionnel dans lequel devront s'insérer les futurs ingénieurs, nous pouvons raisonnablement admettre que les étudiants, à l'issue de leurs études, devront, entre autres :

- faire preuve d'acquis de base (des contenus);
- faire preuve d'acquis pratiques (la manipulation concrète de l'outil de DAO);
- faire preuve d'acquis méthodologiques (sens de l'analyse et de la critique, choix de solutions, vérification, etc.);
- pouvoir travailler aussi bien en équipe que seuls;
- communiquer par le dessin.

Idéalement et en réponse aux besoins professionnels, le cours doit donc donner aux étudiants :

- l'occasion d'aborder le large éventail des possibilités des systèmes de Dessin Assisté;
- la possibilité de manipuler des outils de niveau professionnel;
- l'occasion d'aborder les problèmes méthodologiques et leurs solutions possibles;
- un cadre motivant d'apprentissage, évitant les cas d'école trop peu mobilisateurs;
- l'opportunité d'échanger en petits groupes de travail favorisant les interactions sociales;
- un cadre permettant le développement de l'autonomie;
- l'occasion de produire des plans ayant un véritable sens professionnel.

Or, dans la pratique, les obstacles majeurs rencontrés par les étudiants peuvent se résumer comme suit :

- d'une part, le manque d'autonomie des étudiants : interroger continuellement l'assistant, attendre ses consignes pas à pas, ne pas s'auto-vérifier, ...
- d'autre part, la difficulté à développer une méthodologie globale de réalisation d'un dessin, indépendamment du logiciel utilisé : analyser le dessin à représenter, anticiper les conséquences d'un choix, structurer le dessin pour le communiquer à d'autres utilisateurs ou logiciels (le tout, sur base d'une maîtrise correcte des possibilités d'un logiciel de DAO, selon notre hypothèse page 29).

L'ensemble du dispositif pédagogique mis en place doit donc être revu.

Une ou plusieurs phases d'auto-apprentissage permettraient de participer au développement de l'autonomie des étudiants qui se verraient ainsi dans l'obligation de s'entraider, de se documenter, de prendre une part active à leur formation Elles permettraient aux étudiants, de démarrer à leur propre rythme, alors que la perception de complexité des nouveaux concepts abordés diffère d'un individu à l'autre.

Cette approche plus autonome permettrait aussi d'augmenter la qualité du travail de l'enseignant, durant les heures encadrées de cours. Le rôle de l'enseignant ne serait

plus d'énumérer les notions élémentaires du DAO, mais bien d'accorder aux étudiants davantage de temps, pour assurer un suivi plus personnalisé et mieux ciblé sur les problèmes méthodologiques fondamentaux. Il serait davantage un guide pour traiter les questions de méthode, élargir le débat quand un problème survient, discuter sur base de l'expérience croissante des étudiants, et poser les premiers jalons d'une critique constructive (dégager ce qu'un outil peut ou ne peut pas faire, pourquoi le peut-il ou non, comment contourner la difficulté, etc.).

Pour ce faire, l'enseignant doit modifier son comportement. Il ne serait plus le diffuseur d'un savoir, même si, a priori, cela va plus vite et fait gagner du temps. Il doit animer des débats de fond avec les étudiants : synthétiser avec eux les acquis antérieurs, poser plus de questions qu'il n'apporte de réponses *directes*, amener les étudiants à construire leurs savoirs, à détecter leurs erreurs et les corriger seuls.

Une organisation de l'étude en petits groupes complèterait les phases d'auto-apprentissage guidé. Elle aurait, certainement, pour avantage de permettre aux étudiants d'échanger entre pairs leurs expériences, leur questionnement, leurs progrès, Elle validerait une attitude assez courante des étudiants qui, spontanément, ont tendance à s'unir (page 36).

Enfin, un contexte proche de la réalité professionnelle, tant au niveau des plans à produire que de leur utilité réelle et plus ou moins immédiate dans le temps, rendrait l'apprentissage davantage motivant. Veiller à la question du sens induirait probablement la résolution de beaucoup d'autres interrogations. Les étudiants se documenteraient davantage pour résoudre leurs problèmes, utiliseraient plus intuitivement certains concepts, seraient obligés d'analyser leur dessin avant de le représenter, devraient développer une méthode de travail adaptée, etc.

La maîtrise du DAO, et donc la capacité à communiquer par le dessin, sera d'autant meilleure que le dispositif pédagogique sera bien adapté. Ce dispositif devra comprendre :

- *des phases d'auto-apprentissage, lors de l'acquisition de nouveaux concepts;*
- *la possibilité, pour les étudiants, d'échanger en petits groupes;*
- *un suivi régulier et interactif de l'enseignant, pour aborder les aspects "méthode" et "analyse";*
- *un contexte d'apprentissage le plus proche possible de la réalité professionnelle.*

