



Université catholique de Louvain  
Faculté des sciences appliquées

# Le Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) dans la formation des ingénieurs.

Proposition et évaluation d'environnements d'apprentissage.

Anne Tourpe

Co-promoteurs :  
Prof. M. Lejeune (FSA)  
Prof. M. Frenay (PSP)

Février 2004

© Presses universitaires de Louvain, 2004.

Dépôt légal : D/2004/9964/3

ISBN 2-930344-43-1

Imprimé en Belgique

Tous droits de reproduction, d'adaptation ou de traduction, par quelque procédé que ce soit, réservés pour tous pays, sauf autorisation de l'éditeur ou de ses ayants droit.

Diffusion :

[www.i6doc.com](http://www.i6doc.com), l'édition universitaire en ligne

Sur commande en librairie ou à  
Diffusion universitaire CIACO  
Grand-Place, 7  
1348 Louvain-la-Neuve, Belgique  
Tél. 32 10 47 33 78  
Fax 32 10 45 73 50  
[duc@ciaco.com](mailto:duc@ciaco.com)

## Avant-propos

---

Un cours de Dessin Assisté par Ordinateur débute, à l'UCL, en septembre 1993. Dispensé par les professeurs Lejeune et Johnson, il s'adresse aux étudiants en première année de formation ingénieur civil. Suite à l'observation de son fonctionnement durant deux années, de 1993 à 1995, j'ai pu épingler les nombreux problèmes rencontrés pour appréhender cette discipline, tant au niveau des contenus que de la méthodologie et tant du côté des étudiants que des enseignants.

L'équipe didactique était alors composée de six personnes : les deux professeurs assumant les cours magistraux et quatre assistants encadrant les étudiants lors de leurs travaux pratiques et exercices. En partie responsable de cet enseignement en tant qu'assistante (mi-temps), et sensible aux problèmes pédagogiques en général, je me suis posée un certain nombre de questions relatives aussi bien aux méthodes qu'aux outils d'aide à l'apprentissage du DAO. C'est pourquoi, engagée dans ce travail depuis le début du cours en 1993, j'ai souhaité approfondir ses contenus et pédagogie, en proposant un sujet de recherche basé à la fois sur les sciences appliquées et sur les sciences de l'éducation. Soutenue par les enseignants, je me suis inscrite au doctorat en août 1995.

Depuis, trois étapes clés ont jalonné le parcours.

Mon rôle d'assistante m'a poussée à m'intéresser, plus particulièrement, aux difficultés rencontrées par les étudiants, lors des séances de travaux pratiques. Pour aider les étudiants lors du démarrage du processus d'apprentissage et permettre à leur assistant de se consacrer prioritairement aux problèmes méthodologiques, j'ai étudié l'impact que pourrait avoir l'utilisation d'un didacticiel pour aborder les notions de base du dessin à deux dimensions et j'ai proposé un premier scénario possible. Compétent en programmation et pour tout ce qui touche à la gestion des machines, le professeur Lejeune a créé le prototype sur base du scénario fourni et il a mis au point l'ensemble des outils nécessaires à assurer son bon fonctionnement. Ce premier didacticiel est testé auprès des étudiants, l'année académique 1995-1996 et il sera utilisé dans les séances de travaux pratiques jusqu'à l'année académique 1999-2000.

Mais si le didacticiel est un outil intéressant pour donner un premier exemple complet de réalisation de dessin, il n'apporte pas encore de réponses aux problèmes méthodologiques du démarrage d'un nouveau dessin. L'année académique 1996-1997, je prépare, avec l'aide du professeur Frenay, un plan d'expérience me permettant d'étudier le rôle de l'enseignant et l'impact du travail en groupes, dans cette phase cruciale d'analyse d'un nouveau dessin à réaliser.

Enfin, l'année académique 2000-2001, la faculté des sciences appliquées entame une réforme pédagogique basée sur l'apprentissage par projets. Le cours de DAO fait désormais partie des disciplines abordées par l'intermédiaire de projets multidisciplinaires. Une diminution du nombre d'heures encadrées oblige l'équipe enseignante à revoir en profondeur le dispositif pédagogique. Sur base de l'expérience positive d'auto-apprentissage lors de l'introduction du didacticiel 2D, le choix est fait de créer plusieurs didacticiels et environnements de travail permettant une approche plus autonome et couvrant l'ensemble de la matière. L'ensemble des concepts abordés en DAO est plus large, conséquence de leur utilité dans trois projets de diverses natures. Une nouvelle expérience est menée. Elle me permet d'observer l'impact du projet sur l'apprentissage et les possibilités d'aborder le DAO en auto-apprentissage. Elle me permet aussi de tester, sous une autre modalité que dans l'expérience précédente, le rôle de l'enseignant et l'importance des quelques cours magistraux. Nous ne sommes plus que trois personnes dans l'équipe didactique, le professeur Lejeune et deux assistantes (mi-temps), pour assumer la conception des outils et des environnements, leur implémentation, leur gestion et l'encadrement des étudiants.

Le texte qui suit présente l'ensemble de ce travail. Son fil conducteur est la chronologie des expériences répondant, au fur et à mesure, à des besoins concrets sur le terrain et à des exigences pédagogiques précises. Tout au long du discours, j'utiliserai le "nous" comme sujet, pour insister sur l'aide précieuse apportée par les professeurs et autres assistants, dans ma recherche de théories pédagogiques adaptées ainsi que dans la conception et la réalisation des outils et expériences.

Je profite d'ailleurs de l'occasion qui m'est donnée ici, pour les remercier.

Pour ses compétences techniques, son esprit critique et ses exigences de rigueur, mais surtout pour ces dix années de franche collaboration, je remercie, très sincèrement, le Professeur Lejeune.

Pour m'avoir donné l'impulsion de départ, avoir partagé ses compétences et son temps, je remercie vivement le Professeur Frenay. Sa vision positive et constructive du travail, ses encouragements et son amitié de longue date m'ont été précieux.

Membre du comité d'encadrement, le Professeur Laloux a apporté, par ses questions et ses propositions judicieuses, le nécessaire regard extérieur à ce travail. Qu'il soit ici remercié.

Merci aussi aux Professeurs Dillenbourg, Migrom, Willems et Thimus, membres du jury, pour l'accueil qu'ils m'ont réservé, l'attention qu'ils ont portée à ce travail et les remarques pertinentes qu'ils ont formulées.

J'associe, à mes remerciements, Paul Fisette, Robert Valembois, Dominique Roufosse, Pierre Latteur et Yvette Pelsser. Tout au long de ce travail, ils m'ont partagé leur expérience. Ils ont participé à de nombreux débats d'idées et ont accepté, spontanément, de coopérer dans les différents dispositifs proposés.

Pour les coups de main dans l'ombre, merci à Madame Otten et Christine Jacqmot.

Enfin, pour leurs encouragements, leur aide pratique et leur patience, pour leurs silences aussi, je remercie tout particulièrement Patrick, nos enfants, nos familles et nos amis.

Recevez aussi toute ma reconnaissance, vous que je n'ai pas nommément cités mais qui, de près ou de loin, avez apporté votre pierre à l'édifice.

Anne Tourpe



## Introduction

---

De la préhistoire à nos jours, toutes les générations d'hommes ont dessiné. C'est en effet par le dessin que les hommes des cavernes nous ont communiqué leur histoire, leur vie, les premiers "plans" de leurs outils. C'est aussi en dessinant que les hommes ont imaginé les prémices de l'écriture. Est-ce à croire que le dessin est la forme innée de communication ou faut-il tout simplement en conclure qu'il est la manière la plus facile, la plus intuitive d'exprimer ce que de nombreux mots ne pourraient décrire ?

L'homme d'aujourd'hui n'a pas fondamentalement changé sa manière de communiquer. Même si depuis longtemps il a inventé l'alphabet, l'imprimerie et l'ordinateur, il n'en reste pas moins un dessinateur de talent. C'est d'abord par un dessin que l'enfant s'exprime. Bien plus tard, c'est toujours par dessins qu'un architecte impose son art, qu'un mécanicien fait naître de nouvelles machines. Nous avons compris l'importance de ce moyen de communication parce qu'il est un langage universel, visuel, ... plus spontané peut-être ! N'entendons-nous pas dire couramment "un dessin vaut mieux qu'un long discours" pour abrégé une explication ou au contraire "faut-il vous faire un dessin ?" en s'adressant à ceux qui ne comprennent pas ?

Mais il ne suffit pas toujours de dessiner. Encore faut-il que l'interlocuteur interprète correctement ce qu'il voit. Un dessin, comme un texte, se lit. Les techniques de représentation, et donc de lecture, ont évolué au fil du temps. Les premiers dessins étaient plats et sans réelles proportions. Progressivement sont apparues les diverses techniques de perspective, de relief mais aussi les représentations plus techniques telles que celle de Monge dans son célèbre *Traité de géométrie descriptive* et enfin, bien plus tard, le Dessin Assisté par Ordinateur.

La maîtrise du dessin industriel est un excellent atout, dans la vie professionnelle, pour toute personne amenée à concevoir d'un point de vue technique et donc, a fortiori, pour l'ingénieur dont c'est un des rôles clés. En effet, plus qu'un moyen de communication, il est à la base de nombreuses conceptions. Qui dit conception dit aussi modélisation, validation et simulation préalables. Quelle que soit l'étape, le dessin intervient : d'un croquis rapide sur un morceau de papier jusqu'aux plans

d'exécution définitifs, en passant par les images de synthèse nécessaires à la représentation virtuelle sur ordinateur.

Or, pour concevoir un dessin de manière rapide (économie oblige) et efficace (une erreur peut être fatale), il est important de maîtriser un certain nombre d'outils. Le crayon finement taillé en est un et le reste dans certaines phases des projets. Mais l'ordinateur l'a avantageusement complété. La facilité de modification, la rigueur et la précision du tracé puis la possibilité d'animer l'image font, de cet ordinateur l'outil incontournable. De nombreux logiciels de dessin et de génération d'images ont déjà vu le jour. C'est ainsi que la plupart des écoles d'architecture et universités, de même que les établissements formant les futurs techniciens, ont intégré un cours de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO), dans leur programme. Les mots parlent d'eux-mêmes : il s'agit d'y enseigner la manipulation d'outils informatiques d'aide à la représentation de dessins<sup>1</sup>.

En 1993, un cours de DAO a aussi été introduit en première année de formation des futurs ingénieurs à l'Université catholique de Louvain. Ce cours présente *la philosophie générale* du Dessin Assisté par Ordinateur, dans la mesure où il n'y est pas question de vouloir former des spécialistes de l'utilisation d'un logiciel déterminé. *L'objectif principal de ce cours est d'amener les étudiants à "communiquer par le dessin à l'aide d'un outil de Dessin Assisté par Ordinateur". A l'issue du cours, les étudiants devront donc maîtriser les concepts du DAO afin qu'ils puissent, dans leur vie professionnelle, manipuler et critiquer tout nouveau système.*

*Dès lors, quelle méthode d'enseignement du DAO adopter pour atteindre au mieux cet objectif à long terme ?*

Dans le texte qui suit et qui tente de répondre à cette question, nous avons divisé la réflexion en trois parties.

---

<sup>1</sup> Plusieurs de ces cours portent aussi le nom inapproprié de CAO c'est-à-dire de Conception Assistée par Ordinateur. On parle aisément aujourd'hui de CAO quand, en réalité, on veut parler de DAO. La ligne de démarcation entre la CAO et le DAO est souvent bien floue. La différence est pourtant importante à souligner. La Conception Assistée par Ordinateur est un ensemble de logiciels et de techniques informatiques permettant la conception et la mise au point d'un produit. Son avantage majeur est de permettre la représentation puis l'étude du fonctionnement d'un objet avant de l'avoir véritablement fabriqué. C'est ainsi que sont testés les comportements de véhicules, de circuits électriques, la résistance de certaines pièces mécaniques, mais aussi que sont visualisés de futurs bâtiments soumis à diverses contraintes, etc. La Conception Assistée par Ordinateur fait non seulement appel au dessin assisté mais aussi à des modules puissants de calculs, de gestion de bases de données, etc. Jusqu'il y a encore peu de temps, la CAO était souvent réduite à une de ses composantes de base, le DAO. En effet, pour diverses raisons (budgétaires entre autres, mais aussi de capacité des ordinateurs) la CAO s'est développée moins rapidement que le DAO, ajoutant ainsi à la confusion.



La première partie (chapitre 1) aborde le contexte dans lequel se situe notre recherche. En effet, avant d'établir une méthode d'apprentissage du DAO adaptée à notre objectif général, nous nous sommes d'abord interrogés sur les motivations et la nécessité, pour de futurs ingénieurs, d'étudier le DAO. Nous nous sommes ensuite interrogés sur les objectifs spécifiques que devrait poursuivre un cours "idéal". Sur le terrain, outre les pratiques d'enseignement extérieures à notre université, nous avons analysé notre propre première expérience de cours, durant deux années, de 1993 à 1995.

De l'observation de ces cours mais surtout des travaux pratiques, nous avons pu épinglez les difficultés rencontrées tant par les débutants que par leurs enseignants, mettre en évidence les forces et faiblesses d'un tel apprentissage et énoncer un certain nombre de questions et constats. Parmi ceux-ci, trois ont plus particulièrement retenu notre attention, dans la mesure où ils sont à la base d'autres difficultés :

- Les étudiants, passifs dans leur apprentissage, attendent les directives successives de l'enseignant, sans prendre d'initiative. Ils ne profitent pas des cours pour développer d'autres compétences que celles propres à la discipline, compétences pourtant exigées dans la vie professionnelle telles que le sens de l'analyse et de la critique, l'autonomie, la communication, etc.
- De son côté, l'enseignant a tendance à répondre immédiatement à toutes les questions posées par les étudiants. Ceci a pour conséquence une mauvaise gestion de son temps d'encadrement. Tandis qu'il répond à une question de bas niveau, il ne peut consacrer du temps à exposer des notions plus complexes. Parallèlement, nous observons l'attitude spontanée de quelques étudiants qui se regroupent pour avancer à leur rythme, sans plus tenir compte de l'enseignant peu disponible.
- Les cours ne développent pas de méthodologie globale pour la réalisation de dessins, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas basés sur le caractère transférable de l'apprentissage à un autre logiciel que celui choisi comme référence. Par exemple, ils n'enseignent pas comment "lire" et "analyser" les dessins à représenter, alors que cette compétence est à acquérir indépendamment du logiciel.

Ces trois constats nous invitent à nous interroger sur le dispositif pédagogique mis en place. Les difficultés rencontrées sont-elles inhérentes à un cours de DAO, à une manière d'enseigner, à la motivation des étudiants ? Y aurait-il moyen d'imaginer un

dispositif permettant de modifier de tels comportements ? Quelle pratique existante, quelles méthodes ou quels outils pourrions-nous adopter pour aider à la fois les étudiants et les enseignants ?

Sur base de nos observations et en fonctions des impératifs professionnels, nous pensons que le cours de DAO doit idéalement :

- favoriser davantage la participation de l'étudiant afin de le rendre plus actif et plus autonome;
- prévoir un suivi régulier de l'enseignant pour aborder des aspects de méthodes, d'analyse et de restructuration des acquis;
- favoriser l'interaction entre les étudiants qui spontanément se groupent pour résoudre certains problèmes;
- donner un cadre motivant d'apprentissage en évitant la représentation de dessins élémentaires, cas d'école peu ou pas mobilisateurs.

Dans la deuxième partie de notre travail, nous nous documentons sur les dispositifs pédagogiques de méthodes plus actives et la conception d'outils d'aide à l'apprentissage autonome.

Partant de l'observation du comportement de certains étudiants et de la dimension sociale de l'apprentissage, nous nous sommes interrogés sur l'opportunité, pour les étudiants, de travailler en groupes. De nombreuses recherches ont tenté d'expliquer les relations liant l'apprentissage cognitif et les interactions sociales entre apprenants. Si l'on s'en réfère à ces études, l'interaction entre pairs semble améliorer le processus individuel d'apprentissage, sous certaines conditions.

D'un autre point de vue, puisque nous attachons de l'importance à la nature de la tâche dans le processus d'apprentissage, nous nous interrogeons sur l'opportunité de travailler dans le contexte d'un apprentissage par projets. Ici aussi, de nombreuses études semblent appuyer l'hypothèse d'une meilleure intégration des connaissances lorsqu'elles sont abordées dans un contexte ayant un véritable sens. Qu'en est-il au niveau du cours de DAO ? Ces approches seraient-elles envisageables ? Quelles sont les conditions de mise en place de tels dispositifs ? Quel rôle y joue désormais l'enseignant ? Nous en parlons dans le chapitre 2.

Dans le but d'accroître le caractère autonome des étudiants, nous formulons une autre hypothèse de travail. Pour atteindre progressivement un degré d'autonomie satisfaisant pour assurer plus tard leur auto-formation continue dans un cadre professionnel, nous pensons que les étudiants devraient être mis, dès leur formation initiale, dans des conditions favorisant ce type de démarche. De plus, nous pensons que le temps dégagé par une ou plusieurs phases d'auto-apprentissage des étudiants pourrait être mieux exploité par l'enseignant pour aborder des questions méthodologiques adéquates. Nous nous interrogeons donc sur la pertinence de l'utilisation

des technologies de la formation, les didacticiels. Les étudiants forment aujourd'hui un "public" gorgé d'images au quotidien. Qu'il s'agisse de télévision, cinéma, jeux vidéo, ordinateur, publicités, ... tous usent des images, du son et de l'animation virtuelle. Dans ce cadre-là, faut-il suivre le mouvement et fournir aux étudiants des produits ad hoc? Quel est l'impact de ces outils et comment les concevoir pour qu'ils assurent une amélioration significative des performances des étudiants ? Nous étudions les avantages, inconvénients et conditions d'efficacité de ces outils au chapitre 3.

Après cette étude de la littérature relative aux dispositifs pédagogiques de méthodes actives et aux outils d'auto-apprentissage, nous décrivons, dans la troisième partie de ce travail, trois expériences. Elles ont pour objet, d'une part, de mettre à l'essai les théories pédagogiques citées ci-dessus (utilisation de didacticiels, travail de groupes, rôle de l'enseignant, apprentissage par projets) mais aussi, d'autre part, de dégager une méthode globale d'apprentissage du DAO qui pourrait nous aider à atteindre l'objectif principal fixé.

Une première expérience est réalisée pour tenter de mesurer l'impact de l'auto-apprentissage. Nous créons un didacticiel permettant d'aborder les concepts et la réalisation d'un premier dessin en deux dimensions. Nous le testons auprès des étudiants dès le démarrage du processus d'apprentissage. Les premiers résultats sont encourageants. Les étudiants y voient une plus grande liberté du rythme de leur apprentissage; ils ont la possibilité de réaliser un premier dessin sur base d'un exemple complet détaillé; les enseignants peuvent consacrer davantage de temps aux questions de méthodes, plus fondamentales et non orientées sur le logiciel utilisé. Globalement, l'introduction du didacticiel a amélioré les performances des étudiants pour la réalisation de dessins en deux dimensions. Nous rapportons l'ensemble de cette expérience au chapitre 4.

Une seconde expérience nous a ensuite conduit à tester, auprès des étudiants, quatre dispositifs pédagogiques, mêlant à la fois l'apprentissage en petits groupes et le rôle tenu par l'enseignant dans une étape critique du processus de réalisation d'un dessin telle l'analyse. En effet, une des questions principales posée par les débutants face à un nouveau dessin à réaliser est "par où commencer ?". La phase d'analyse qui précède la réalisation effective du dessin est à la fois nécessaire et périlleuse pour la suite du travail. Il est capital de s'y attarder, d'autant que cette étape est essentielle dans tous les processus de conception auxquels les étudiants auront à participer, toutes disciplines confondues. L'objet de l'expérience menée tend à déceler une amélioration significative de cette phase, selon que les étudiants travaillent seuls ou par paires et selon le rôle de guide que joue ou non l'enseignant. Les résultats sont

sans appel : le travail en mini-groupes de deux personnes, couplé à un enseignant davantage tuteur, apporte de meilleurs résultats aux tests des étudiants. L'expérience et les études statistiques qui en découlent sont l'objet du chapitre 5.

Enfin, petit à petit, dans la faculté des sciences appliquées de l'UCL, se profile l'arrivée d'une nouvelle méthode de travail, prônant toujours plus d'autonomie et de responsabilité pour les étudiants de candidature<sup>2</sup>, le tout dans un contexte élargi de multidisciplinarité. Le nouveau contexte, dicté par la réforme, nous oblige à revoir en profondeur l'ensemble du cours de DAO. Dorénavant, moins d'heures de cours magistraux lui seront attribuées et les séances d'exercices n'existeront plus sous leur forme classique. De plus, les étudiants auront à réaliser, tout au long de l'année, trois projets multidisciplinaires, dans des domaines aussi variés que l'informatique, la mécanique, l'électricité.

Cette expérience pédagogique donne l'occasion de tirer les leçons des pratiques précédentes. Nous avons acquis, précédemment, une expérience importante dans le domaine de l'auto-apprentissage et dans la maîtrise de dispositifs pédagogiques pour lesquels l'enseignant n'est pas réduit à un dispensateur de savoirs mais joue un rôle de concepteur de ressources et de tuteur. A la rentrée 2000, le cours reprend donc avec cinq nouveaux didacticiels et six environnements de travail, permettant une vue globale élargie du DAO, de l'apprentissage du simple crayon électronique au dessin en trois dimensions, en passant par l'animation d'objets 3D et un début de CAO pour la conception de circuits électroniques. Tous ces outils sont volontairement basés sur un seul logiciel de référence (AutoCAD®). Il est le fil conducteur, permettant aux étudiants d'approfondir des concepts de DAO sans se disperser dans l'apprentissage de différents logiciels spécifiques. Le cours prend désormais tout son sens dans la mesure où il a l'occasion de s'insérer dans des projets de grande envergure, et pour lesquels il devient un outil nécessaire à leur réalisation. Le détail des dispositifs pédagogiques, les tests effectués, les didacticiels réalisés et les comparaisons statistiques sont présentés dans le chapitre 6.

Nous terminons ce travail par la discussion des résultats obtenus au cours de ces trois expériences, en fonction des théories pédagogiques. Nous concluons en montrant l'ouverture possible de cette recherche vers l'enseignement à distance, dans un contexte où la formation professionnelle est toujours à compléter. Enfin, nous présentons quelques compléments possibles à apporter à l'ensemble du dispositif, dans l'optique d'une formation destinée aux futurs ingénieurs.

---

<sup>2</sup> On appelle "candidatures" les deux premières années de la formation universitaire.

## 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"<sup>3</sup>. En effet, l'architecte débute un projet par un croquis rapide sur un morceau de papier<sup>4</sup>; 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.

---

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

<sup>4</sup> 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 représentation<sup>5</sup> 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.

---

<sup>5</sup> 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 mètre 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" <sup>6</sup>. 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

---

<sup>6</sup> <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 dessin<sup>7</sup> 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

---

<sup>7</sup> 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.<sup>8</sup>.

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

---

<sup>8</sup> 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<sup>®</sup>, Corel Draw<sup>®</sup>, Paint Shop Pro<sup>®</sup>, ...).

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-dessus<sup>9</sup>.*

### 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

---

<sup>9</sup> 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 "  $\rightarrow$  " 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.

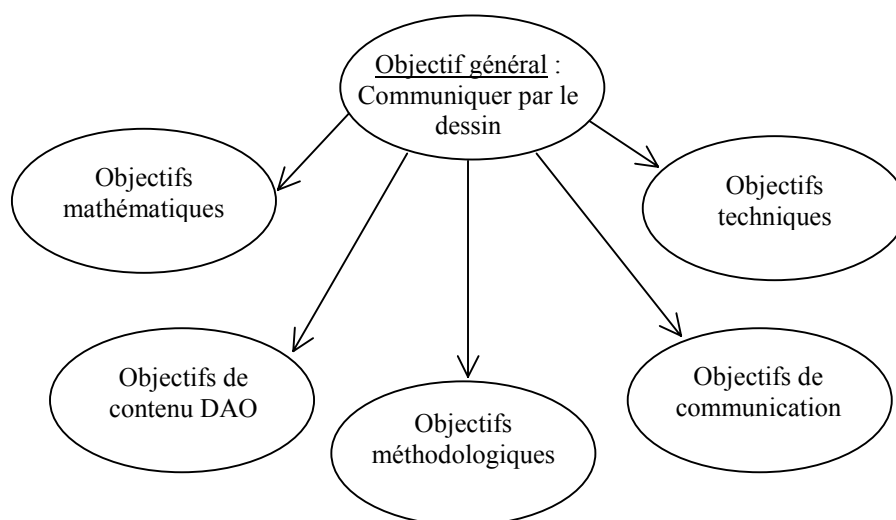


Figure 1: Objectifs d'un cours de DAO

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" !

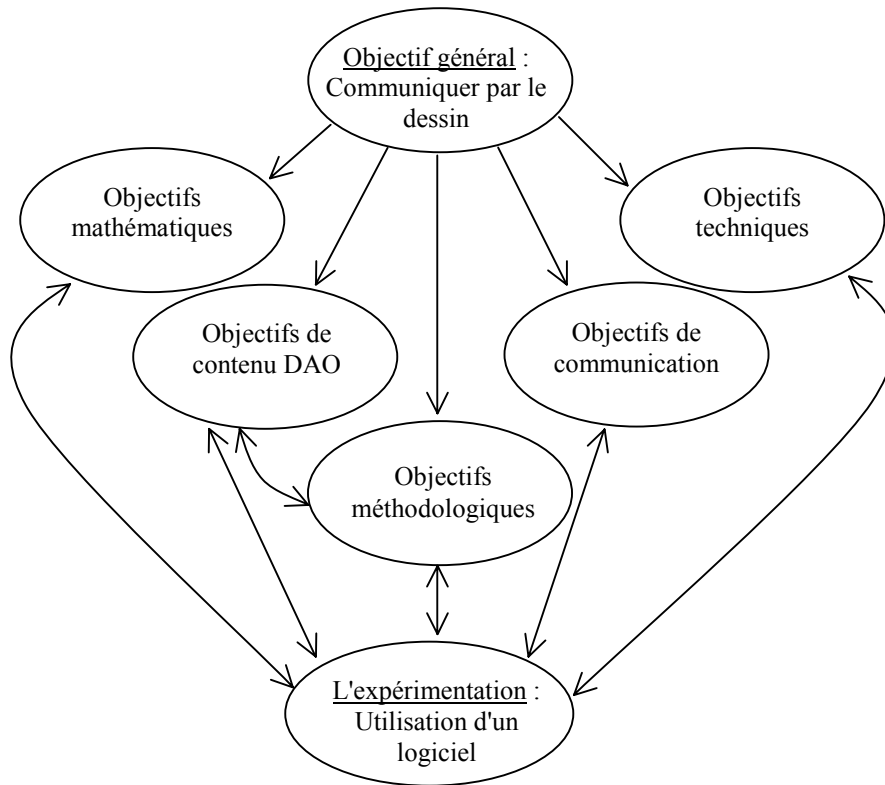


Figure 2 : Objectifs complétés

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 reproduire<sup>10</sup> 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.

---

<sup>10</sup>

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 personnes<sup>11</sup>. Durant chaque séance, les étudiants disposent chacun d'un PC, sur lequel est installé le logiciel de DAO AutoCAD®, marque déposée de la firme Autodesk<sup>12</sup>. 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.

---

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

<sup>12</sup> 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 industriels<sup>13</sup> et l'autre dans une université francophone belge formant, comme à l'UCL, des ingénieurs civils<sup>14</sup>.

### 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®),

---

<sup>13</sup> Formation supérieure de niveau universitaire en quatre ans.

<sup>14</sup> 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 exemple<sup>15</sup>, 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 Visionics<sup>16</sup> pour le logiciel Edwin® (Figure 39, page 238). Notons toutefois qu'une visite rapide (quick tour) des possibilités du logiciel existe sous format "vidéo".

---

<sup>15</sup> [http://www.graphisoft.com/products/archicad/online\\_demos.html](http://www.graphisoft.com/products/archicad/online_demos.html); consultation août 2003.

<sup>16</sup> [http://www.visionics.a.se/edwinxdemo\\_f.html](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 site<sup>17</sup> 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 typons<sup>18</sup>, à l'aide du logiciel Edwin32<sup>®</sup>. 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<sup>®</sup>), 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

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

<sup>18</sup> 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<sup>®</sup> 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 industriels<sup>19</sup>, 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.

---

<sup>19</sup> 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<sup>®</sup>. Les notes de cours sont composées d'extraits d'un livre de référence.

Dans une université belge formant de futurs ingénieurs civils<sup>20</sup>, 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 rayons<sup>21</sup> 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

---

<sup>20</sup> Faculté Polytechnique de Mons.

<sup>21</sup> 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.*



## Chapitre 2 : Dispositifs pédagogiques de méthodes actives

---

Si la description des contenus exclusivement disciplinaires (commandes spécifiques au logiciel de référence) est largement présente dans les cours de DAO, nous avons mis en évidence, pour le débutant, la difficulté à dégager de ces cours une méthode de représentation de dessin, une méthodologie globale qui pourrait lui assurer toutes les chances de succès.

Nous avons aussi pu nous rendre compte de la pauvreté de l'enseignement des notions mathématiques sous-jacentes à cette discipline. Leur utilité, bien que plus interne et donc plus discrète, ne pourrait-elle néanmoins apporter une aide intéressante ?

Enfin, et ceci peut être différent pour les formations en ligne, pour lesquelles nous n'avons pas proposé de questionnaire d'enquête auprès de leurs utilisateurs, notons les difficultés qu'ont les étudiants à adopter des stratégies d'apprentissage et stratégies métacognitives nécessaires pour leurs apprentissages. Or, le développement de ces compétences non disciplinaires et transversales sont, pour Duggan, "une priorité à développer" (Duggan, 1995; Knight & Yorke, 2003). Pourrions-nous proposer, aux étudiants, des situations d'apprentissage favorisant le développement de ces compétences, non directement liées à la discipline ?

Pour renverser autant que possible ces situations problématiques au démarrage du processus d'apprentissage, nous nous sommes intéressés à d'autres stratégies d'enseignement. De plus en plus, les pédagogues incitent à utiliser des méthodes actives, favorisant l'autonomie et mieux adaptées au rythme de chacun. Voyons brièvement quels pourraient être les avantages et inconvénients de deux d'entre elles qui encouragent, l'une, les interactions sociales (l'apprentissage en groupe) et l'autre, l'importance de la nature de la tâche (l'apprentissage par projets). Celles-ci pourraient-elles s'utiliser dans le cadre de notre cours de DAO ? Serait-ce une aide significative pour les étudiants et l'enseignant ? Qu'en disent les auteurs ?

## 1 Introduction

L'apprentissage n'est pas un phénomène banal qu'une seule théorie pourrait décrire. Et puisque les formes de l'apprentissage peuvent être nombreuses (visuelles, auditives, par association, imitation, expérimentation, etc.), les théories développées pour le modéliser le sont tout autant. C'est pourquoi, au fil des siècles et des courants psychologiques, en fonction des circonstances et des besoins, de nombreuses méthodes pédagogiques ont vu le jour.

D'après Ruano-Borbalan (1998), deux grandes tendances ont été à la base de l'éducation durant des siècles. Globalement, la première considérait que l'enfant (et donc l'homme) était de nature mauvaise et perverse et que l'éducation et l'instruction étaient là pour le redresser en permanence. Un maître qui "sait" enseigne, seul, aux autres qui se taisent et ne "savent pas".

Au contraire, la seconde tendance voit, dans l'être humain, quelqu'un de foncièrement bon. L'éducation sert surtout à l'épanouir et à développer en lui toutes les ressources dont il est riche. Cette vision de la formation a profondément bouleversé la relation pédagogique. Le précurseur de ce mouvement est Jean-Jacques Rousseau. Il est suivi par l'école nouvelle et toutes les méthodes de pédagogie dites "actives", centrées sur l'apprenant. Progressivement, l'idée de l'étudiant "autonome", qui acquiert lui-même l'ensemble de ses connaissances et de ses expériences, qui développe ses propres aptitudes et surtout qui est responsable de ses propres acquis, fait son apparition (Ruano-Borbalan, 1998).

Ces deux tendances ont essuyé des critiques, allant de la passivité des apprenants au manque d'appui sur les théories de la connaissance, et à l'illusion de connaissances trop superficielles. De plus, la quantité de connaissances accumulées au fil des années ne permet plus à un "maître" d'en détenir, seul, le monopole de la transmission. La responsabilité de la diffusion de ces savoirs doit être désormais partagée entre les enseignants et les enseignés.

Au cours du siècle dernier, plusieurs courants se sont développés aussi en psychologie, rejaillissant, inévitablement, sur la pédagogie. La conception transmissive de l'apprentissage est très ancienne. Le savoir est un objet extérieur à l'individu que les méthodes pédagogiques tentent de lui inculquer, de différentes manières. Pour imager le processus, on pourrait considérer l'individu comme une boîte vide que le maître doit remplir continuellement de nouvelles connaissances, en transmettant son propre savoir. L'apprenant n'a pour seul rôle que celui de recevoir, imiter, écouter, ...

Un de ces mouvements, le béhaviorisme<sup>22</sup>, se développe principalement dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Parmi ses précurseurs, citons Thorndike et Skinner. Le béhaviorisme "postule que l'apprentissage est une modification du comportement provoqué par des stimuli provenant de l'environnement" (Ruano-Borbalan, 1998). Il se base sur des études réalisées sur le comportement des animaux qui, en fonction de circonstances extérieures données (par exemple : le chien entend le son d'une certaine cloche ...), apprennent à adopter des comportements adéquats (... il se précipite, le repas est prêt). L'apprentissage ne serait donc que l'établissement de relations entre des stimuli extérieurs et des réponses appropriées, sans aucune autre forme d'intervention. L'apprentissage se ferait par paliers successifs, laissant peu de place à l'erreur et au raisonnement personnel. Ce conditionnement sera à la base de l'éducation durant de nombreuses années.

Un autre cadre de référence théorique s'engage ensuite, sous le nom de "constructivisme". Il s'est principalement développé dans les années 1960. Pour les constructivistes, l'acteur principal de tout apprentissage est le sujet lui-même qui construit ses connaissances, continuellement, en rapport avec les objets et les phénomènes qui l'entourent. Il se développe en s'appuyant, notamment pour les travaux plus récents, sur les théories cognitives qui insistent sur l'importance des processus associés à la mémoire et au transfert des connaissances (Mayer, 1999). L'apprenant met en relation ses connaissances et ses savoir-faire avec les nouvelles informations auxquelles il est soumis. Dans cette perspective, le but poursuivi par la pédagogie réside dans le développement de mises en situations qui favorisent l'activité cognitive du sujet, plutôt que de situations qui induisent un comportement de réflexe conditionné (cas des béhavioristes). L'enseignant tient un nouveau rôle, plus proche de guide, d'organisateur des savoirs et de responsable des conceptions et mises en situations d'apprentissage.

Mais un des reproches fait à la théorie constructiviste - comme à la théorie béhavioriste d'ailleurs - est de ne pas (ou trop peu) tenir compte, de manière consciente, du contexte social dans lequel vit l'apprenant. Naît alors, parallèlement, un nouveau cadre de référence. On parle désormais de "socio-constructivisme". La théorie socio-constructiviste, basée sur les principes du constructivisme, prend en considération cette dimension sociale dans les processus d'apprentissage. C'est ainsi que l'on passe d'une relation simple, entre un apprenant et un objet d'apprentissage, à une relation à trois : le sujet, l'objet d'apprentissage et l'entourage social du sujet. Ces interactions sociales peuvent être de deux types : soit des interactions entre

---

<sup>22</sup> De l'anglais "behavior", c'est-à-dire "comportement".

individus caractérisées par des similitudes de rôle et de statut (apprentissage entre pairs), soit des interactions plus dissymétriques où un "initié" apporte son expertise à un "non initié" (cas du tutorat).

Les processus d'éducation et de formation ont donc beaucoup évolué ces dernières années, privilégiant l'autonomie et l'activité de l'apprenant, son rapport au savoir, ses compétences, mais aussi le contexte social dans lequel il aborde ses nouvelles connaissances. Progressivement, les pédagogues se sont ainsi tournés vers des pédagogies actives, essentiellement centrées sur l'apprenant. Celles-ci semblent plus proches de la manière dont un individu aborde un nouvel apprentissage et ont, entre autres, pour caractéristiques (Lebrun, 1999) :

- la diversité des ressources extérieures;
- l'importance de l'expérience concrète et du contexte d'apprentissage qui a un sens;
- la mobilisation de compétences dites de haut niveau;
- la démarche de recherche dans l'apprentissage;
- l'interactivité entre apprenants et enseignants dans l'apprentissage.

Plusieurs méthodes non exclusives couvrent ces aspects dont le travail en groupe et l'apprentissage par projets. Chacune présente des qualités et des défauts, parmi lesquels il convient de s'adapter. La bonne méthode, applicable telle quelle à toute situation d'enseignement/apprentissage, n'existe pas. Il apparaît que l'enseignant doive soit ajuster une méthode particulière, soit combiner plusieurs d'entre elles, selon ses aspirations, les étudiants concernés et l'environnement de travail. C'est précisément la tâche de l'enseignant que d'assembler, organiser, préparer les meilleures conditions d'apprentissage.

Dès lors, quelles caractéristiques intéressantes des pédagogies actives pourraient-elles apporter une aide à l'enseignement du DAO ? Quels pourraient être les apports d'un travail en groupe, d'un apprentissage par problèmes ou d'un auto-apprentissage ? Voyons parmi ces quelques méthodes de travail, les avantages à tirer et les écueils à éviter, avant de mettre au point une manière d'aborder cet enseignement correspondant au mieux à la matière, aux étudiants et au contexte universitaire dans lequel nous nous situons.

## 2 Le travail en groupe<sup>23</sup>

D'expérience, on peut admettre que le comportement de chacun diffère selon que les individus sont seuls ou en groupe. Il n'est pas rare de constater qu'un enfant peut être individuellement raisonnable, mais collectivement difficile, ou qu'une personne - même adulte - osera prendre certaines attitudes en groupe, qu'elle n'aurait pas adoptées seule.

Quoi qu'il en soit, il semblerait que ces divers comportements soient moins dépendants de la personnalité que du phénomène de groupe. Dans le domaine de l'industrie, des études<sup>24</sup> datant du début du 20<sup>ème</sup> siècle ont pu démontrer un accroissement considérable du rendement, quand une dynamique de groupe s'est installée entre les ouvriers (les ouvriers se choisissent pour travailler; deux pauses de dix minutes leur permettent d'échanger, etc.). En serait-il de même au niveau de l'apprentissage ? Pourrait-on aussi imaginer que le groupe ait une influence sur les performances individuelles de chaque apprenant ?

### 2.1 Conditions d'efficacité

Dans le travail en groupe, se retrouve un certain nombre de points communs. Dans tous les cas, il s'agit de proposer aux étudiants, de travailler à deux ou trois personnes, voire jusqu'à six à huit, selon les projets. Cohen définit la taille du petit groupe selon la possibilité qu'aura chaque membre de pouvoir s'y exprimer et de participer activement à la résolution d'une tâche collective, clairement énoncée (Cohen, 1994). Les membres de ces groupes sont généralement répartis de manière hétérogène (choisie ou aléatoire) quant à leurs aptitudes, leur sexe, leur origine sociale et ce, de manière à augmenter l'ensemble des acquis scientifiques et sociaux du groupe.

Une méta-analyse (Johnson, Maruyama, Johnson, Nelson, Skon, 1981) établie il y a une vingtaine d'années par des pédagogues américains, a recensé plus d'une centaine

---

<sup>23</sup> Quand nous parlons de groupe, nous entendons un ensemble de minimum deux personnes qui interagissent, qui communiquent, verbalement ou non. Plusieurs étudiants, rassemblés dans une classe et ne communiquant pas, ne forment pas nécessairement, selon ces critères, ce que nous appelons un groupe, mais restent plusieurs individualités.

<sup>24</sup> Voir à ce sujet les études de Elton Mayo (1880-1949). Celui-ci a entrepris des recherches à l'usine Western Electric de Hawthorne (Chicago), entre 1927 et 1932, au cours desquelles il a tenté de dégager les conditions de plus grande efficacité des ouvriers. Ces conclusions portent tant sur les conditions matérielles et techniques que sur l'environnement agréable de travail, le climat psychologique des ouvriers et l'importance des relations humaines dans le groupe.

d'études relatives à l'apprentissage en groupes qui, toutes, convergent vers une même conclusion : le travail en groupe favorise un rendement scolaire supérieur au travail réalisé individuellement. Ils ont aussi inventorié quelque huit études prouvant le contraire et une quarantaine plus neutres, affirmant qu'il n'y avait aucune différence significative à travailler en groupes. Les auteurs expliquent ces différences par la difficulté à définir le "type de problèmes" proposés dans les études. Ne nous arrêtons donc pas à cette liste d'études favorables ou défavorables aux travaux en groupes, mais intéressons-nous plutôt à comprendre les différents facteurs permettant à cette méthode d'avoir un impact positif sur les performances des étudiants.

Il semble que le type d'objectifs pédagogiques poursuivis et le type d'opérations cognitives sollicitées soient un facteur important. Des études (Cohen, 1994; Schmidt & Moust, 2000) ont, en effet, démontré que le travail en groupe induisait une nette amélioration de l'apprentissage pour des tâches complexes, de niveau taxonomique assez élevé, telles que des tâches de résolution de problèmes, des tâches impliquant une réflexion, une analyse, des tâches basées sur des problèmes peu structurés ou des problèmes demandant des réponses ouvertes (discussion, déduction, comparaison, ...). Les tâches plus simples, telles que celles faisant appel à la mémorisation ou l'application pure d'algorithmes bien définis, ne sont pas améliorées par un travail en groupe. Elles ne relèvent d'ailleurs que bien peu d'un travail en groupe, puisqu'elles n'obligent pas les participants à échanger des informations, des acquis, etc. Le bénéfice semble encore supérieur quand les apprenants ont une connaissance limitée du sujet, par rapport à ceux qui avaient déjà une première expérience du problème (Schmidt & Moust, 2000).

Pour D. Johnson et R. Johnson, l'efficacité du travail en groupe, au niveau de l'apprentissage, dépend de la manière dont sont établies les interactions entre les membres. Il est très important que ceux-ci puissent échanger leurs idées, débattre, s'opposer même (Johnson & Johnson, 1995). Les apprenants doivent donc être capables de mobiliser un certain nombre de comportements et d'aptitudes relationnelles propices au développement d'une dynamique de groupe : la communication, l'écoute, le respect, ...

Pour ces mêmes auteurs, l'amélioration de l'apprentissage est aussi due à l'entraide qui se développe entre apprenants, aux encouragements, à leur participation active. Cela résulte d'un engagement et d'une responsabilité individuelle (Johnson & Johnson, 1991). Les habiletés sociales sont une des clés de la productivité du groupe. Ils affirment d'ailleurs que l'engagement de chacun sera d'autant plus grand que le groupe sera restreint. Pourtant, une étude a pu mettre en évidence que



l'étudiant moins actif, plus silencieux au sein d'un groupe, n'obtient pas, nécessairement, de moins bons résultats que ses collègues (Moust, Schmidt, De Volder, Beliën & De Grave, 1986). Peut-être n'a-t-il pas été capable de verbaliser ses idées lors des discussions du groupe, mais a-t-il profité autant des nouveaux acquis de celui-ci ? Peut-être est-ce tout simplement dû à une forme particulière de l'apprentissage qui a convenu à cet étudiant observateur ?

L'étude de Webb, citée précédemment, confirme l'importance des interactions à l'intérieur du groupe : recevoir des explications, suite à des erreurs, semble bénéfique, contrairement à recevoir des réponses à des questions. Ne recevoir aucune rétroaction, en cas d'erreur ou de question, est nuisible dans l'apprentissage de commandes de base, mais ne semble pas porter atteinte à d'autres résultats (Webb, 1984).

L'hétérogénéité du groupe semble être un facteur bénéfique dans la formation (Bourgeois & Nizet, 1997), sauf si les qualités des membres ne se chevauchent pas suffisamment<sup>25</sup>. Les faibles bénéficient des connaissances et de l'aide des plus forts. Monteil souligne d'ailleurs l'impact positif de la comparaison ascendante pour améliorer ses propres performances (Monteil, 1996). A l'inverse, les plus forts bénéficient des plus faibles, dans le sens où ils ont pour défi de leur donner des explications (Webb, 1991). Chacun assume une part de la responsabilité de l'apprentissage des autres. Dans ce contexte, travailler en groupe ne semble pas, a priori, constituer une perte de temps – les uns passant du temps à expliquer aux autres – mais bien un réel bénéfice pour tous. De plus, le caractère différent de chaque membre du groupe enrichit la discussion, apporte davantage d'idées nouvelles et d'acquis de départ pour la résolution d'un problème. Les pairs peuvent ainsi servir plutôt que nuire.

Mais à ce point de vue, certains auteurs mettent aussi des limites. Si l'hétérogénéité est intéressante, au démarrage, pour le conflit d'idées qu'elle génère, elle peut devenir insurmontable quand arrive la phase de résolution. En effet, vient un moment où le consensus doit être établi. Si les membres du groupe restent en permanence sur des positions opposées, le groupe ne peut plus avancer. Enfin, il semble que les interactions entre pairs soient d'un plus grand bénéfice que des relations dites "asymétriques", telles qu'un étudiant et un enseignant, un dominé et

---

<sup>25</sup> Reber, R,  
[http://www.psy.unibe.ch/l\\_g/homepagerolf/sozialverhalten/franz/ETH\\_Soz07\\_Gruppe\\_F.ppt](http://www.psy.unibe.ch/l_g/homepagerolf/sozialverhalten/franz/ETH_Soz07_Gruppe_F.ppt). -  
septembre 2003, Université de Berne, Suisse.

un dominant, un enfant et un adulte, ... L'inégalité des statuts a des effets négatifs sur l'efficacité du travail en groupe (Cohen, 1994).

Une étude intéressante de Webb confirme les apports d'un travail en groupe restreints d'étudiants, lors d'un cours de programmation LOGO sur ordinateur. Son étude va jusqu'à démontrer l'égalité des performances de chaque membre du groupe, qu'il soit ou non celui qui manipule effectivement le clavier. Il explique ce résultat par la discussion verbale qui s'établit entre l'étudiant au clavier et celui ou ceux qui lui font des suggestions de manipulation (Webb, 1984).

Le rôle de l'enseignant semble assez primordial, dans ce contexte d'apprentissage. En effet, il ne suffit pas de rassembler deux ou trois personnes autour d'une même table avec pour mission d'exécuter une tâche bien précise, pour se trouver dans une situation d'apprentissage efficace en groupes. En cela, le formateur détient un rôle crucial. Il doit, non seulement mettre en place les ressources et le dispositif pédagogique adéquat, mais il doit aussi veiller à ce que les apprenants, sous sa responsabilité, coopèrent réellement. Le formateur doit amener ses étudiants à réfléchir, analyser, confronter leurs opinions et veiller à ce que ces échanges d'idées aient effectivement lieu (Cohen, 1994; Bourgeois & Nizet, 1997).

Les performances et le comportement de l'enseignant face au groupe influencent directement le fonctionnement du groupe. Plusieurs études, menées conjointement par Schmidt et d'autres chercheurs, ont démontré la corrélation significative entre l'expertise d'un enseignant et les performances des étudiants. Les enseignants-experts relancent les groupes par des questions davantage pertinentes, ce qui conduit les étudiants à une amélioration nette des apprentissages (De Volder & Schmidt, 1982; Schmidt, Van der Arend, Moust, Kokx & Boon, 1993; Schmidt, 1994). Une autre étude de Swanson, Stalenhoef-Halling et Van der Vleuten n'a pu tirer de conclusion en ce sens. Une étude de Brush conclut que les étudiants (individus isolés dans une classe) ayant eu moins de possibilités de recours à l'enseignant ont développé davantage d'attitudes négatives face au cours, contrairement aux étudiants groupés pour qui l'enseignant a pu intervenir plus souvent, aidant plusieurs personnes simultanément (Brush, 1997). Enfin, d'après D. Johnson et R. Johnson, l'enseignant joue aussi un rôle important d'observateur des groupes. Il doit passer de l'un à l'autre, analyser leurs difficultés, donner des rétroactions à chacun et régulièrement engager une synthèse au groupe-classe complet (Johnson & Johnson, 1991).

## 2.2 Impacts du travail en groupe

De nombreux avantages peuvent être tirés du travail en groupe, tant pour les étudiants que pour les enseignants. Des études ont été réalisées sur le sujet, dont voici quelques grandes lignes.

### Du point de vue des étudiants

De nombreux travaux ont mis en évidence l'importance du *conflit socio-cognitif*<sup>26</sup> dans l'acquisition des connaissances. Il semblerait que cette confrontation de points de vue entre apprenants apporte de meilleurs résultats que quand elle est proposée par l'enseignant. Le groupe est donc un endroit privilégié pour apprendre. En plus de nouvelles connaissances, il permet de développer des aptitudes sociales nécessaires à la vie en société. Pour une revue plus complète de la littérature, il convient de se reporter à Bourgeois et Nizet (Bourgeois & Nizet, 1997).

Quand plusieurs personnes travaillent ensemble pour atteindre un même but, leur *interdépendance* les motive souvent à travailler davantage individuellement, pour permettre au groupe, et de ce fait à elles-mêmes, de réussir. Il se crée, au sein du groupe, une complicité, une meilleure connaissance sociale des autres, un esprit de corps (Bourgeois & Nizet, 1997). En groupe, les étudiants sont moins vite distraits du sujet (Brush, 1997). Ils passent davantage de temps à l'activité et augmentent le temps d'étude, ce qui a des effets positifs (Schmidt & Moust, 2000; Springer, Stanne & Donoval, 1999; Brush, 1997).

Travailler en groupe semble aussi produire des effets positifs sur le comportement des étudiants, tels que l'*humeur*, l'*émotion*, le *sentiment de sécurité*, de *satisfaction* ... (Brush, 1997; Schmidt & Moust, 2000), l'*estime de soi* et la *perception de ses propres compétences*. Et même si ces effets ne constituent pas des objectifs principaux, ils n'en sont pas moins des acquis intéressants et valables en soi.

La confrontation au sein d'un groupe permet aussi aux étudiants de mesurer l'écart qu'il y a entre ce qu'ils connaissent déjà et ce qu'ils doivent acquérir ou ce qu'ils n'ont pas compris. Ceci est un facteur motivant pour la recherche de nouvelles informations et donc aussi pour l'apprentissage (Johnson & Johnson, 1979).

---

<sup>26</sup> Le conflit socio-cognitif est la confrontation des idées, des points de vue, des interrogations, à l'intérieur d'un groupe, pour apporter des solutions à un problème posé. Le conflit réside dans une remise en cause des acquis antérieurs, propres à chaque individu, ou dans une opposition entre personnes du groupe.

Si, pour travailler en groupe, il convient d'adopter des attitudes positives et ouvertes à ce type de situation d'apprentissage, à l'inverse, le travail en groupe développe, lui aussi, de nouvelles aptitudes relationnelles auprès des apprenants. C'est un gain qui n'est pas négligeable, même s'il n'est pas toujours directement un des objectifs de la formation.

Mais attention, les étudiants n'arrivent jamais vierges dans un groupe. La présence des autres peut être vécue positivement ou négativement, selon les conditions (Monteil, 1996). Il convient, peut-être, d'en tenir compte lors de la composition initiale des groupes ou lors d'un éventuel remaniement de ceux-ci.

Enfin, notons une remarque intéressante, mais peu détaillée de l'étude de Schmidt et Moust : l'analyse d'un problème en petits groupes a une forte influence sur les connaissances acquises antérieurement, sur les représentations initiales ("prior knowledge") (Schmidt & Moust, 2000). Y aurait-il donc une sorte d'effet rétroactif non négligeable ?

Certaines études attirent aussi l'attention sur les effets néfastes du travail en groupe. Les problèmes induits sont surtout liés à la gestion des groupes, plutôt qu'au processus d'apprentissage lui-même. Ainsi, certains auteurs soulignent les difficultés dues au bruit, à la gestion des rythmes individuels, aux dispositions socio-affectives des membres ou au phénomène d'"indolence sociale", lorsque le groupe produit moins que ce que n'aurait pu faire l'individu seul. Mais ceci serait lié au type de tâche (Meirieu, 1984).

#### Du point de vue des enseignants

L'enseignant produit une qualité d'assistance supérieure (Brush, 1997). Il fait plus facilement le tour des étudiants de la classe, puisqu'il travaille avec plusieurs étudiants à la fois (déjà cité ci-dessus). D'une part, ceci lui donne un laps de temps supérieur pour aborder d'autres problèmes et, d'autre part, cela lui permet de suivre l'évolution des étudiants de manière plus proche.

L'enseignant a davantage un rôle de tuteur et ses performances influencent directement les résultats du groupe. Mieux le tuteur guide, meilleurs sont les résultats (Schmidt & Moust, 2000).

L'enseignant a un rôle important, dans le sens où il doit veiller à un apprentissage individuel, le but n'étant pas de créer un groupe d'amis ou un groupe de production, mais bien des groupes d'apprentissage. Il doit mettre en place toutes les conditions

requis au bon fonctionnement du groupe, en veillant à ce que chaque individu trouve sa place et son rythme.

#### Face à l'emploi des outils informatiques

Enfin, citons une méta-analyse intéressante de Lou, Abrami et d'Apollonia qui répertorie près de 122 études basées sur la comparaison des effets d'un apprentissage en petits groupes et d'une approche individualisée, dans différentes disciplines, à l'aide des technologies informatiques (Lou, Abrami & d'Apollonia, 2001).

De cette analyse, il ressort globalement que les étudiants travaillant en petits groupes atteignent des performances supérieures à celles atteintes par des individus isolés, tant du point de vue des stratégies d'apprentissage que des comportements sociaux. Ils sont plus nombreux à réussir. Les études démontrent aussi qu'en travaillant sur ordinateur par petits groupes (et de préférence à deux plutôt qu'à trois, quatre ou davantage), les travaux produits sont meilleurs et les connaissances individuelles sont augmentées par rapport à celles des étudiants isolés.

Mais les étudiants, selon qu'ils travaillent en groupes ou non, développent des comportements différents. Ainsi, les étudiants isolés travaillent plus vite, interagissent plus avec l'ordinateur et demandent davantage d'aide de l'enseignant. A l'inverse, les étudiants travaillant en petits groupes tirent de meilleurs bénéfices d'un point de vue des interactions sociales et cognitives, utilisent davantage de stratégies d'apprentissage appropriées et sont plus persévérants à la tâche. Ils développent davantage d'attitude positive à l'égard du travail en groupe et des autres étudiants.

Il semble que le type de tâche imposée sur ordinateur ait aussi son influence. Ainsi, les travaux d'études de didacticiels ou de type "drill and practice" sont-ils mieux accomplis que les tâches d'exploration ou d'utilisation de programmes outils, lorsque les étudiants sont groupés.

Enfin, notons que si les étudiants ne disposent pas d'un minimum d'acquis, les performances du groupe seront nettement inférieures à celles réalisées par les étudiants isolés. Dans ce cas, l'effet du groupe semble plutôt négatif, accentuant la difficulté individuelle.

### 3 L'apprentissage par projets

Plusieurs auteurs s'accordent à dire que l'idée de "pédagogie de projet" est un phénomène à la mode dans les institutions formant les futurs ingénieurs, alors que "l'utilisation du projet" comme soutien à l'apprentissage est loin d'être une nouveauté (Lemaître, 2000; Lebrun, 2002). Mais quel que soit son degré d'innovation, le projet, inhérent au métier de l'ingénieur et transposé dans un contexte d'apprentissage, ne pourrait-il servir de cadre motivant pour que les étudiants puissent acquérir graduellement la maîtrise de contenus, de méthodes et d'outils ?

#### 3.1 Intérêt du projet

La littérature abonde d'articles décrivant les nombreux avantages du projet dans les processus d'apprentissage. Pourtant, il semble que l'utilisation du projet, en tant que méthode pédagogique, diffère d'un établissement à l'autre, d'un objectif à l'autre, .... Et par conséquent, nous rencontrons aussi multitude de dénominations telles que, par exemple, "pédagogie du projet", "pédagogie par le projet", "former pour le projet", "former aux projets", "former avec des projets", .... etc. Une synthèse et une classification intéressante des différentes dénominations sont proposées par de Theux, Jacqmot, Milgrom et Raucent, et nous incite à mieux définir ce que nous entendons par "utilisation du projet" dans le contexte d'apprentissage (de Theux, Jacqmot, Milgrom & Raucent, à paraître).

Lemaître présente l'intérêt porté aux projets par la manière actuelle d'organiser le travail en entreprise. Les ingénieurs doivent pouvoir travailler en équipe, gérer le temps de développement du projet, modéliser la réflexion initiale, maîtriser les contenus et outils nécessaires à sa réalisation,... etc. Les entreprises attendent des jeunes diplômés qu'ils soient très vite opérationnels et qu'ils maîtrisent des connaissances pratiques (Lemaître, 2000). Dès lors, pourquoi ne pas fournir aux étudiants, en cours de formation, le même cadre que celui qu'ils rencontreront dans le monde du travail ?

Mais pour Lemaître, parler de pédagogie de projet est ambigu. La première ambiguïté vient de l'enseignant lui-même. Souvent spécialiste dans un domaine précis, il cède rapidement à la tentation du dirigisme et recadre le projet dans la discipline qu'il maîtrise le mieux. La seconde ambiguïté de la pédagogie du projet est la contextualisation du projet de l'étudiant. Le projet est vu comme méthode pédagogique et donc son environnement est inévitablement borné par l'institution et par les objectifs des enseignants. Les étudiants doivent donc d'abord entrer dans

l'idée de ce que l'on attend d'eux et ne peuvent, comme ils le feraient dans la vie professionnelle, se projeter dans un univers où les limites seraient à redéfinir (Lemaître, 2000).

Pour ce même auteur, quelques conditions doivent être réunies, pour que la pédagogie de projet forme efficacement les étudiants. Le projet proposé doit valoriser la projection intellectuelle des étudiants, c'est-à-dire que ceux-ci doivent pouvoir inventer, innover, faire preuve d'imagination, aller vers de l'inédit, comme dans la réalité professionnelle. Il doit porter sur des problèmes à construire et non des problèmes déjà écrits et à résoudre. L'étudiant doit être libre de son exploration et d'en fixer les limites. Enfin, le projet doit, au moins, avoir des caractéristiques "d'exemplarité" (chaque fois neuf et unique) et "d'opérativité" (ne pas être virtuel mais bien réel).

Vu la difficulté à définir cette "pédagogie de projet", Perrenoud préfère parler de "démarche de projet" en essayant de déterminer "à quoi elle sert". Pour ce faire, il propose une dizaine d'objectifs à prendre comme points de repères. Ceux-ci sont aussi bien de type disciplinaire que comportemental tels que, par exemple :

- entraîner la mobilisation de savoirs et savoir-faire acquis, construire des compétences;
- provoquer de nouveaux apprentissages;
- permettre d'identifier des acquis et des manques dans une perspective d'auto-évaluation et d'évaluation-bilan;
- développer la coopération et l'intelligence collective;
- développer l'autonomie et la capacité à faire des choix et à les négocier.

Les démarches de projets devraient idéalement poursuivre l'un ou l'autre de ces objectifs, de manière spécifique et sans ambition démesurée (Perrenoud, 1999).

Dans un article plus récent, Perrenoud insiste sur la dimension collective de la démarche et sur la production finale concrète. Il considère la démarche de projet comme une "ruse pédagogique". Le projet doit évidemment permettre d'apprendre, mais cet apprentissage est vu comme un "bénéfice secondaire". Pour les étudiants, c'est la réalisation, la production qui prime, au point d'en oublier l'apprentissage. Et c'est cet "oubli" qui favorise l'apprentissage (Perrenoud, 2003). Monsieur Jourdain ne faisait-il pas de la prose sans le savoir (Molière, *Le bourgeois gentilhomme*) ?

Pour Lebrun, le terme "projet" a un double sens : d'une part, il est un moyen (la démarche à effectuer, l'intention) et, d'autre part, il est un but (le produit à fournir). Il

y a donc à la fois un processus et une réalisation concrète. En pédagogie, cette dualité se traduirait par deux approches : la pédagogie *du* projet (dont l'objectif est la "mise en place d'une démarche permettant à l'étudiant de se mettre en projet") et la pédagogie *par le* projet (dont l'objectif est l'acquisition de savoirs et savoir-faire débouchant sur la réalisation concrète d'un produit). Mais Lebrun précise bien que dans le premier cas il peut y avoir production (un nouveau projet, par exemple) et que le second n'est pas dépourvu de démarche (Lebrun, 2002). Il est donc difficile de scinder clairement les deux approches.

L'idée maîtresse retenue à l'UCL, pour définir l'apprentissage par projets, est d'utiliser le potentiel de l'étudiant, en le mettant en situation de besoin d'apprentissage, en lui proposant des défis (le projet) et en utilisant le groupe comme moteur. Le projet peut être vu multi- ou mono-disciplinaire (plutôt appelé problème, dans ce cas), de grande ou petite envergure. Il est organisé autour de l'énoncé d'un *problème ouvert d'ingénierie*, inspiré de la pratique professionnelle, susceptible d'être abordé de plusieurs manières et ayant potentiellement plusieurs solutions correctes.

Quelles que soient les différences entre les termes rencontrés et même les objectifs poursuivis, un dénominateur commun peut se dégager de la volonté d'utiliser le projet dans le processus d'apprentissage. Dans tous les cas, il s'agit de proposer aux étudiants le contexte d'une situation proche de la réalité professionnelle, pour développer de nouveaux acquis, aussi bien relatifs à des contenus qu'à des compétences à acquérir (de Theux & al., à paraître).

Pour Romainville et Donnay, "les processus individuels et collectifs de recherche, d'exploration de la documentation et de communication, ainsi que la réflexion sur le processus lui-même (métacognition) sont aussi importants que la solution" (Romainville & Donnay, 1999). Il convient donc de dépasser la seule maîtrise des savoirs propres à une discipline, mais bien de profiter d'un cadre plus complexe pour mettre en relation différentes disciplines. Pour Roegiers, le projet doit "rendre interdépendants différents éléments qui étaient dissociés au départ, en vue de les faire fonctionner d'une manière articulée en fonction d'un but donné" (Roegiers, 2000). Pour Schmidt et Moust, cette approche par projet est une forme de constructivisme, puisque les étudiants y construisent leurs propres connaissances (Schmidt & Moust, 2000). Et ceci est important, si l'on repense aux nécessités d'autoformation auxquelles seront confrontés les étudiants, dans leur vie professionnelle. On voit d'ailleurs dans l'utilisation des projets, une concrétisation pédagogique de l'autoformation (Carré, Moisan & Poisson, 1997).



### 3.2 Impacts de l'apprentissage par projets (APProj)

Bon nombre de communications pédagogiques ont abordé le sujet de l'apprentissage par projets. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous pouvons relever quelques impacts intéressants de cette approche.

#### Du point de vue des étudiants

D'après l'expérience pratique de Romainville et Donnay, les étudiants apprennent plus que des matières et sont de plus en plus réticents à mémoriser par cœur, dans un contexte d'apprentissage par projets. Ils montreraient aussi une plus grande motivation. Il semblerait que la capacité à résoudre des problèmes, qu'acquière les étudiants, se transférerait dans la vie de tous les jours. Les connaissances ainsi acquises auraient une durée de vie supérieure à celle rencontrée dans une démarche classique (Romainville & Donnay, 1999), du moins si l'on accepte l'hypothèse que cette méthode pédagogique soit de type constructiviste (Schmidt & Moust, 2000).

Enfin, le travail en équipe serait favorisé et les étudiants auraient davantage confiance dans leurs apprentissages autonomes (Romainville & Donnay, 1999). En revanche, la planification des activités exige, de la part des étudiants, un temps supplémentaire non négligeable et qu'il convient de prendre en compte.

#### Du point de vue des enseignants

Pour Romainville et Donnay, le plaisir de transmettre son savoir prend une autre forme que les professeurs apprécient. Ils soulignent aussi l'interdisciplinarité, l'évaluation constante, le travail en équipe d'enseignants, le partage des responsabilités de préparation et d'encadrement. Le rapport aux étudiants et au savoir de base sont aussi différents. Les enseignants sont des personnes-ressources, garants du savoir et des règles (Romainville & Donnay, 1999). Perrenoud parle, dans ce cas, du "partage du pouvoir" (Perrenoud, 2003), étudiants et enseignants prenant chacun une part de responsabilité dans la relation d'apprentissage-enseignement.

Quant au degré d'expertise des enseignants (tuteurs), il semble discutable. Des études contradictoires coexistent, bien que la majorité d'entre elles semblent affirmer que l'expertise du tuteur est un facteur favorisant une meilleure réussite des étudiants, dans le cadre de l'apprentissage par projets. Une recherche menée à l'université de Maastricht, sur plusieurs programmes de quatre années de formation, plaide plus précisément en faveur des tuteurs "experts", surtout en première année de

formation (Schmidt, Van der Arend, Moust, Kokx & Boon, 1993). Mais, pour Annette Kolmos<sup>27</sup>, une double expertise semble nécessaire : une connaissance technique du projet et des compétences méthodologiques, de manière à gérer correctement le processus d'apprentissage. La bonne formation des tuteurs est une condition de réussite de l'APProj.

Enfin, notons que la vigilance du tuteur est importante pour assurer la bonne progression des étudiants, ce qui est une des difficultés de ce type d'approche. Il n'est pas aisé, pour le tuteur, de bien équilibrer ses interventions.

#### A propos de la tâche

Le sujet proposé doit être de qualité, adapté au niveau de connaissance des étudiants auxquels il est soumis. Il doit être clair, sans donner de solution, mais sans complexité exagérée. La qualité du projet semble avoir un impact positif, non négligeable, sur le temps passé par les étudiants à l'activité et sur l'intérêt qu'ils portent au sujet (Schmidt & Moust, 2000).

Frenay et Bédard parlent de l'importance de "l'authenticité du contexte". En effet, un des problèmes majeurs de l'enseignement universitaire réside dans la capacité (ou l'incapacité ?) qu'ont les étudiants à transférer leurs connaissances en situation réelle, hors cadre de formation. Et s'il est difficile de définir les conditions idéales du transfert, les auteurs proposent toutefois une piste de réflexion dans *l'apprentissage et l'enseignement contextualisés authentiques*. Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce concept, mais nous en retiendrons un des éléments clés : il consiste à proposer des activités d'apprentissage issues d'un contexte le plus authentique possible, le plus proche possible de la réalité professionnelle. Ces activités devraient répondre à une série de critères dont la pluridisciplinarité des contenus, la proposition de situations complètes et complexes, etc. (Frenay & Bédard, sous presse). L'impact de cette méthode résiderait donc principalement dans un meilleur transfert de connaissances.

## 4 Conclusion

Nous venons de passer en revue deux dispositifs pédagogiques de méthodes actives qui, mis en place, nous permettraient peut-être d'augmenter les performances des

---

<sup>27</sup> Kolmos, A. (2003), *Problem-based learning, process skills and supervision - A challenge for university teaching* Chaire de pédagogie universitaire, séance d'ouverture, Louvain-la-Neuve. Novembre 2003.

étudiants, à l'issue des futurs cours de DAO et apporter des solutions aux problèmes méthodologiques rencontrés.

En général, les études s'accordent à dire que la résolution de problèmes complexes est facilitée quand on interagit avec d'autres personnes, plutôt qu'en étant seul. Et spontanément, nous avons observé de tels comportements auprès de certains étudiants (voir page 36). Notons globalement que le travail en groupe pourrait aider les étudiants à mieux maîtriser certains contenus, suite aux discussions établies au sein du groupe. Au contact de leurs pairs, grâce à une meilleure gestion du temps et une prise en charge mieux ciblée des enseignants, les étudiants pourraient développer une méthodologie de travail plus adaptée. Enfin, cette manière de travailler permettrait de développer, parallèlement, chez les étudiants, des comportements sociaux et méthodologiques nécessaires à la poursuite de leurs études et de leur future carrière.

Pour cela, il faut réunir quelques conditions de type cognitif, mais aussi de type social. Et là, le rôle de l'enseignant, ses connaissances et ses comportements semblent fondamentaux.

En mettant en évidence la nature de la tâche, l'apprentissage basé sur le projet apporterait lui aussi un certain nombre d'avantages, en termes de motivation, transfert, situation réelle, multidisciplinarité, ...

Plus que de la matière, l'étudiant aurait l'occasion d'y développer une série de compétences, entre autres nécessaires à l'exercice de sa profession. L'apprentissage serait favorisé par le choix de la tâche, mise en situation plus proche de la réalité professionnelle. Du côté des enseignants, nous soulignerons leur nouveau rôle de personne ressource, tuteur, concepteur des ressources et organisateur des conditions d'apprentissage, plutôt que seul diffuseur de connaissances.



## Chapitre 3 : Outils technologiques favorisant l'apprentissage autonome

---

Après avoir passé en revue quelques dispositifs pédagogiques de méthodes actives, tournons-nous du côté des outils d'aide à l'apprentissage autonome et à la construction d'environnements d'apprentissage.

Quel rôle peuvent jouer les technologies dédiées à l'apprentissage, dans les dispositifs pédagogiques décrits précédemment ? Quelles sont les qualités nécessaires, tant à l'outil qu'à son concepteur, qui assureraient un meilleur développement de l'autonomie chez les étudiants ?

### 1 Les "machines à enseigner"

Plusieurs dispositifs matériels et méthodologiques ont déjà été imaginés puis testés, dans le but, d'une part, de développer davantage l'autonomie des étudiants et d'autre part, d'aider le formateur dans sa tâche.

Parmi les plus anciens, citons l'emploi du "syllabus"<sup>28</sup> (et plus généralement du livre). Il est une présentation du contenu et des objectifs d'un cours pouvant comprendre, entre autres, des indications d'ordre méthodologique, une bibliographie, des exercices d'applications, les modalités de participation aux cours, ainsi que les modalités d'évaluation des apprentissages<sup>29</sup>. Rédigé par le formateur, dans la plupart des cas, le syllabus a pour intérêt de garder une trace écrite de ce qui doit être acquis à l'issue des cours. Selon les situations, il est une reproduction exacte des concepts exposés aux cours ou un complément d'informations. Dans tous les cas, il permet à l'étudiant, d'une part, de cibler le sujet de l'apprentissage mais aussi, d'autre part, de

---

<sup>28</sup> Le terme n'est pas accepté partout. On peut lui préférer l'appellation "plan de cours", "notes de cours", "polycopiés", ... "Syllabus" est un belgicisme dont la définition est "cours condensé, destiné aux étudiants" (*Belgicisms*, Duculot, 1994).

<sup>29</sup> Définition en partie issue du site <http://www.granddictionnaire.com/>.

manipuler un support physique, sur lequel il peut ajouter ses commentaires personnels, surligner, etc.

Du côté de ses désavantages, le syllabus ne subit pas toujours de remise à niveau au fil des années. Les contenus changent, la manière de les aborder aussi. La mise à jour peut être coûteuse et longue; or, sans elle, l'outil perd de son sens. A l'usage du syllabus, l'étudiant ne reçoit aucune rétroaction en cours d'apprentissage. Si des exercices sont proposés, soit les solutions ne sont pas éditées, soit elles figurent en fin de chapitre, tel un glossaire de solutions. La tentation est grande, dans ce dernier cas, de lire d'abord la solution d'un problème, avant même de tenter de le résoudre. L'étudiant lit généralement le syllabus, page après page. Il lui est difficile de sauter d'un passage à un autre, si ceux-ci ne sont pas contigus (perte de la page, perte du contexte, confusion dans les schémas, situés ailleurs que sous les textes qui y font référence, ...). Son emploi est principalement linéaire, mais reste apprécié pour son côté matériel et rassurant.

Pour développer davantage l'individualisation de l'apprentissage, le renforcement positif des acquis et la vérification immédiate des résultats de l'apprenant, des enseignants et des pédagogues ont introduit, il y a quelques décennies, l'enseignement programmé. Il "se présente comme une méthode individuelle d'auto-instruction, qui tend à solliciter largement l'activité de l'élève et qui veille à assurer la progressivité et le contrôle permanent de l'apprentissage." Dans ce contexte, l'apprenant n'est pas en situation d'autodidacte, hors d'un cadre scolaire, mais il effectue son activité d'apprentissage sans l'intervention simultanée d'un maître (Houziau, 1972).

La méthode des fiches progressives de Freinet a été une des premières réalisations, dans les années 1920, puis se sont développés les livres programmés. Ils sont un moyen économique et très répandu dans les années 60-70, mais présentent de nombreuses limites. Selon les versions, ceux-ci proposent à la fois des concepts théoriques et des exercices. En fonction des réponses fournies à ces exercices, l'apprenant est dirigé vers l'un ou l'autre chapitre et ainsi de suite. Selon le niveau de compétence atteint par le lecteur, certains chapitres et exercices sont ou ne sont pas à traiter. Ils offrent à la fois des exercices "adaptés" aux acquis et au rythme d'apprentissage propres à l'apprenant et une redirection individualisée. Mais, aux problèmes posés, ils fournissent des solutions simples et surtout stéréotypées, sous diverses formes typographiques, pour décourager leur lecture avant toute tentative de résolution (cache de la moitié des pages, solutions au verso des énoncés, solutions imprimées à l'envers, etc.). Certains auteurs ont été jusqu'à écrire des livres brouillés, c'est-à-dire tout à fait désordonnés si on entame une lecture linéaire.

Houziau en donne quelques exemples pratiques, dans son ouvrage consacré à l'enseignement assisté par ordinateur (Houziau, 1972).

On y retrouve aussi, déjà dès la fin des années 1920, les premières "machines à enseigner" rudimentaires, que certains vont jusqu'à qualifier de simples "machines à tourner les pages !" (Houziau, 1972). Le "moniteur à tâtonnements" de Pressey (dans les années 1920) est considéré comme le précurseur de l'enseignement programmé<sup>30</sup>. Cette "machine" a pour but de faire passer des tests aux étudiants. Sa structure est linéaire, c'est-à-dire qu'elle présente une suite d'énoncés à résoudre et un choix multiple de réponses. L'apprenant sélectionne la solution qu'il pense correcte pour le premier exercice. La machine ne propose la question suivante que si la réponse fournie est correcte et ainsi de suite. Tous les étudiants passent rigoureusement par le même chemin. Cette manière de travailler, à l'aide de la machine, a les premières caractéristiques attendues de ce type de méthode : elle tente de motiver l'apprenant, la matière y est morcelée permettant un apprentissage progressif, elle entraîne une adaptation au rythme de travail de chacun, ....

Dans les années 1960 et suivantes, il semble que deux grands courants s'opposent, en matière d'enseignement programmé. En voici, brièvement, quelques grandes lignes :

La méthode de Skinner, de tendance behavioriste, se base sur une avance linéaire de l'apprentissage et une découpe de la matière en très petites parties, permettant des questions simples, dont il est très aisé de trouver la solution. Skinner préconise un échange continu entre la machine et l'apprenant, pour soutenir sa motivation et son activité. La machine doit insister jusqu'à s'assurer que chaque point est parfaitement compris, avant de passer au développement suivant. Elle ne pose que des questions auxquelles l'apprenant est assuré de pouvoir répondre et l'aide à fournir cette solution exacte, par diverses techniques d'amorce, d'allusion, etc. Enfin, la machine doit renforcer les acquis en fournissant un feed-back immédiat à l'apprenant. Skinner bannit l'erreur et rejette donc le modèle de machine de Pressey, dans lequel les questionnaires à choix multiples proposent, en plus de la bonne réponse, une série de propositions fausses.

A l'opposé de Skinner, Crowder attache une importance capitale à la valeur pédagogique de l'erreur. Elle doit être prise en compte, traitée puis corrigée. Il se

---

<sup>30</sup> Certains auteurs parlent "d'enseignement automatisé", en référence aux dispositifs électro-mécaniques qu'il met en jeu (Houziau, 1972); d'autres parlent de "field instructional system" pour "système d'enseignement sur place ou sur le tas" ou "système d'enseignement d'accès direct" (Barbey, 1971).

tient donc davantage dans la lignée des constructivistes, pour qui l'apprentissage se construit sur base des connaissances déjà acquises et des nouvelles informations, sans craindre les allers-retours. Crowder, contrairement à Skinner, se méfie d'une progression lente et à petits pas de l'apprentissage. En effet, il prétend que répondre correctement à l'ensemble des questions posées par les machines de type "skinnérien" ne garantit pas l'exactitude du raisonnement. Il n'est pas rare, en effet, de rencontrer des étudiants fournissant la réponse exacte à un exercice, alors que leur raisonnement est totalement faux. Les machines de Crowder posent donc des questions pour lesquelles les solutions ne sont pas toujours immédiates. Elles proposent un ensemble de réponses possibles, parmi lesquelles l'apprenant doit choisir. Si la réponse fournie est correcte, la machine, en plus de le signaler, explique pourquoi elle était le bon choix. C'est le renforcement immédiat, le feedback positif. En cas d'erreur, la machine propose une correction ou un chemin alternatif, puis renvoie l'apprenant sur le chemin initial.

Les machines à enseigner ont eu un succès mitigé pour diverses raisons, qu'elles soient économiques ou par manque de sérieux dans la construction de celles-ci. Piaget en parle en 1969 en ces termes : "(...) les méthodes d'enseignement programmé sont dévalorisées d'avance par le fait que, au lieu de construire des programmes adéquats (...), on se borne à transposer le contenu des manuels courants et des pires des manuels" (Piaget, 1969).

Dans les années 60, on dénombre toutefois une centaine de machines à enseigner, dont certaines disposent déjà d'un projecteur cinématographique pour diffuser des films en continu ou des diapositives et un magnétophone. Une revue intéressante de quelques modèles de machines est présentée dans l'ouvrage de Houziau<sup>31</sup> (Houziau, 1972).

En bref, ces machines se résument presque exclusivement à une présentation de questions et leurs réponses stockées dans un système, tout juste capable de déclarer la solution de l'utilisateur correcte ou erronée. Ces outils sont de véritables banques d'exercices, visant à générer des comportements d'imitation auprès des étudiants. Ils développent surtout des compétences de base (opérations arithmétiques, conjugaison, vocabulaire de langue étrangère, ...) dans des matières où le renforcement immédiat et le drill sont des valeurs sûres.

---

<sup>31</sup> On y retrouve des détails concernant quelques machines plus connues dans le domaine telles que les Konzept-O-Graph, Honor Teaching Machine, Autotutor Mark II, Mitsi 2023, ....etc, dont la description sort du cadre de ce travail.



Le concept d'enseignement programmé était pourtant prometteur. On le voyait comme une aide au formateur, un outil d'enseignement individualisé, respectant les rythmes d'apprentissage, ... Mais les enseignants se sont aperçus du caractère figé de l'outil. Les machines étaient trop lentes, trop peu puissantes et pas toujours faciles à utiliser. Elles n'étaient pas adaptées aux besoins individualisés des apprenants (Lou & al., 2001). Barbey considère que "ces machines ne peuvent prendre en charge que des savoirs positifs et non la réflexion sur ces savoirs, domaine dans lequel le maître retrouve toute sa présence" (Barbey, 1971). En effet, il est extrêmement difficile de concevoir une suite complète d'exercices et d'explications théoriques, adaptable au rythme et aux capacités de chaque étudiant, de s'assurer du caractère individualisé<sup>32</sup> de l'apprentissage, de prévoir tous les cheminements possibles et le raisonnement des apprenants, avec des machines rudimentaires. Barbey insiste en se demandant toutefois si les reproches apportés aux technologies de l'enseignement ne sont pas tout simplement à adresser à l'enseignement (Barbey, 1971). Nous y reviendrons.

Enfin, les pédagogues et bon nombre d'enseignants ont pris de la distance par rapport à ce type d'enseignement jugé limité. Mais parallèlement, l'évolution des techniques a permis de rêver à autre chose. En effet, l'arrivée massive de l'ordinateur dans les processus de formation a ouvert de nouveaux horizons. Basés, au départ, sur les mêmes principes que l'enseignement programmé, de nouveaux outils dédiés à l'apprentissage ont été créés. On parle désormais d'enseignement assisté par ordinateur.

L'enseignement assisté est une forme d'enseignement programmé, mais vu les moyens considérables qu'il met en œuvre, il peut prétendre à d'autres niveaux d'efficacité. L'emploi de l'ordinateur apporte d'énormes avantages, tant à l'enseignant qu'aux étudiants. Par rapport au syllabus, il offre non seulement la liberté du rythme d'apprentissage, mais aussi les possibilités de l'hypertexte, permettant de naviguer plus facilement que dans un livre (historique du parcours). Les solutions aux exercices peuvent réellement être cachées, évitant toute tentation de lecture prématurée (cas des livres programmés). Par rapport aux anciennes machines à enseigner, l'emploi de l'ordinateur a d'énormes facilités de programmation et de modification (les langages de programmation étant mieux adaptés). Ceci permet, au formateur, d'ajuster régulièrement les produits aux besoins des apprenants. Grâce à ses capacités mémoires considérables, à sa puissance de calcul, à sa vitesse et à ses possibilités de mener en parallèle des processus de différentes natures, l'outil

---

<sup>32</sup> Ne pas confondre la notion d'apprentissage individualisé et celle d'apprentissage individuel. Nous parlons d'enseignement individualisé lorsque l'enseignant ou le dispositif mis en place s'adapte personnellement à l'apprenant. Nous parlons d'apprentissage individuel lors d'une prise en charge autonome de l'apprentissage, par l'apprenant lui-même.

informatique peut davantage individualiser l'apprentissage (texte, son, image, animation, ...) et gérer une réelle interactivité. Enfin, il permet d'accéder à de nombreuses autres ressources documentaires et, si nécessaire, il permet la délocalisation de l'enseignement.

Les outils d'enseignement assisté se développent en grand nombre depuis les années 1970, sous diverses appellations. Ils ont tous pour points communs de décharger l'enseignant des phases fastidieuses de son travail et de réaliser, à sa place, des tâches qui lui sont difficiles voire impossibles. Mais, en aucun cas, l'utilisation de l'ordinateur dans la relation pédagogique n'a pour objectif de remplacer l'enseignant ni donc de prendre en charge toute la fonction d'enseignement. Barbey en faisait déjà écho, il y a une trentaine d'années et, malgré l'évolution fulgurante des machines, il nous semble que cette opinion soit toujours d'actualité. "L'enseignement et l'éducation sont moins une affaire de connaissances qu'une affaire de mise en ordre, de mise en relations, c'est-à-dire une affaire de réflexion. Or, une réflexion met en jeu l'être tout entier [...] Et il ne saurait être question que l'homme abandonne ses prérogatives proprement humaines devant la machine" (Barbey, 1971). Et d'ajouter tout simplement que dans l'expression "enseignement assisté par ordinateur", la présence humaine est explicite dans le terme "assisté" (Barbey, 1971).

## 2 Aide technologique à la formation

Actuellement, beaucoup de définitions, et donc de sigles, coexistent dans la plus grande confusion, pour identifier ces outils d'aide à l'enseignement, faisant appel aux technologies informatiques.

D'après un ouvrage collectif sous la direction de Naymark, les termes<sup>33</sup> utilisés reflètent, en partie, les modes et évidemment les contextes dans lesquels ils sont appliqués (Naymark, 1999). Ainsi, on parle d'EAO (enseignement assisté par ordinateur) dans les années 60-70. Le sigle API (application pédagogique de l'informatique) a ensuite été préféré, car on n'y voyait pas, comme dans l'EAO, une suprématie de la fonction d'enseigner, par rapport à la fonction d'apprendre (transmettre est-il plus important qu'acquérir ?). En même temps, les Canadiens utilisaient le terme d'APO (application pédagogique de l'ordinateur). Certains auteurs parlent plutôt d'AAO (apprentissage assisté par ordinateur).

---

<sup>33</sup> La plupart des sigles cités ont leur équivalent en langue anglaise. Nous nous limitons volontairement aux expressions françaises.

Pour insister sur le caractère "intelligent" de l'outil, capable d'analyser les réponses fournies par l'utilisateur, on est allé jusqu'à parler d'EIAO (enseignement intelligemment assisté par ordinateur).

Dans les années 80, on parle de NTI (nouvelles technologies de l'information) puis de NTIC (nouvelles technologies de l'information et de la communication), terme toujours d'usage en 2003. Naymark s'interroge d'ailleurs, à juste titre, sur la pertinence de la lettre "N", en ce début de troisième millénaire. Est-ce toujours vraiment nouveau, après 20 ans d'utilisation ?

Quelques années plus tard, le vocable TIC (technologie de l'information et de la communication) puis TICE (technologie de l'information et de la communication pour l'enseignement) sont introduits. Ces dénominations semblent plus neutres, ne prenant pas parti sur quelque option pédagogique que ce soit. NTE (nouvelles technologies éducatives), NTF (nouvelles technologies de la formation) et NTIF (nouvelles technologies de l'information et de la formation) se retrouvent dans la même foulée.

Dans les années 90, le son et l'image numériques viennent compléter une panoplie de médias déjà bien présents. On parle alors, tout simplement, de multimédia puis de multimédia de formation, avec toutes les ambiguïtés portées par le terme "multimédia", nous y reviendrons. Lebrun, quant à lui, utilise le vocable de "technologie pour l'éducation" (Lebrun, 1999). Alors que 30 ans plus tôt, le terme de "technologie", propre à l'industrie, mêlé à celui "d'enseignement" ou "d'éducation" "blessait les oreilles" de Barbey (Barbey, 1971)! Qu'importe ... le tout étant de savoir de quoi l'on parle. Et dans ces appellations aussi, on en rencontre des différences : on parle de multimédia, de multimédia interactif, d'hypermédia, ...

Et si, comme le souligne Duchâteau<sup>34</sup>, on parlait tout simplement de l'EAO, élève - ou étudiant - acteur grâce à l'ordinateur ?

*Que se cache-t-il derrière ces termes ?*

Si les premiers logiciels destinés à l'enseignement assisté par ordinateur ressemblent à s'y méprendre aux anciens livres de cours programmés des années 1960, force est d'admettre qu'ils ont rapidement évolué.

---

<sup>34</sup> Duchâteau, C., (2000), *Pourquoi l'école ne peut intégrer les nouvelles technologies*. [http://ciel5.ac-nancy-metz.fr/ac-tice/article.php?id\\_article=241](http://ciel5.ac-nancy-metz.fr/ac-tice/article.php?id_article=241), consultation août 2003.

Annoot les définit comme "un *ensemble de didacticiels* eux-mêmes décrits comme des outils informatisés destinés à enseigner, à caractère *interactif*. Ce sont soit des produits d'auto-formation, soit des auxiliaires du formateur, conçus selon le scénario pensé par le formateur" (Annoot, 1994). Redon complète en précisant les catégories d'outils didacticiels multimédias : les tutoriels (exercices et tests), les logiciels de simulation (calculs, simulations de problèmes) et les logiciels navigationnels (présentation de musée, etc.) (Redon, 1996). Dieuzeide considère les NTIC comme "des outils intellectuels qui ont, comme l'écriture et l'imprimerie, permis la diffusion du savoir. Ce n'est pas l'objet qui compte mais le pouvoir qu'il donne" (Dieuzeide, 1994).

Précisons que, quand nous parlons des NTF, ce n'est pas à l'instar des maniaques de l'information ou des publicitaires qui visent exclusivement l'*information*, mais bien en tant qu'outils de *communication*<sup>35</sup>, qui gardent l'étudiant au centre de l'apprentissage. Notons enfin que de nombreux articles des années 90 utilisent encore le terme EAO. C'est pourquoi, nous utiliserons aussi ce sigle dans la suite du texte, même si, chronologiquement, il est un des plus anciens.

Mais derrière ce débat terminologique, quels sont, pratiquement, les effets observés de l'enseignement assisté auprès des étudiants, des enseignants et des contenus ?

### 3 Impacts de l'enseignement assisté

Plusieurs études destinées à prouver l'efficacité de ce type d'enseignement sont contradictoires. Pour Dillenbourg, il est impossible de prouver une amélioration quelconque des acquis lors de l'utilisation d'outils d'enseignement assisté par rapport à un enseignement magistral traditionnel. "Tous les mythes ont la dent dure, mais le mythe de l'efficacité des médias est particulièrement résistant. L'ordinateur ou le Web n'ont pas d'effet intrinsèque sur l'efficacité de l'apprentissage. C'est bien la qualité des activités pédagogiques mises en oeuvre qui en font son efficacité et non l'outil utilisé" (Dillenbourg, Eurelings & Hakkarainen, 2001). Dans la même lignée, M. Grabe et C. Grabe insistent "Just remember : in most cases, effective teaching with technology is effective teaching by any means"<sup>36</sup> (Grabe & Grabe, 1996). Enfin, pour Lebrun, "parler de l'efficience d'un outil pédagogique nécessite de se

---

<sup>35</sup> Pour René Thom, mathématicien et philosophe, l'information est un message diffusé d'un émetteur à un récepteur généralement passif; la communication est l'information en mouvement, échangée, manipulée, impliquant partage et relation à double sens.

<sup>36</sup> "Rappelez-vous : dans la plupart des cas, un enseignement efficace à l'aide de la technologie est un enseignement efficace quels qu'en soient les moyens" (traduction libre).

référer aux méthodes dans lesquelles cet outil prendra place et plus loin encore aux objectifs éducatifs qui les sous-tendent" (Lebrun, 2002).

Il est vrai que bien souvent la méthodologie utilisée, pour tenter de mettre en évidence une efficacité accrue de l'un ou l'autre système, consiste à comparer deux groupes d'étudiants, l'un suivant un cours classique dispensé par un enseignant et l'autre abordant le même contenu, via un outil d'enseignement assisté. On peut comprendre aisément la difficulté (ou le danger) de la comparaison. Si l'outil d'auto-apprentissage et l'enseignant utilisent des méthodes différentes, il semblerait que l'on mesure, dans ce cas, plus l'effet de la méthode que celui du média utilisé. A l'inverse, si une même méthode d'enseignement est respectée, trop d'autres facteurs, tels que l'habileté à utiliser un ordinateur, le matériel disponible dans l'institution, voire même la motivation des étudiants à utiliser ces outils, peuvent influencer la comparaison (Lebrun & Vigano, 1996). Dans ce cas, il est délicat de tirer des conclusions de l'expérience.

Une chose semble commune à tous les chercheurs en éducation sur ce sujet : l'introduction des nouvelles technologies informatiques dans la formation exige une remise à niveau fondamentale de la relation pédagogique. Il faut recentrer l'attention sur l'action d'apprendre, sur l'apprenant lui-même puisque, comme dans les modèles constructivistes, celui-ci redevient "l'artisan" de ses propres apprentissages. Par conséquent, le rôle que détient désormais le formateur est, lui aussi, en mutation : "l'utilité de l'enseignant est ailleurs" (Barbey, 1971).

S'il n'est pas possible de prouver que les dispositifs pédagogiques utilisant l'EAO sont significativement supérieurs aux dispositifs classiques, il est néanmoins intéressant de relever quelques résultats probants, concernant les étudiants, les enseignants et les contenus. Plusieurs recherches ont été menées pour tenter de déterminer l'impact de l'enseignement assisté par ordinateur sur l'apprentissage des étudiants. Dans les lignes qui suivent, nous faisons écho de quelques résultats intéressants.

### 3.1 Auprès des étudiants

Des expériences de Frey soulignent, dans la pratique de l'EAO, de plus grands effets pour des élèves en difficulté d'apprentissage (Frey, 1988). L'auteur en parle comme d'une "pédagogie curative"<sup>37</sup>. Il ajoute toutefois que l'utilisation de l'ordinateur en complément des méthodes classiques modifie positivement l'attitude des étudiants

---

<sup>37</sup> Traduction de "Behindertenpädagogik"

pour la branche enseignée. Ce qui n'est pas négligeable ! A en croire Price, il semble, au contraire, que l'EAO profite autant aux forts qu'aux faibles, en raison de l'autonomie dans le cheminement et l'ajustement des réponses émises. Il semble ne pas y avoir de différences pour les étudiants moyens (Price, 1991). Enfin, Fleury y voit un complément à l'enseignement traditionnel, car une telle addition rend possible un enseignement plus adapté aux différences individuelles (Fleury, 1993).

Des avantages en faveur de la pratique de l'EAO sont clairement décrits par de nombreuses recherches. Ainsi, l'EAO favoriserait la nouveauté et l'enthousiasme, l'individualisation et l'interaction (Cloutier 1992; Chevalier, 2000). Cette pratique pédagogique verrait aussi grandir la motivation des étudiants à apprendre (Ball & Hannah 1984; Cloutier, 1992; Chevalier, 2000, Grégoire & al., 1996). Une expérience sur le terrain effectuée par Dubreuil, Leblanc et Simoneau estime jusqu'à 77% des étudiants préférant utiliser l'enseignement assisté comme stratégie d'apprentissage (Dubreuil & al., 1995). L'usage de l'ordinateur apparaît plus stimulant, provoque davantage le questionnement et la discussion (Hargis, 2000), le plaisir d'apprendre.

Une étude de Zywno, Brimley et White permet de décrire un avantage supplémentaire. Le cours étudié avec l'aide d'outils multimédias (WEB, CD-ROM,...) n'est pas plus facile ou plus difficile que le même cours en enseignement magistral traditionnel, mais la perception de difficulté qu'en auraient les étudiants diminue (Zywno, Brimley & White, 2000). Dans le même ordre d'idées, citons toutefois que la perception d'auto-efficacité (jugée importante pour la motivation), n'est, quant à elle, pas significativement plus élevée dans l'EAO que dans l'enseignement traditionnel (Dubreuil & al., 1995).

Un des résultats marquants cités dans les recherches menées sur le sujet concerne le non isolement des étudiants. Des études ont démontré, contrairement aux idées préconçues, que les apprenants utilisant les nouvelles technologies de la formation se rapprochent et augmentent leur collaboration autour d'un même projet (projet ACOT Dwyer, 1991; McLellan, 1994). Pour Tardif, les apprenants demeurent interactifs sur le plan social et l'on observe davantage d'interactions, non seulement entre eux, mais aussi entre les apprenants et leurs enseignants (Tardif, 1996). Lors du deuxième colloque de l'autoformation, Chevalier confirme que la communication serait accrue entre les apprenants et leurs tuteurs. Il ajoute aussi, comme avantage, une mise en retrait des effets néfastes d'un groupe, tels que des jugements négatifs, des difficultés de socialisation, .... (Chevalier, 2000).

Au niveau de l'investissement temps, les études sont quasi unanimes pour affirmer que la comparaison entre l'enseignement traditionnel et l'EAO est plus souvent favorable à l'EAO, en terme de durée d'apprentissage (Dubreuil & al., 1995). Elles démontrent un meilleur rendement en ce qui concerne l'augmentation des notes de cours, par rapport à la diminution du temps de travail (Kulik, Kulik & Cohen, 1980). Hannafin et Peck vont même jusqu'à considérer que l'apprentissage autonome, via un ordinateur, prendra 40% moins de temps à un étudiant moyen que s'il est transmis sur papier (Hannafin & Peck, 1988).

Mais les étudiants ne se contentent pas d'apprendre plus vite. Il semblerait qu'ils en font plus. Une revue de la littérature de Grégoire, Bracewell et Laferrière conclut que "le temps d'attention soutenue ou de concentration que la majorité des étudiants sont prêts à consacrer à des activités d'apprentissage est plus élevé lorsqu'ils utilisent une technologie nouvelle que dans le cadre et avec les moyens traditionnels". Ceci pourrait s'expliquer par différents facteurs : les étudiants peuvent progresser à leur propre rythme, ils reçoivent assez rapidement une rétroaction de leur travail, ils aiment, tout simplement, travailler sur ordinateur (Grégoire, Bracewell & Laferrière, 1996). Et l'on retrouve une nouvelle fois ce "plaisir d'apprendre" cité précédemment.

Enfin, si les produits sont disponibles sur le réseau, un des avantages de l'utilisation des nouvelles technologies pour l'enseignement est d'être accessible à tous, même pour les apprenants géographiquement éloignés<sup>38</sup>. Lewis et O'Brien parlent, dans ce cas, de "replacement of a physical university with a virtual university" (Lewis & O'Brien, 1998). Mais ceci sort du cadre de notre travail.

Si nous pouvons conclure à quelques effets positifs auprès des étudiants utilisant les technologies de l'informatique (motivation, enthousiasme, respect du rythme, etc.), qu'en est-il auprès de leurs enseignants ?

### 3.2 Auprès des enseignants

L'introduction de nouvelles technologies de la formation dans les dispositifs pédagogiques implique des changements, non seulement pour les étudiants habitués à recevoir passivement, mais aussi pour les formateurs habitués à transmettre un savoir, selon un schéma bien structuré.

---

<sup>38</sup> La formation à distance sort du cadre immédiat de notre recherche, mais nous y reviendrons dans les extensions possibles à donner à nos outils.

Dans ce contexte, Annoot recense plusieurs catégories de formateurs (Annoot, 1994) : les moteurs du changement, les conservateurs et les franchement réfractaires. Il est vrai que l'introduction de nouvelles méthodes de travail dans l'enseignement est un véritable bouleversement, tant du point de vue de la pratique pédagogique que de l'organisation du temps, la répartition du travail, la gestion de l'équipement, la vie au sein d'une équipe enseignante, ... Le formateur doit être préparé aux nouveaux rôles qui lui sont désormais attribués.

Pour Nathan Scott et Brian Stone, "a computer-based teaching method can only succeed where staff are energetic and enthusiastic" (Scott & Stone, 1998). L'énergie et l'enthousiasme au changement sont certes nécessaires à l'enseignant qui décide de s'impliquer dans les nouvelles technologies de la formation (les NTF), comme d'ailleurs à tous ceux qui, plus généralement, décident d'adopter de nouveaux dispositifs pédagogiques. Mais cela n'est pas suffisant. Pour Annoot, les nouveaux types de formateurs (NTF !) doivent, non seulement faire preuve de bien d'autres qualités, mais aussi développer de nouvelles compétences, agir différemment et, bien entendu, y trouver eux-mêmes un avantage (Annoot, 1994).

En utilisant des outils issus des nouvelles technologies dans le processus didactique, l'enseignant va libérer un peu de son temps de parole en classe, c'est-à-dire réduire la durée de ses exposés magistraux (Laferrière, 1997). Ceci aurait au moins deux conséquences. L'une consisterait, pour l'enseignant davantage disponible, à consacrer ce temps de classe à d'autres activités (telles qu'un suivi individualisé, la gestion d'un groupe, etc.). L'autre conséquence serait de concevoir ses outils, prévoir ses interventions, se tenir informé, se mettre à niveau, ... tâches de plus en plus pointues et exigeantes, réalisées dans les coulisses.

L'enseignant ne se contente plus de diffuser un savoir de manière passive. Il légitime les actions entreprises, conçoit les séances, les anime et participe à leur évolution (Annoot, 1994). Il donne un feed-back aux étudiants (sous forme d'évaluation formative). De "communicateur", il devient un "guide" et Fleury y voit plus une valorisation qu'une dévalorisation (Fleury, 1993). En tant qu'expert, l'enseignant est une personne-ressource pour les étudiants. Il les aide, éventuellement, dans des recherches, apporte sa propre expérience, son analyse du problème, ses connaissances ...

Un des nouveaux défis de l'enseignant est d'accorder à chaque étudiant, ou à chaque groupe d'étudiants, toute l'attention requise et tenter de diagnostiquer les points forts et les points faibles de ceux-ci (Charlier & al., 1999). L'enseignant peut ensuite exploiter ces observations pour réagir aux besoins des étudiants. Il prend des



initiatives et fait des propositions. Il consacre son "temps libre" à l'écoute, à la remédiation, au rattrapage des étudiants en difficulté. Il différencie son enseignement en fonction des attentes, faisant toujours preuve d'une polyvalence didactique. Grâce à cela, l'enseignant donne une nouvelle dynamique à l'apprentissage. Il devient un véritable catalyseur (Lebrun & Laloux, 1996), capable de synthétiser les problèmes de chacun, d'engager le dialogue (Laferrière, 1997), et de relancer le débat. Selon les cas, il joue aussi le rôle du modérateur, en rappelant des consignes, établissant une critique du travail, réajustant l'apprentissage, restructurant des acquis, ....

"Les NTF sont des supports auxiliaires du formateur. Loin de conduire à l'effacement du métier de formateur, l'introduction des NTF, dans ses pratiques pédagogiques, entraîne la reconnaissance de son statut de praticien, aussi bien dans le domaine de l'animation d'actions pédagogiques que dans celui de la conception des didacticiels" (Annoot, 1994). L'enseignant conçoit l'ensemble des ressources mises à disposition des étudiants (Gauthier, 2001). Il crée des environnements d'apprentissage (Laferrière, 1997). Dans une méthode privilégiant l'enseignement à l'apprentissage, l'enseignant était l'expert, transmetteur d'un savoir. Avec l'emploi des NTF, l'accent est davantage mis sur la construction des connaissances. Dans ce cas, l'enseignant devient un médiateur, un collaborateur, parfois lui-même un apprenant (Tardif, 1996). Il devient un facilitateur de l'apprentissage.

L'enseignant organise les connaissances pour éviter la "noyade cognitive". "Il est crucial qu'il y ait des moments, dirigés par l'enseignant, où les connaissances sont prises en considération hors contexte, où les connaissances sont rendues explicites" (Tardif, 1996). Ces moments privilégiés sont destinés à la remise à niveau, à la restructuration des connaissances. Il ne suffit pas d'établir l'inventaire des nouveaux acquis des étudiants en leur présence, mais bien de les réorganiser, faire des liens, etc. D'un autre côté, il est aussi important que l'enseignant puisse se taire. Pour Carré, Moisan et Poisson, "il ne faut pas enseigner trop vite à un apprenant isolé un savoir qu'il peut acquérir de façon autonome ou coopérative. Le travail en tête-à-tête entre apprenant et formateur est réservé à la guidance, au conseil méthodologique et porte le moins possible sur la transmission de connaissances. En cas de blocage, l'orientation vers d'autres supports, vers un changement de méthode, vers une proposition d'atelier ou d'enseignement mutuel est plus fécond, à terme, qu'une réponse de type *petit cours particulier*" (Carré, Moisan & Poisson, 1997). Et c'est là tout l'art de l'enseignant : qu'il veille à garder un bon équilibre entre ses interventions, le travail en collaboration des élèves et la construction personnelle des connaissances (Dwyer, 1994). Il joue ainsi un jeu subtil "d'observations, d'appréciations et d'interventions" (Charlier & al., 1999).

Pour Carré, Moisan et Poisson, l'enseignant doit garder un "droit d'ingérence" dans les affaires étudiantes (Carré & al., 1997). En effet, il se doit d'intervenir si les étudiants perdent trop de temps en travaillant sur des notions déjà acquises ou si, au contraire, ils entament des apprentissages prématurés. Il veille à maintenir un bon rythme de travail et s'assure que les étudiants sont bien impliqués dans leur tâche. "Il ne faut pas retomber dans l'impérialisme des enseignants, mais déboucher sur une co-responsabilité négociée et contractualisée entre l'apprenant et l'institution éducative" (Carré & al., 1997).

Les études semblent converger vers un constat commun : le rôle de l'enseignant serait modifié dans le contexte de l'enseignement assisté. Il ne serait plus le maître qui dispense son savoir aux étudiants qui se contentent de le mémoriser. L'enseignant serait, idéalement, la personne-ressource qui organise les bonnes conditions d'apprentissage, tant du point de vue de l'environnement de travail que des contenus et des outils. Il jouerait autant un rôle technique qu'un rôle social, en encourageant les étudiants, en maintenant le rythme d'apprentissage, etc.

Si l'utilisation des technologies de l'informatique, dans le processus didactique, influence à la fois les étudiants et l'enseignant, comme les études à ce sujet semblent l'affirmer, a-t-elle un quelconque impact sur les contenus enseignés ?

### 3.3 A propos des contenus enseignés

La revue de littérature de Grégoire, Bracewell et Laferrière complète en ajoutant que l'emploi des nouvelles technologies stimule la recherche d'informations plus complètes sur un sujet, d'une solution plus satisfaisante à un problème. Les étudiants font davantage de relations entre diverses connaissances et données (Grégoire & al., 1996).

A cette analyse, Philippe Gauthier ajoute encore la possibilité de redondance (pas acceptée par tous les auteurs, nous y reviendrons), de répétitions et la possibilité de mise à jour rapide (Gauthier, 2001).

Pour Laloux et Lebrun, "l'impact le plus grand des technologies, suivant les recherches actuelles, ne s'est jamais manifesté (ou alors rarement) dans la seule sphère cognitive réduite au niveau des connaissances accumulées; les résultats les plus pertinents sont à trouver dans le développement d'autres formes de savoirs (poser un problème, travailler et gérer un groupe, se mettre en projet ... ) qui reposeraient davantage sur la qualité des méthodes pédagogiques employées

(recourant éventuellement aux technologies pour atteindre des objectifs précis et de haut niveau) que sur la présence ou non d'un outil technologique quelconque" (Lebrun & Laloux, 1996).

Si l'on ne peut observer directement un accroissement significatif de la "quantité" de connaissances des étudiants, il semblerait que le développement de nouvelles compétences soit possible. Or, nous avons déjà souligné la nécessité de cette évolution pour la future carrière professionnelle des étudiants. Dès lors, quelles caractéristiques devraient avoir les outils pour faciliter ce développement ?

## 4 Développement d'un outil d'aide

L'objectif poursuivi par l'introduction des nouvelles technologies, dans le processus didactique, n'est pas de mettre en opposition l'homme et la machine. Il semble que pour tirer un bénéfice de cette méthode pédagogique, les deux doivent coopérer, c'est-à-dire que la machine doit offrir un maximum de possibilités à l'homme et qu'à l'inverse, l'homme doit y développer de bons outils complémentaires à son enseignement.

Réaliser un outil d'aide à l'apprentissage, basé sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication (un didacticiel<sup>39</sup>), n'est pas, à notre avis, un travail qui s'improvise. Il demande réflexion à plusieurs niveaux. Voyons les qualités requises d'un tel outil et celles propres à son concepteur.

### 4.1 Qualités générales du concepteur

Le concepteur (ou l'équipe chargée de la conception) d'un outil hypermédia<sup>40</sup> d'auto-apprentissage a de grandes responsabilités face aux futurs utilisateurs. En effet, on ne peut envisager la création d'un didacticiel dont le contenu est incorrect, dont l'ergonomie rend inaccessible l'information, etc. Le concepteur devrait donc faire preuve d'aptitudes de différentes catégories pour mener à bien son projet. Une

---

<sup>39</sup> Parfois aussi appelé tutoriel (de l'anglais "tutorial").

<sup>40</sup> Beaucoup de définitions coexistent pour décrire les concepts de multimédia et d'hypermédia. Mais quelle différence y a-t-il entre ces deux concepts ? Voir à ce sujet l'exemple d'un site [http://www.infini.fr/~cnt/article.php?id\\_article=30](http://www.infini.fr/~cnt/article.php?id_article=30) qui tente de les distinguer. En bref, nous pourrions synthétiser en disant qu'un outil "multimédia" fait appel à des médias distincts, mais non nécessairement numériques (selon les définitions !), tels que livre, télévision, vidéo, ordinateur, publicité, ... L'outil "hypermédia", quant à lui, est un outil multimédia exclusivement numérique, chargé en plus d'hypertextes, d'hyperliens, etc. permettant plus de liberté de parcours à l'utilisateur.

synthèse de travaux met en évidence qu'il devrait, au moins, être (ou s'entourer des compétences de) :

- *un spécialiste du contenu.* S'il modifie la manière d'enseigner et probablement les résultats obtenus, le didacticiel ne semble pas changer les objectifs d'apprentissage, tant au niveau des contenus qu'au niveau des compétences à acquérir. Son concepteur garderait donc une grande responsabilité face au contenu à enseigner. Il devrait maîtriser le sujet de manière approfondie, afin de développer, en première phase de conception, un synopsis cohérent et réellement didactique. Il serait la personne habilitée à "analyser le savoir à enseigner puis à le transformer en savoir enseigné" (Séjourné, 2001). Son expérience de l'enseignement serait un atout. Elle lui permettrait de cibler aisément les difficultés et comportements des apprenants face à la matière concernée.
- *un pédagogue curieux.* Les études relatives à l'enseignement assisté sont unanimes pour souligner que la manière d'enseigner change avec l'apport des nouvelles technologies, par rapport à l'enseignement traditionnel. Le rapport aux savoirs, l'ensemble des compétences atteintes, les relations étudiants-enseignants sont autant de facteurs modifiés. Dès lors, le concepteur d'un outil hypermédia dédié à l'auto-apprentissage aurait de nouveaux horizons à explorer. Il ne pourrait se contenter d'être un familier de l'outil informatique et un bon enseignant dans sa matière. Il devrait élargir ses connaissances pédagogiques et s'informer sur les conditions d'efficacité de l'auto-apprentissage et l'impact des outils hypermédiés dans l'enseignement qu'il envisage. Mais comme s'intitule très justement un des ouvrages de Philippe Meirieu "Pédagogie : entre le dire et le faire" ... nous ajoutons qu'il y a certainement bien plus d'un pas !
- *un technicien rigoureux.* "L'apprentissage dépend de la connaissance que les personnes qui utilisent une nouvelle technologie ont de cette technologie et de leur habileté à en tirer parti" (Grégoire & al., 1996). Il semble que plus la connaissance des possibilités offertes par les nouvelles technologies augmente, plus le concepteur aurait de facilités à développer un bon outil hypermédia. Nous sommes tentés d'ajouter que ceci lui permettrait, en plus, de se forger une opinion. Plus le concepteur aurait étudié et testé de tels produits, plus il pourrait dégager les points forts à reproduire et les erreurs à rejeter. Dans ce domaine aussi, l'expérience serait favorable. On le comprend déjà aisément en tant qu'internautes. Il n'est pas facile de créer un site Internet, mais à force d'en

consulter, nous pouvons au moins citer, en critique inconditionnel, quelques qualités à retenir et quelques défauts à ne pas reproduire.

- *un graphiste modéré.* Les possibilités techniques et les attentes des utilisateurs évoluent souvent de pair. Les unes semblent exploser pendant que, parallèlement, les autres en exigent toujours davantage. Il suffit d'observer la qualité des logiciels de jeux, très attractifs et tout public, pour s'en convaincre. Et pour appuyer encore ce propos, voyons les exigences toujours plus grandes des clients d'architectes - pour ne citer qu'eux - n'envisageant plus la construction de leur nouvelle habitation avant de s'y être promené d'abord virtuellement, dès la conception. Mais exagérément chargé, l'outil fatigue et distrait du sujet; complètement dénudé, il apparaît ringard et perd de sa crédibilité. Même si ce n'est pas le fond du problème, le concepteur devrait être capable de présenter un outil au design modéré, conformément à l'utilisation qui en serait faite. Et même si cela semble prématuré dans l'état actuel de notre recherche (puisque nous nous attachons davantage aux concepts globaux de l'outil plutôt qu'à son design), citons les propos de Baron, Baudé et de la Passardière, pour qui l'écriture d'un outil hypermédia demande en plus, de la part du concepteur, du "talent" au niveau esthétique; en effet, le "savoir programmer ne donne pas plus de capacité à créer un tel logiciel que savoir taper à la machine ne donne du talent pour écrire de la poésie" (Baron, Baudé & de la Passardière, 1993). Nous y reviendrons en parlant des qualités d'un didacticiel.
- *un intermédiaire entre l'outil et les apprenants.* Il semble important qu'avant de démarrer sa phase réelle de conception de l'outil hypermédia, le concepteur sache exactement à quel type d'utilisateurs il dédierait son produit fini. Selon le public ciblé, l'âge, les connaissances antérieures, les attentes, les difficultés des utilisateurs, etc. la conception du didacticiel peut différer. (Dans le cas qui nous concerne, nous nous sommes déjà attachés à décrire très précisément l'ensemble des comportements, problèmes rencontrés et réactions des étudiants au chapitre 2).

Si les compétences du concepteur ont leur importance, que pouvons-nous dire de la conception ? Celle-ci est à étudier à plusieurs niveaux : la conception globale d'un didacticiel (ses qualités intrinsèques), la conception du contenu didactique (son scénario), la conception informatique du système (le logiciel à utiliser pour le réaliser) et enfin l'ergonomie générale des différentes pages qui le constituent (sa mise en forme).

#### 4.2 Qualités générales d'un didacticiel

Le produit fini devrait être "rentable", c'est-à-dire que son utilisation devrait apporter des avantages supplémentaires tant à l'étudiant qu'à l'enseignant et améliorer l'apprentissage. Pour cela, que ce soit au niveau de sa présentation, de son contenu et de la méthodologie qu'il va imposer à l'utilisateur, il gagnerait à respecter un certain nombre de consignes.

On dispose de peu d'études complètes relatives à la conception d'un outil hypermédia d'auto-apprentissage et plus précisément quant aux qualités qui favoriseraient son intégration dans un processus didactique. Il est vrai que le nombre de facteurs en jeu est important et que le croisement de leurs effets rend difficile l'établissement de conclusions figées. Dans le texte qui suit, nous faisons l'état des lieux de quelques résultats de ces recherches. Celui-ci nous permettra d'établir une liste de critères à garder à l'esprit lors du développement du didacticiel, en vue d'en augmenter les chances d'une intégration réussie.

##### Du point de vue de la présentation

L'interface utilisateur-machine devrait être confortable. Un didacticiel devrait être, avant tout, facile à utiliser (McKee, 1997). Il gagnerait donc à avoir un design simple, facilitant la lecture et la navigation : pas trop de clignotement ni d'effets spéciaux, des boutons accessibles et judicieusement placés, des hypermots et hyperliens en nombre raisonnable, pour éviter un "surfing" exagéré. A ce propos, plusieurs auteurs relayés par Tricot (Tricot, 1993) s'accordent à dire que le problème de la navigation est primordial. "On ne peut se permettre d'ajouter un problème de navigation au problème de l'acquisition des connaissances". La navigation ne peut provoquer la "désorientation"<sup>41</sup> de l'utilisateur. Celui-ci doit toujours pouvoir déterminer où il est, d'où il vient et pourquoi est-il là (Conklin, 1987; Foss, 1989). Françoise Poyet<sup>42</sup>, quant à elle, a analysé vingt sites éducatifs. Dans 65% des cas, l'accès à l'information est hiérarchique et trois niveaux sont nécessaires pour atteindre l'information pertinente. Cela donne de nombreuses occasions à l'utilisateur de s'écarter du sujet, voire de se perdre. A propos de l'arborescence, les études de

<sup>41</sup> Carolyn Foss définit cette "désorientation" par le fait de "ne plus savoir où je suis, ne plus savoir revenir au départ, ne plus être capable d'élaborer une représentation du contenu que je suis en train de traiter et avoir oublié la question que je me posais au départ".

<sup>42</sup> Poyet, F., (2000), *L'utilisation des TIC en formation pour adultes : L'autonomie des apprenants*. Exposé présenté au séminaire 2000-2001, Technologies de l'information et de la communication et éducation : Instruments, dispositifs et usages. Université des Antilles et de la Guyane, <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Fpoyet/sld001.htm> (consultation août 2003).

Rouet proposent des conceptions de sites favorisant la largeur par rapport à la profondeur (c'est-à-dire, par exemple, plutôt deux niveaux de huit pages que huit niveaux de deux pages).

Il serait donc important de bien penser "l'espace de navigation" et les niveaux de "profondeur" dans la structuration du texte (Tricot, 1995). D'après Tricot et Bastien, il est important de "définir des principes d'organisation rationnelle de la base, où le sujet doit pouvoir comprendre l'*organisation* des contenus indépendamment de sa compréhension des contenus eux-mêmes" (Tricot & Bastien, 1996).

Rouet a étudié la structure des sites Web et leur arborescence. De ces informations, nous pouvons tirer quelques conclusions, applicables à la conception d'un outil pédagogique hypermédia.

A propos des pages-écrans, il préconise un maximum de quatre niveaux d'ascenseur pour ne pas en revenir au "rouleau de parchemin" à dérouler : cela dérouterait le lecteur. Il vaut mieux introduire un mini-sommaire ou des boutons "suite". Il ajoute qu'une étude aurait démontré qu'un internaute canadien sur deux n'utilise pas les ascenseurs. De son côté, Jakob Nielsen<sup>43</sup> est nettement plus sévère. Il estimait, en 1994, que seulement 10% des utilisateurs manipulaient les ascenseurs pour obtenir la suite du texte à l'écran. Il atténue ses propos quelques années plus tard, en estimant, en 1999, que cela s'améliore (sans citer de pourcentage).

Conklin ajoute à cela le problème de "cognitive overload", c'est-à-dire de "surcharge cognitive" lorsque la navigation est complexe. D'après lui, "the additional effort and concentration necessary to maintain several tasks or trails at one time may be experienced as a burden"<sup>44</sup> (Conklin, 1987). A force de naviguer dans des environnements complexes mais flexibles, l'utilisateur a une impression de connaissance.

Pour étayer encore ces propos, Rouet soulève la difficulté de l'utilisateur à évaluer la pertinence des informations lues et à choisir les opérations nécessaires pour poursuivre son étude : doit-il approfondir l'information, par quel chemin, quelles digressions peut-il se permettre ou doit-il éviter ? (Rouet, 1997). Le choix du parcours relève de l'entière responsabilité de l'utilisateur.

---

<sup>43</sup> Nielsen, J., (1999), <http://www.useit.com/alertbox/990502.html>, consultation août 2003.

<sup>44</sup> L'effort supplémentaire et la concentration nécessaires à maintenir plusieurs tâches en même temps peuvent être considérées comme un poids (traduction libre).

Caro et Bétrancourt ont aussi étudié les différents niveaux d'informations. Selon eux, un des problèmes impliqués par les outils hypermédias est le "double niveau de discours". Lorsque l'utilisateur sélectionne un hypermot, deux solutions se présentent : soit une nouvelle page apparaît dans la même fenêtre remplaçant la précédente, soit une nouvelle fenêtre est activée pour y afficher l'information. Selon leurs recherches, ces auteurs montrent que la génération de nouvelles fenêtres (en français appelées les "fenêtres escamotables" ou "escamots") améliore la mémorisation de l'information (textuelle ou images, ...). Cette technique d'escamot permet de visualiser la hiérarchie des documents ce qui en facilite l'étude et évite la surcharge cognitive (Caro & Bétrancourt, 1998) : le lecteur n'y perdrait pas le fil et la structure de sa lecture. D'autre part, il est lui-même acteur dans le choix de lire ou non ce complément d'information "secondaire".

Les outils hypermédias présentent souvent des informations sous diverses formes : textes, images, sons, voire aussi vidéos. Selon Françoise Poyet<sup>42</sup>, "la présentation visuelle améliore les performances aux questions techniques et la présentation auditive améliore les performances aux questions de compréhension". Une recherche de Dubois, Vial et Bollon montre, de manière plus fine, l'influence de certaines modalités de présentation de l'information sur la mémorisation de concepts. Par exemple, l'ajout d'une image à un texte peut apporter une aide notable, à la condition d'être vraiment pertinente par rapport au sujet qu'elle illustre. En revanche, des ajouts qui se présentent davantage comme des redondances induisent une surcharge cognitive et les utilisateurs encodent l'information plus difficilement. La pluralité des représentations peut engendrer des confusions indésirables (Dubois, Vial & Bollon, 1998). Les expériences de Sweller attribuent cette perte d'efficacité à l'effet de dissociation de l'attention. Plus concrètement, d'après une recherche de Dubois et Tajariol, la présentation sous forme d'images et de texte sonore est plus efficace que la présentation de matériel sous une modalité exclusivement visuelle (image et texte écrit). En revanche, la redondance son et texte écrit augmente la charge cognitive et détériore l'apprentissage (voir travaux de Mayer, 1999). D'après cette même étude, l'ajout d'images dynamiques n'apporte pas d'amélioration significative. Les séquences d'images fixes suffisent (Dubois & Tajariol, 2001).

Quant à l'ergonomie générale d'un didacticiel, les travaux de Sweller démontrent que l'intégration spatiale du texte et des illustrations est un facteur susceptible d'accroître les performances des utilisateurs, au niveau de leur compréhension et de leur pratique ultérieure, par exemple, lors de l'apprentissage d'un logiciel (Sweller, 1990). McKee préconise en plus une présentation variée des informations et de la typographie (animations, textes en petits caractères, en grands caractères, soulignés, etc). Dans une revue de la littérature, les auteurs Caro et Bétrancourt insistent aussi



sur la disposition des éléments à l'écran. Cela va des caractères utilisés à la densité des informations, le multifenêtrage (dont nous avons déjà parlé), les liens entre texte et figure, etc. (Caro & Bétrancourt, 1998). La conclusion pourrait revenir à Jay qui, dans un article de 1983, insiste sur l'"équilibre des éléments à présenter" (Jay, 1983). Or chacun sait combien l'équilibre est une notion délicate et parfois subjective.

Même si cela apparaît comme extérieur et donc peut-être accessoire, il semble que la présentation générale des didacticiels ne soit pas à négliger, ayant un impact étudié par de nombreuses recherches. Peut-on mettre en évidence d'autres impacts attribués cette fois aux contenus ?

#### Du point de vue des contenus

Tricot et Rufino distinguent deux niveaux dans la conception d'un outil pédagogique hypermédia (Tricot & Rufino, 1998). Le premier concerne les modalités d'interaction qui sont l'ensemble des modalités concrètes et liées au matériel des interactions entre l'utilisateur de l'outil hypermédia et la machine. Ces modalités sont indépendantes du domaine de l'apprentissage. Jacquinot parle "d'interactivité machine" (Jacquinot, 1997). Le second niveau est relatif au contenu à enseigner; il est appelé, par Tricot et Rufino, le scénario d'interaction. Quant à celui-ci, il est indépendant du support technique utilisé. Il est particulier au sujet que l'on souhaite traiter. Jacquinot parle cette fois "d'interactivité intentionnelle", c'est-à-dire "qu'avons-nous l'intention que l'élève ait l'intention de faire ?" (Jacquinot, 1997).

A propos du scénario, plusieurs auteurs s'accordent à dire qu'il doit être bien pensé, écrit et structuré. Ceci évite la génération de liens exagérés, voire farfelus, le "plat de spaghetti", comme l'appelle Van Dam (Van Dam, 1988). Il convient de limiter les rebonds à l'intérieur de l'outil.

Des études de Gagné, Wagner et Rojas préconisent qu'un outil hypermédia d'auto-apprentissage doit prévoir des rappels et présenter l'organisation des contenus, la table des matières (Gagné, Wagner & Rojas, 1981). Entre autres avantages, ceci permet aux utilisateurs d'interrompre l'apprentissage, puis de le reprendre lors d'une session ultérieure (McKee, 1997), offrant ainsi à l'utilisateur une grande liberté d'action dans l'organisation de son apprentissage. De plus, une bonne planification des diverses parties à aborder peut faciliter les phases de révisions (Hannafin & Peck, 1988). Pour Mayer (1999), fournir une synthèse permet, aux étudiants, de mieux discerner l'information pertinente du détail. La table des matières peut être considérée comme une forme de synthèse. Baron, Baudé et de La Passardière confirment l'importance de la structure du texte et lui ajoutent l'importance de la

quantité des informations diffusées par "nœud", sans en préciser davantage (Baron, Baudé & de la Passardière, 1993).

L'enchaînement des informations contenues dans un didacticiel ne devrait pas laisser un trop long temps entre la présentation théorique d'un concept et son application. Gagné et al. (Fleury, 1993) parlent, dans ce cas, du principe de *contiguïté*. Dans un même ordre d'idées, Caro et Bétrancourt insistent pour que l'introduction des images et des autres éléments d'aide à la compréhension soient, eux aussi, proches de l'explication du concept qu'ils soutiennent. Les éloigner ajouterait à la confusion due à la navigation.

Pour certains auteurs, un outil d'auto-apprentissage doit anticiper un maximum de difficultés, puis apporter des indices, avant d'afficher la solution au problème posé (Gagné & al. 1981; Fleury, 1993). Pour cela, il devrait proposer différents niveaux d'aide, d'autres références, d'autres sources d'informations (McKee, 1997). A contrario, une direction de recherche (Tricot, Pierre-Demarcy & El Boussarghini, 1998) est fondée sur le postulat suivant : "l'intérêt des hypermédias réside justement dans l'absence d'aide ou, en tout cas, dans l'absence de guidage". Est-ce à dire que la seule bonne conception de la navigation, de l'organisation structurelle de l'outil, indépendamment des contenus, devrait suffire ?

Pour Rouet, "la linéarité des textes, garantissant la continuité des idées exprimées, constitue le plus souvent une aide précieuse pour le lecteur" (Rouet, 1997). Cette remarque, relative aux contenus, rejoint les quelques idées déjà décrites à propos de la présentation générale d'un outil hypermédia (simplicité de la navigation, écueil de la surcharge cognitive, ...).

Dans le corps du texte, aller à l'essentiel permet aussi au lecteur de porter son attention sur les notions primordiales. Pour Mayer (1999), "less is more" : en dire "moins" peut être un "plus" !

Enfin, McKee insiste pour qu'un didacticiel propose aussi une possibilité d'auto-évaluation, fournisse les résultats de tests éventuels et, s'il y a lieu, fournisse à l'apprenant un "feed-back" et une mesure de son progrès (McKee, 1997).

La manière d'articuler les contenus dans un outil hypermédia a été étudiée par de nombreux auteurs et semble avoir un impact non négligeable sur l'apprentissage : articulation des idées, formes d'aide, auto-évaluation, ... autant de points auxquels il faut veiller lors de la création d'un nouvel outil. Mais est-ce encore suffisant ?

### Du point de vue de la méthodologie

Idéalement, le didacticiel devrait fixer clairement les objectifs de la tâche, sorte de contrat moral entre l'apprenant et l'outil, lui permettant de se situer face à l'ampleur de la tâche qui l'attend. Tricot, Pierre-Demarcy et El Boussaghini insistent sur la donnée de consignes claires. Ce point a toute son importance, dans la mesure où l'apprenant doit comprendre exactement ce que l'on attend de lui. Une mauvaise compréhension des consignes peut conduire à une mauvaise représentation de l'exercice ou une compréhension erronée de certains concepts (Tricot, Pierre-Demarcy & El Boussaghini, 1998).

Le temps de lecture d'un didacticiel est un problème délicat. Globalement, Gagné et al. (Fleury, 1993) proposent un "temps de lecture total du didacticiel qui doit être d'une durée raisonnable par rapport aux sollicitations de l'apprenant". Mais qu'entend-on par "raisonnable" ? D'une manière générale, nous pensons que la lecture de chaque page du didacticiel gagne à être suffisamment courte de manière à ne pas subir de coupure due à l'une ou l'autre raison extérieure. Ecrire un didacticiel n'est pas réécrire un livre complet chargé de tous les concepts et de tous les détails mais bien définir les étapes importantes de l'apprentissage, avant de laisser l'étudiant approfondir, de sa propre initiative ou à l'aide de l'enseignant, l'une ou l'autre partie critique. Une page courte, favorisant une lecture attentive, n'apporterait-elle pas davantage qu'une page longue (mais certes très complète) incitant à une lecture "en diagonale" ?

Les apprenants n'ayant pas tous le même "background", il serait intéressant que le didacticiel présente des exemples ou des explications en rapport avec différents niveaux de maîtrise antérieure. Pour cela, un bon outil hypermédia d'auto-apprentissage devrait faire resurgir de la mémoire de l'apprenant les informations et stratégies déjà maîtrisées (Fleury, 1993) et dont il a besoin au moment opportun. Il se devrait donc de proposer des stratégies d'apprentissage propres à différentes catégories d'apprenants, pour atteindre les objectifs (Fleury, 1993). Sous une forme qui semble identique pour tous, le didacticiel permettrait, de cette manière, l'individualisation de l'apprentissage, en laissant à l'apprenant l'opportunité de "choisir son chemin" (McKee, 1997).

Selon Tardif (Tardif, 1996), "l'apprentissage est une activité créatrice qui repose fondamentalement sur un projet, sur une intention". Il serait donc intéressant de penser à l'utilisation d'un outil d'apprentissage dans un contexte de projet. McKee cite aussi la question du sens, en proposant à un tel outil de faire directement référence à une expérience de l'étudiant. "La concrétisation doit prévaloir sur

l'abstraction" (Jay, 1983). De plus, l'intérêt suscité par un apprentissage contextualisé ne soutiendrait-il pas davantage la motivation des étudiants ?

Enfin, citons encore une remarque intéressante de McKee pour qui l'outil d'auto-apprentissage doit en plus "provoquer une réaction de l'apprenant" (McKee, 1997). Il ne suffit pas à l'étudiant d'adopter une attitude de lecteur passif. Il doit agir et la navigation est un commencement à son action. Dufresne ajoute que quelques "messages directifs" doivent apparaître dans l'outil pour "amorcer les activités des apprenants" (Dufresne, 2001).

Pour Choplin, Galisson et Lemarchand, l'étudiant est ici un "utilisateur-apprenant". L'outil hypermédia devrait, d'une part, présenter une interface qui facilite le travail de l'utilisateur et, d'autre part, développer de nouveaux acquis et compétences chez l'apprenant dans le domaine ciblé". Le scénario doit donc veiller à distinguer ergonomie et didactique (Choplin, Galisson, Lemarchand, 1998).

## 5 Conclusion

Les nouvelles technologies peuvent être perçues comme des outils magiques (Tardif, 1996). Pourquoi apprendre à calculer si les calculatrices le font pour nous ? Pourquoi apprendre l'orthographe si les traitements de texte analysent et corrigent seuls les fautes ? A cela nous ajoutons : pourquoi apprendre les règles élémentaires de géométrie et le dessin classique, si les logiciels de DAO gèrent le tout sans difficulté ?

Si manipuler correctement un traitement de texte ne suffit pas à être écrivain, manipuler un système de DAO, sans en comprendre les fondements, ne devrait suffire à être un interlocuteur crédible, dans un processus complet de conception. Le défi pour les enseignants est donc de taille. Ils n'ont pas pour seul objectif la diffusion d'un savoir (d'ailleurs restreint, s'il est limité à la seule manipulation d'un logiciel), mais bien la construction de connaissances de bases et de compétences nécessaires aux missions futures de l'ingénieur.

Pour cela, l'introduction de l'enseignement assisté dans le processus didactique pourrait apporter une aide importante, tant au niveau des étudiants qu'au niveau des formateurs.

Les avantages pour l'étudiant seraient intéressants si l'on s'en réfère aux études déjà effectuées sur le sujet. En effet, l'étudiant pourrait :

- apprendre à son propre rythme;
- décider de son cheminement (dans une présentation hiérarchisée, certains chapitres peuvent être obligatoires, d'autres facultatifs);
- revoir plusieurs fois une matière pour laquelle il éprouve des difficultés;
- participer activement à son apprentissage;
- s'auto-évaluer et recevoir une rétroaction immédiate.

L'enseignant, quant à lui, devrait désormais développer trois types de compétences : pédagogiques, didactiques et techniques (Annoot, 1994). Mais il tirerait aussi des avantages dans l'adoption d'un enseignement assisté. Il pourrait :

- disposer de davantage de ressources;
- consacrer plus de temps à l'étudiant;
- enseigner à distance et à de grands groupes;
- déléguer à l'outil les apprentissages de base et se réserver les questions plus fondamentales ou de méthodes.

L'utilisation de didacticiels, dans un apprentissage basé sur le travail en groupe ou l'approche par projets, a aussi des conséquences. Dans ce contexte ouvert, chaque étudiant travaille principalement sous la tutelle de son groupe, mais a quand même un effort individuel à fournir. Dès lors, il convient de s'assurer qu'il cible correctement les informations pertinentes. Le laisser seul aurait pour danger qu'il sélectionne, à tort, l'information qui *lui* semble importante, laissant de côté ce qu'il comprend moins bien et considère, de ce fait, comme accessoire. Pour éviter ce problème, le rôle du tuteur est ici capital.

L'enseignement classique a tendance à bien organiser les apprentissages, isoler l'information critique et les concepts. L'enseignant oriente cet apprentissage. En revanche, dans des environnements plus ouverts (APProj, groupes, ..), l'étudiant définit lui-même, partiellement, ses besoins, ses ressources et ses activités. Parmi ces ressources, certaines sont inexploitable, tant elles sont vastes, de contenu peu clair, difficilement accessibles ou utilisables. Or, l'utilité d'une ressource est déterminée par son degré d'accessibilité pour l'apprenant et la pertinence de son contexte (Hannafin, Land & Oliver, 1999). Il est donc important de penser l'outil d'auto-apprentissage en ces termes.

Les outils hypermédias d'aide à l'apprentissage ne sont pas des produits banalisés et uniformes. Ils sont, dans chaque cas, un produit "unique". Il est délicat, voire *peut-être impossible*, d'imposer des règles de bonne conception d'outils pédagogiques hypermédias. Néanmoins, il est important de garder à l'esprit l'ensemble des problèmes que peut poser l'utilisation de telles aides à l'apprentissage, afin de pouvoir gérer au mieux la conception future d'un tel outil. La relation entre l'auto-apprentissage et les nouvelles technologies se construit au cas par cas, par rapport aux objectifs didactiques et pédagogiques fixés. Philippe Gauthier parle dans ce cas de "l'ingénierie de la formation" (Gauthier, 2001).

Toutefois, pour garantir un maximum de chances de succès aux outils, il semble qu'il faille veiller à de nombreux critères, que nous venons de développer et que nous synthétisons ci-dessous :

- du point de vue de leur présentation générale : choix d'une arborescence toute en largeur, une typographie et une disposition équilibrées du texte et des images, des hypermots et hyperliens en nombre raisonnable pour éviter surcharge cognitive et désorientation, une interface facile à manipuler;
- au niveau des contenus : présentation de la structure des phases d'apprentissage et explications claires de chacune d'elles, aide en ligne, rappels, texte linéaire, auto-évaluation;
- d'un point de vue méthodologique : des objectifs clairs d'apprentissage, des étapes provoquant des attitudes actives auprès des apprenants, une longueur adaptée.

Nous n'avons pas traité, dans cette recherche, de l'analyse ergonomique des outils d'auto-apprentissage. Nous n'avons pas tenu compte des effets éventuels de la position physique du poste de travail, sur l'apprentissage (les dimensions réduites de l'écran par rapport à l'espace, la manipulation de la souris, l'écran plat et posé verticalement, etc.). Nous n'avons pas passé en revue, non plus, certaines théories des sciences cognitives, pour lesquelles la perception visuelle jouerait un rôle sur l'apprentissage.

Enfin, conformément à notre thèse (page 49), la synthèse théorique de différentes pratiques pédagogiques que nous venons d'effectuer, nous conduit à envisager la mise au point de plusieurs expériences.

Celles-ci ont pour but de mesurer :

- l'impact de l'introduction d'une (ou plusieurs) phase(s) d'auto-apprentissage dans le processus didactique, par la création et l'utilisation d'outils hypermédias. Ces outils sembleraient apporter les avantages escomptés quant à l'autonomie de l'étudiant, le respect de son rythme d'apprentissage, une meilleure gestion du temps d'encadrement de l'enseignant etc. Qu'en est-il dans le cadre du cours de DAO ?
- l'impact d'un encadrement des étudiants plus proche du tutorat, l'enseignant ne se contentant pas de diffuser un savoir, mais bien de guider l'étudiant en lui apprenant à se poser des questions, à trouver des ressources, ... etc. Cette manière de travailler, moins directive pour l'enseignant et plus active pour les étudiants, apporte-t-elle une aide significative aux problèmes de méthode et d'analyse rencontrés lors de la représentation de nouveaux dessins ?
- l'impact d'un apprentissage en petits groupes. Si le travail en petits groupes apporte effectivement une plus grande motivation, un partage d'idées, une entraide, une participation plus active des étudiants, peut-on aussi y déceler un effet positif sur l'apprentissage du DAO ?
- l'impact d'un apprentissage par projets multidisciplinaires dans lesquels s'insérerait le cours de DAO. A en croire différents auteurs, l'introduction du projet dans le processus d'apprentissage augmenterait la capacité à résoudre des problèmes, la durée de vie des connaissances, le sens donné à l'apprentissage, etc. Pouvons-nous obtenir les mêmes conclusions dans le cas du cours de DAO ?





## Chapitre 4 : Développement et mise à l'épreuve d'un didacticiel 2D

---

Dans le chapitre 3, nous avons décrit les avantages et inconvénients d'un outil d'auto-apprentissage. Nous avons aussi passé en revue quelques qualités importantes que doit présenter l'outil, pour améliorer ses chances d'intégration dans le processus didactique, tout en favorisant le développement de l'autonomie des étudiants. C'est pourquoi, nous décidons, l'année académique 1995-1996, de tenter l'expérience d'une approche plus autonome du cours, en créant un outil hypermédia d'auto-apprentissage, un "didacticiel" pour la réalisation d'un premier dessin en deux dimensions.

L'objectif visé par la mise au point de cet outil est triple. Pour les étudiants, il doit faciliter la phase de démarrage de l'apprentissage lors des travaux pratiques. Il doit permettre à l'enseignant de se consacrer davantage aux problèmes méthodologiques qui se posent. Et enfin, il doit assurer les mêmes acquis de base à tous les étudiants, tout en respectant au maximum leur rythme d'apprentissage.

L'expérience menée vise, principalement, à déterminer les conditions dans lesquelles intégrer un didacticiel, dans l'enseignement du DAO. Elle prend place dans un cadre plus global de recherche d'un dispositif pédagogique adapté au DAO.

Dans ce chapitre, sont décrites la réalisation du didacticiel et les premières réactions des étudiants et des enseignants lors de son utilisation.

### 1 Scénario proposé

Rappelons les propos de Tricot et al. pour qui, bien concevoir l'outil signifie, entre autres, qu'il ne faut pas dissocier la conception de l'interface, de la conception globale (Tricot & al., 1998). Il est donc capital, dans un premier temps, de définir le type de didacticiel à écrire et d'en fixer un scénario cohérent, tout en veillant à sa présentation générale.

Plusieurs types de didacticiels sont possibles. En voici quelques exemples :

- Nous pourrions créer un outil d'auto-apprentissage décrivant, page après page, chaque fonction disponible dans les menus du logiciel de référence, tel un glossaire des commandes accessibles. Celui-ci s'apparenterait davantage à une aide en ligne spécifique au logiciel. Il ne présenterait pas une approche globale des concepts et de la méthodologie du DAO.
- Un autre choix pourrait être de fournir un didacticiel favorisant l'entraînement des étudiants à dessiner des entités élémentaires, telles qu'une série de cercles de rayons différents, des lignes de différentes longueurs, etc. avant d'entamer, en présence de l'enseignant, toute réalisation plus complexe. Cette présentation aurait l'avantage d'être très progressive. Mais elle aurait le désavantage d'être plus lente (étant donné la quantité de notions à aborder) et moins motivante (étant données la pauvreté du sens attribué à l'apprentissage).
- Puisque nous insistons sur la méthodologie de représentation d'un dessin, nous pourrions aussi écrire un didacticiel ne traitant que des questions méthodologiques, telles que *"Pourquoi utiliser des couches dans le dessin ? Quelles conséquences si on ne les définit pas ? Pourquoi créer plusieurs vues de l'objet ? Etc. "*. Nous formulons deux objections à ce choix. La première est relative à la non-existence d'une méthodologie de représentation. Plusieurs stratégies peuvent s'appliquer à un même dessin, sans que l'une ou l'autre ne soit fausse. En revanche, une d'entre elles peut être meilleure en terme de temps passé à dessiner, une autre meilleure en terme de nombre d'entités à gérer, etc. Il n'est pas possible de donner une réponse définitive aux questions de méthode. La seconde objection que nous formulons, à l'égard d'un didacticiel exclusivement méthodologique, est que l'approche "méthode" ne peut se dissocier d'une approche des "contenus"; c'est une hypothèse que nous avons émise page 29 et qui nous conforte plutôt dans l'idée de concevoir un didacticiel mêlant à la fois ces deux composantes.

Nous avons donc opté pour la réalisation d'un didacticiel qui consiste à proposer la représentation pas à pas d'un dessin 2D, suffisamment simple pour être abordé dès le démarrage de l'apprentissage, mais aussi suffisamment complexe pour le sens et la motivation à développer une véritable méthodologie qu'il peut générer. De cette manière, nous pouvons, sur base d'un exemple, aborder à la fois des contenus et une méthode de représentation. L'inconvénient réside dans le caractère imposé de cette méthode (alors que d'autres seraient possibles); mais l'avantage est de fournir une

démarche complète et concrète de représentation, qui peut servir de modèle de base à discuter ensuite au cas par cas.

L'outil à mettre au point, appelé "*didacticiel 2D*", est considéré comme un dispositif permettant de guider l'étudiant dans son apprentissage, de manière la plus autonome possible. Il est donc imaginé comme un livre, constitué de pages dans lesquelles sont décrites les étapes successives à franchir pour la réalisation d'un dessin choisi, depuis l'ouverture du fichier vierge jusqu'à la sauvegarde du travail terminé.

Connaissant les étapes et surtout les difficultés rencontrées par les étudiants pour le réaliser, nous choisissons comme dessin 2D de référence, un dessin simple<sup>45</sup> mais faisant déjà appel à de nombreux concepts (Figure 3).

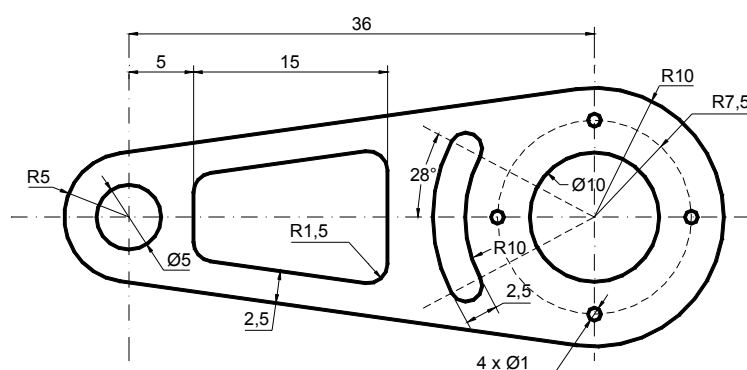


Figure 3 : Dessin à réaliser à l'aide du didacticiel 2D

Comme le ferait le scénariste de cinéma, nous sommes d'abord partis d'un fichier de dessin vierge et avons construit, pas à pas, le plan de la pièce, en indiquant, parallèlement sur papier, pour chaque étape, (une étape par page) :

- l'explication textuelle de l'étape à réaliser et, le plus souvent possible, pourquoi la réaliser à ce stade;
- la commande détaillée d'AutoCAD® utilisée à l'étape (y compris les options à choisir et les valeurs à introduire);
- les éventuelles difficultés rencontrées face à l'utilisation de cette commande et les pièges à éviter;

<sup>45</sup> Il est le dessin réalisé lors de la première séance de travaux pratiques, les deux années précédentes, de 1993 à 1995.

- les aides qu'il faudrait apporter à cette étape, soit sous forme de dessin, soit sous forme de renvoi à une autre information (syllabus, index de commandes, ...) pour aider l'utilisateur en difficulté.

Même si, à chaque étape, nous nommons explicitement la commande à exécuter sous le logiciel AutoCAD®, nous portons une attention particulière à décrire un synopsis le plus indépendant possible du logiciel de référence choisi. En effet, notre souci est davantage de décrire le *pourquoi* des différentes étapes de manière à, d'une part, motiver leur nécessité et, d'autre part, présenter les concepts communs à la majorité des logiciels graphiques. Comprendre la raison d'un choix pourra, dans d'autres situations, aider à mieux orienter une décision.

Le *comment* apparaît le plus souvent sous forme d'aide (hyperliens, aide en ligne, fenêtre supplémentaire du déroulement des commandes, dessin de l'étape, ...voir ci-dessous). Il est volontairement mis sous ces formes car nous gardons à l'esprit le souci de la "portabilité" de l'outil. Si nous étions amenés à réécrire le didacticiel pour l'appliquer à un autre logiciel graphique, nous ne devrions dès lors modifier qu'un minimum d'informations, principalement celles relatives à ce *comment*.

Parallèlement à l'écriture du scénario, nous avons "joué le jeu" en créant, sur AutoCAD®, chaque étape du dessin en cours d'évolution. Ces étapes sauvegardées sous des noms distincts nous permettront par la suite de reconstruire le tout, tel une succession d'images formant un film.

## 2 Réalisation du didacticiel

Calqué sur le scénario "papier", la réalisation du didacticiel a pu être entamée concrètement à l'aide du logiciel Multimedia | Toolbook |<sup>46</sup>. Nous considérons ce premier didacticiel comme un *prototype* à mettre à l'épreuve. Etant donné la configuration des ordinateurs à la disposition des étudiants, nous n'avons pu y inclure ni film vidéo, ni animation sonore. Néanmoins, nous avons veillé à respecter un maximum de critères de qualité, de manière à lui assurer toutes les chances d'efficacité, lors de son utilisation par des débutants.

Voici brièvement décrites sa présentation générale, les aides qu'il peut apporter et l'auto-évaluation qu'il permet.

---

<sup>46</sup> Système auteur multimédia pour Microsoft® Windows | , un produit Asymetrix | .

## 2.1 Présentation générale du didacticiel

Le "didacticiel 2D" est constitué d'une soixantaine de pages (écrans) de taille 640 x 480 pixels, c'est-à-dire bien moins qu'un écran classique. Ceci lui assure un maximum de chances de portabilité d'une machine à l'autre, mais surtout cela permet d'ouvrir le logiciel graphique AutoCAD® et d'y travailler parallèlement. Pratiquement, le didacticiel est divisé en trois parties principales :

- La première, appelée "Quelques infos", est constituée d'une dizaine de pages. Elle présente des informations d'intérêt général : une comparaison courte du dessin classique et du DAO, un exemple de deux démarches méthodologiques pour le tracé de lignes de construction<sup>47</sup>, la légende des boutons accessibles et la typographie utilisée dans le didacticiel.
- La seconde partie, appelée "Gérer les fichiers", est aussi constituée d'une dizaine de pages. Elle présente la gestion des fichiers : les noms des fichiers de dessin et des fichiers de back-up, le répertoire de travail des étudiants, les procédures d'ouverture et de sauvegarde des fichiers.
- Enfin, la troisième partie, intitulée "Dessiner en 2D", est la plus importante. Constituée d'environ 45 pages, elle présente la construction pas à pas du dessin 2D choisi (Figure 3). En plus d'une introduction méthodologique et d'une conclusion expliquant la procédure correcte de sortie du logiciel, la partie "Dessiner en 2D" présente sept étapes importantes de la représentation du dessin :
  - a. Créer un nouveau dessin;
  - b. Gérer les limites du dessin;
  - c. Gérer les couches du dessin;
  - d. Dessiner des lignes de construction;
  - e. Dessiner la pièce;
  - f. Habiller le dessin;
  - g. Sauvegarder le dessin.

Les trois parties sont conçues de manière à ce qu'une lecture linéaire de toutes les pages conduise, sans difficulté, à la réalisation finale du dessin. Chaque partie

---

<sup>47</sup> Pour les uns, les lignes de construction sont immédiatement représentées en traits interrompus; pour les autres, dont nous faisons partie, les lignes de construction se dessinent en traits continus afin d'éviter tout problème (des intersections introuvables, par exemple). C'est au moment de l'habillage du dessin que le type de trait est modifié.

présente une table des matières, sous forme de titres hypertextes. Ceci permet l'accès direct au paragraphe concerné, laissant une grande liberté d'action à l'étudiant, c'est-à-dire la possibilité de se déplacer dans le texte et celle d'interrompre puis reprendre son travail à n'importe quel moment. La table des matières de la troisième partie est, en plus, une synthèse des étapes à gérer pour représenter un dessin (Mayer, 1999).

## 2.2 Conception d'une page

Les pages du didacticiel ont une présentation commune. Elles disposent toutes d'une zone de texte, dans laquelle se situe l'explication de l'étape à effectuer pour réaliser le dessin, et d'un ensemble de boutons, affichés selon leur disponibilité, sous la zone de texte (Figure 42, page 243).

Le choix de décrire, sur une même page, le *pourquoi* et le *comment* de chaque étape permet de garantir le principe de contiguïté dont parle Gagné, page 90. Une explication théorique et sa manipulation concrète sont proches et se complètent. Pour appuyer encore ce principe, nous choisissons de limiter, à un seul niveau, la profondeur possible des hyperliens, de manière à éviter la désorientation du lecteur. C'est pourquoi, chaque bouton ou hyperlien donnera accès à une information (graphique ou textuelle), au départ de laquelle il ne sera pas possible d'aller ailleurs, si ce n'est "remonter" là où l'on était avant l'appel.

Le texte, d'un maximum de douze lignes, est volontairement sans effets spéciaux, de manière à rester sobre et permettre, à l'utilisateur, de focaliser son attention sur le contenu et non sur la forme.

Pour garder une cohérence "visuelle", nous nous imposons de ne pas utiliser d'ascenseur. Ceci permet d'avoir, à tout moment, une vision globale de la page et des opérations à effectuer. Ceci oblige aussi à présenter les informations de manière concise et limitée au strict nécessaire.

Les déplacements dans le didacticiel sont aisés grâce aux boutons de navigation (Figure 43, page 244) présents sur chaque page, et aux tables des matières précédant chaque partie.

## 2.3 Aides

En cas de besoin, l'utilisateur dispose de trois types d'aides directement accessibles depuis le didacticiel :

- Le premier, sous forme d'un hypermot, correspond à la description de la commande d'AutoCAD® telle qu'elle doit être introduite, par l'utilisateur, en l'état actuel de son avancement. Cet hypermot donne accès à une nouvelle fenêtre qui présente, en détail, la communication homme-machine pour l'exécution de la commande concernée (Figure 44 et Figure 45, page 244);
- Le deuxième ponctue aussi le texte du didacticiel sous forme d'hyperliens. Il s'agit des mots clés du logiciel renvoyant à l'aide en ligne décrite ci-dessous. Il permet une lecture facultative et plus approfondie de la fonction sélectionnée en cours d'utilisation du didacticiel (Figure 46, page 245).
- Enfin, le troisième type est une aide en ligne, rédigée en français et fortement simplifiée par rapport à l'aide fournie par le logiciel (en anglais). Elle est conçue comme un second "livre", dont la première page est l'index des mots-clés d'AutoCAD®, pour lesquels une définition plus complète est fournie (Figure 47 et Figure 48, page 245). Cette aide en ligne propose, non seulement les commandes 2D utilisées dans le didacticiel, mais aussi d'autres commandes 2D et 3D. Elle n'aborde aucune question méthodologique et a pour seule prétention d'être l'aide-mémoire des commandes du logiciel. Elle peut être consultée indépendamment du didacticiel. Si nous étions amenés à choisir un nouveau logiciel de référence pour l'apprentissage du DAO, cette aide devrait être complètement réécrite.

#### 2.4 Auto-vérification

Il est suggéré à l'étudiant qui utilise le didacticiel, non seulement de lire attentivement chaque page, mais aussi de réaliser parallèlement sur AutoCAD® les différentes étapes présentées. Une possibilité d'auto-vérification de son travail en cours lui est fournie. A chaque étape impliquant une modification du dessin, l'étudiant peut comparer son propre dessin à celui auquel il doit être arrivé, s'il a suivi scrupuleusement les indications données. Aucun commentaire n'est associé à cette vérification, ni aucune correction automatique du dessin de l'étudiant, en cas d'erreur. Seul, l'étudiant juge de la pertinence de son travail sans attendre le dessin final pour comparer les résultats.

### 3 Observations des étudiants par les enseignants

Une fois créé, le didacticiel 2D a été introduit dès le démarrage du processus d'apprentissage, c'est-à-dire lors de la première séance de travaux pratiques. Durant

celle-ci, les étudiants ont travaillé individuellement, encadrés par un enseignant. L'introduction du didacticiel et la volonté de développer, chez les étudiants, davantage de compétences d'ordre méthodologique, ont impliqué un remaniement du dispositif pédagogique<sup>48</sup>. Dans les lignes qui suivent, nous nous limitons à décrire l'ensemble des observations relatives à l'utilisation du didacticiel. Aucune méthodologie particulière n'est mise en oeuvre pour observer les comportements des quelque 300 étudiants inscrits. Les remarques qui suivent sont une compilation des observations "de visu" des quatre enseignants ayant assuré l'encadrement.

### 3.1 Lors de la première séance de travaux pratiques

L'objectif annoncé de la première séance de travaux pratiques est la lecture du didacticiel et, parallèlement sur AutoCAD, la représentation du dessin y figurant.

Face à ce type d'outil, nous observons plusieurs comportements. D'abord, les étudiants naviguent n'importe où, sans suite, sans structure, une dizaine de minutes. Cette démarche semble classique dans cet environnement. Aubé affirme que l'emploi des outils tels que des didacticiels et tous les autres outils issus des nouvelles technologies, "accentue l'idée que les connaissances existent par elles-mêmes, à l'extérieur des individus, *comme un paysage à parcourir et à visiter*, plutôt que comme des processus dynamiques à construire dans la tête des apprenants" (Aubé, 1996).

Ensuite, plusieurs catégories d'étudiants se distinguent :

- Certains lisent tout le didacticiel, page après page et en suivant scrupuleusement les instructions données. Ils dessinent parallèlement sur AutoCAD<sup>®</sup>. C'est la seule catégorie qui termine l'exercice en 1h30. Après vérification auprès de certains d'entre eux, ce ne sont pas nécessairement les étudiants bisseurs<sup>49</sup> ou les familiers du logiciel.
- La plupart des bisseurs, croyant se souvenir de leur expérience passée, sont obligés de se rafraîchir la mémoire en entamant la lecture du didacticiel. Ils ont généralement déjà perdu un peu de temps par rapport aux autres.

---

<sup>48</sup> Le déroulement du dispositif pédagogique est décrit en annexe pages 239 et suivantes.

<sup>49</sup> Nous appelons "bisseur", un étudiant qui recommence une même année d'étude, après avoir échoué une première fois. On dit aussi "redoublant".



- D'autres étudiants pensent pouvoir se débrouiller seuls et n'entament pas du tout la lecture du didacticiel. Ils explorent les menus, veulent commencer par dessiner un cercle et posent à nouveau les traditionnelles questions d'utilisation (*"Dans quel menu se trouve telle commande ? Que dois-je répondre à telle question posée par le logiciel ? ..."* ).
- D'autres encore lisent tout, d'un bout à l'autre, rapidement et comme un roman, sans rien dessiner parallèlement. Ils clôturent la lecture du didacticiel puis tentent ensuite de se lancer seuls. Aucun d'entre eux n'a pu terminer son dessin en 1h30 de séance. Ils se voient contraints de revenir travailler plus tard.
- Certains étudiants lisent rapidement le didacticiel d'un bout à l'autre, et commencent ensuite une seconde lecture ponctuée d'essais. Le résultat semble satisfaisant et méthodique. En fin de séance, leur dessin est presque terminé.
- Quelques étudiants s'organisent par deux de manière à disposer, l'un du didacticiel sur son écran et l'autre du logiciel AutoCAD®. Ils avancent aussi de manière méthodique. Certains terminent leur dessin; d'autres sont bien avancés. Ils décident, de commun accord et sur proposition de l'assistant, de recommencer l'exercice (même en dehors des heures encadrées) pour échanger les rôles afin d'avoir tous acquis la même expérience de manipulation du logiciel et de lecture attentive du didacticiel.
- Les plus pressés lisent le didacticiel "en diagonale". Les informations sont lues mais ne sont ni analysées, ni comprises. Force leur est de constater qu'après pas mal de temps perdu, ils doivent tout recommencer au début.

Citons enfin les étudiants qui ne sont pas venus à la première séance de travaux pratiques. En dehors des heures de cours, ils ont entamé la lecture du didacticiel et réalisé leur premier dessin de manière tout à fait autonome. En général, ils semblent arriver à la seconde séance d'exercices sans handicap majeur par rapport aux autres.

Dans un même ordre d'idées, citons aussi quelques étudiants étrangers (pas nécessairement en première année de formation) désireux de rejoindre d'autres cours nécessitant la maîtrise des concepts du DAO ou saisissant l'opportunité d'apprendre le DAO. De manière autonome, ils ont parcouru le didacticiel et rejoignent aussi le groupe sans problème.

L'observation discrète des étudiants invite à émettre quelques commentaires personnels:

- Deux opérations sont nécessaires pour définir l'espace de travail lors du démarrage d'un nouveau dessin sur AutoCAD®. Brièvement, citons la définition de nouvelles "limites", puis l'exécution d'une opération de "zoom all", permettant d'ajuster cette nouvelle zone de travail à la taille de l'écran. Les deux opérations sont importantes. En tout cas, l'une est inutile sans l'autre. En cours de séance, les enseignants se sont rendus compte que la plupart des étudiants (grosso modo 80%) démarraient leur dessin hors des limites fixées. Quelle en était la cause ? Très vite, ils se sont aperçus que les deux concepts ("limits", "zoom") figuraient l'un à la suite de l'autre, sur une même page du didacticiel. Visiblement, les étudiants ont lu la première information, l'ont traitée puis ... sont passés à la page suivante, sans s'apercevoir qu'un deuxième concept y était exposé.

Les enseignants refaisaient, sans le savoir, une expérience qu'avait déjà faite Jay et dont la conclusion était que, pour être efficace, un didacticiel ne présente au maximum qu'un concept important ou nouveau par page (Jay, 1983).

- Dans beaucoup de cas, il semble que la compréhension du français soit assez faible<sup>50</sup>. L'effort de lecture réfléchi est important et pas toujours apprécié dans un premier temps. Nous ne pouvons apporter de solution à ce problème dans la mesure où les phrases du didacticiel sont déjà simples. La difficulté réside dans le fait que chaque mot y a son importance et qu'une lecture approximative ne suffit pas. A cela, s'ajoute une maîtrise encore faible, voire insuffisante, de la langue anglaise permettant l'accès à l'ensemble des commandes du logiciel.
- Les étudiants ont peu le réflexe des hypermots. Cela paraît normal pour une première approche et dans un contexte "hypermédia" peu développé en 1995. (Ce comportement s'atténue nettement les années suivantes avec la banalisation de l'hypermédia).
- D'une manière plus générale, les étudiants font très peu appel à l'aide en ligne (voire pas du tout dans la majorité des cas). Des études ont montré que les étudiants consultent effectivement très peu les aides fournies dans ce contexte d'apprentissage, car ils en méconnaissent souvent l'existence et l'utilité. C'est

---

<sup>50</sup> Nous excluons évidemment de cette remarque les étudiants dont le français n'est pas la langue maternelle.

essentiellement quand ils ont compris leur apport qu'ils s'habituent à les compulser davantage. Mais le dilemme réside dans le fait qu'ils n'en découvrent cet apport que quand ils sont dans l'obligation de les utiliser (Delièvre & Depover, 2001). Le rôle de l'enseignant semble important dans ce cas. Lorsqu'un étudiant pose une question, l'enseignant peut lui proposer de consulter l'aide en ligne disponible, sans fournir d'autre réponse. Ceci suppose, évidemment, que l'aide à disposition soit suffisamment claire et accessible. Une étude intéressante de Déro et Fenouillet, à propos des dispositifs d'apprentissage en ligne en formation diplômante à distance, confirme aussi le problème de la consultation des aides. Selon leurs résultats, "quand le nombre de connexions (au site<sup>51</sup>) augmente, ce qui induit une meilleure connaissance d'Internet, les étudiants deviennent en mesure de mesurer eux-mêmes les connaissances qui leur manquent et comprennent l'intérêt et la nature des messages d'aide, d'où une utilisation plus intensive de ces derniers" (Déro & Fenouillet, 2001).

A la fin de cette première séance, deux questions nous préoccupent :

- Les étudiants posent encore beaucoup de questions pour s'assurer avoir bien compris. Le didacticiel n'est-il pas plus efficace lorsque l'étudiant est vraiment seul confronté au système ?
- Il est très difficile, pour l'enseignant, de vérifier ce qu'a compris chaque étudiant. Comment s'assurer que l'on ne va pas passer à côté de réflexes nécessaires, mais non perçus comme tels (par exemple : la bonne utilisation des outils d'accrochage, des coordonnées relatives et polaires, des limites, ...) ?

A la première question, nous avons déjà un élément de réponse favorable, en observant la facilité avec laquelle les étudiants absents au premier cours et les étudiants étrangers ont rejoint le groupe plus tard. L'efficacité du didacticiel n'est peut-être pas supérieure lorsque l'étudiant est seul, mais elle est certainement suffisante pour la mise à niveau de l'étudiant isolé, du moins au démarrage.

Dans un premier temps, la deuxième question reste en suspens, puisque seules les séances d'exercices suivantes nous permettront d'y répondre.

---

<sup>51</sup> Le logiciel d'apprentissage retenu pour l'étude est Logiprof (<http://eiao.free.fr/> consultation en août 2003).

### 3.2 Lors des séances suivantes

Lors de la seconde séance de travaux pratiques, nous disposons d'une série de nouveaux dessins 2D. Chaque étudiant choisit celui qu'il désire représenter. L'objectif annoncé de cette seconde séance est de reproduire, à l'aide d'AutoCAD, le dessin 2D choisi, de manière correcte et structurée.

Dans l'ensemble, au début de cette séance, les étudiants sont opérationnels. Ils *imitent*, généralement, le même schéma de travail que celui proposé dans le didacticiel. Ainsi, nous observons, par exemple, une petite amélioration dans le choix des noms de couches du dessin. Ce qui semble relever du détail est en réalité signe d'un bon début. Elles s'appelaient souvent " 1, 2, 3, ... " ou "Robert, Paul, Anne, ..." (du nom de leur assistant !). Maintenant, elles s'appellent plus judicieusement "lignes de constructions, lignes cachées, pièce ...".

### 3.3 A propos de l'évaluation

Le dispositif pédagogique, mis en place cette année académique de référence, propose un nouveau mode d'évaluation des acquis pratiques (en annexe page 242). Cette évaluation aura désormais lieu en deux temps, sous la forme de deux tests individuels, organisés en cinquième semaine (pour le 2D) et en douzième semaine (pour le 3D). Les étudiants sont informés de ce changement.

Les résultats du test imposé en cinquième semaine sont satisfaisants, malgré les exigences toujours supérieures. Il n'est malheureusement pas possible de faire une réelle comparaison des notes obtenues cette année et de celles obtenues les deux années précédentes, dans la mesure où c'est la première fois qu'un test est organisé en cours de quadrimestre. Mais on peut raisonnablement affirmer que les étudiants étaient prêts à passer ce test, contrairement aux étudiants des années précédentes à *pareille époque*.

Malgré les quelques difficultés soulignées ci-dessus, le bilan global du nouveau dispositif pédagogique mis en place est positif, du point de vue des enseignants. Les étudiants ont fait davantage preuve d'initiative et d'autonomie et quelques problèmes méthodologiques semblent résolus. Voyons à présent les réactions des étudiants.

#### 4 Réactions des étudiants face aux didacticiels

Lors de la première manipulation du didacticiel, nous demandons à une dizaine d'étudiants, choisis sur base volontaire, de bien vouloir répondre à un questionnaire, établi dans le but de récolter quelques remarques (opinions et/ou suggestions) à propos de l'utilisation d'un tel outil d'auto-apprentissage. Ce mini-sondage n'a aucune prétention d'enquête et ne permet aucune statistique. Il a pour seul objectif de nous encourager à poursuivre ou non l'expérience et de nous rendre compte des difficultés rencontrées par les utilisateurs du didacticiel, sur le terrain. Nous ne pouvions proposer l'enquête à tous les étudiants, dans la mesure où elle constituait une surcharge de travail que tous n'étaient pas prêts à accepter. Néanmoins, d'après les résultats finaux de ces étudiants volontaires, nous pouvons admettre qu'il ne s'agissait ni des meilleurs, ni des moins performants, mais bien, probablement, d'un groupe d'étudiants motivés à participer à l'amélioration de l'outil.

Les étudiants ayant accepté la tâche supplémentaire ont répondu, par écrit. Ils ont reçu le questionnaire au début de la première séance de travaux pratiques, et l'ont remis, une semaine plus tard, en début de seconde séance. Les questions posées sont :

1. En utilisant le didacticiel, notez au fur et à mesure les problèmes que vous rencontrez, les pages trop courtes, trop longues, redondantes, incompréhensibles, ce qui est bien ou mal expliqué, ...
2. En recommençant le dessin SANS didacticiel, notez les problèmes que vous rencontrez, les notions que vous n'avez pas bien assimilées, ce qui vous est apparu facile, difficile, ...
3. Avez-vous terminé la pièce et le didacticiel à la fin de la séance d'exercices ? Si non, expliquez pourquoi (si possible) et indiquez l'étape à laquelle vous vous êtes arrêté(e).
4. Quelle a été votre première réaction face au didacticiel ?
5. Que pensez-vous de l'utilisation d'un didacticiel ?
6. Quelle a été votre démarche lors de cette première séance ?

Des réponses des étudiants, nous pouvons tirer quelques commentaires intéressants, relatifs à la fois à la présentation du didacticiel, à son contenu et surtout à la méthodologie de travail employée lors de son utilisation.

#### 4.1 Du point de vue de la présentation

Une remarque spontanée a été formulée concernant la présentation du didacticiel. Un étudiant a relevé que "sa manipulation est simple". Ceci appuie le propos de McKee qui y voit une qualité essentielle d'un didacticiel, mais aussi de Tricot pour qui la navigation ne peut désenfermer l'utilisateur (page 86).

En séance, les enseignants n'ont pu relever aucune critique particulière, ni positive ni négative, quant au design. Nous pouvons raisonnablement penser qu'en étant à ce point simplifié, le didacticiel ne pose aucun problème d'utilisation.

#### 4.2 Du point de vue des contenus

Les remarques écrites par les étudiants sont, en général, très judicieuses. Ils citent quelques commandes difficiles à comprendre ou trop peu détaillées. Il est vrai que certaines sont délicates à traiter ("trim" pour le choix des entités concernées, "fillet" pour la définition du rayon de raccord, etc.). Des explications sont effectivement à revoir. Un étudiant souligne, par exemple, sa difficulté à effectuer un tableau circulaire : "je ne savais pas si l'on demandait d'abord de désigner l'objet à recopier ou le cercle sur lequel il fallait recopier cet objet"<sup>52</sup>. D'autres explications sont certainement à ajouter. Par exemple, il n'est nulle part fait mention de la manière d'effacer une entité tracée. Or, le débutant n'est pas à l'abri d'une erreur, même en suivant scrupuleusement les indications du didacticiel.

En revanche, d'autres remarques surprennent. Il semble qu'un étudiant n'ait pas trouvé d'informations relatives à la sauvegarde d'un dessin, pourtant détaillées dans la partie "*Gérer les fichiers*" : "On ne spécifie pas comment sauvegarder et on n'insiste pas dans le didacticiel comment le faire régulièrement", écrit-il. Un autre étudiant n'a pas saisi l'opportunité de dessiner sur AutoCAD®, parallèlement à la lecture du didacticiel (attitude pourtant vivement conseillée dans l'introduction de la partie "*Dessiner en 2D*"). Ceci traduit peut-être le fait que ces informations ne sont pas mises au bon endroit, pas lues du tout ou lues en diagonale et pas assimilées.

Certaines réponses traduisent aussi l'envie des étudiants d'aller plus loin, plus vite. Pourquoi le didacticiel n'explique-t-il pas comment copier simplement une entité (autre que copie circulaire ou copie parallèle) ou réaliser des raccords en arc sur un polygone en une seule opération ? L'étudiant écrit : "Il n'y a pas assez d'explications

---

<sup>52</sup> A la fois l'objet à recopier et l'endroit où le recopier étaient tous deux des cercles. Ceci a pu provoquer une confusion dans les termes du didacticiel.

pour dire comment réaliser en une seule fois des opérations répétitives (arrondir tous les coins d'une figure, par exemple)".

Ceci nous inspire deux commentaires. Le premier est de (re)préciser que le didacticiel vise à montrer, par un exemple, la réalisation d'un dessin précis. Si les opérations citées ci-dessus n'y sont pas nécessaires ou d'un niveau supérieur, elles ne sont évidemment pas décrites. L'aide en ligne prend le relais, pour apporter les compléments d'informations. Le second commentaire est relatif au bon réflexe qu'acquièrent ces étudiants en fin de première séance. Pour être capables de poser ces questions, il faut déjà avoir compris la puissance d'un logiciel de DAO. Et se poser la question du "*comment le système pourrait-il faire pour ...*" est un grand pas vers la découverte d'une nouvelle fonctionnalité.

Les difficultés rencontrées par les débutants, en refaisant le même dessin sans didacticiel, sont, très logiquement, liées aux informations manquantes ou mal expliquées dans le texte. Mais plusieurs étudiants s'accordent à dire qu'un premier dessin guidé est une expérience positive. Même si utiliser un logiciel de DAO paraît difficile au début, le didacticiel a pu lever le voile sur certains points noirs. Citons, par exemple, le tracé d'entités complexes, le démarrage d'un dessin, les outils d'accrochage.

Enfin, trois des dix réponses à la première question (relative aux problèmes rencontrés en cours de lecture) sont succinctes mais encourageantes : Le didacticiel est "bien fait", "bien expliqué", "d'un contenu facilement assimilable".

#### 4.3 Du point de vue de la méthodologie

Dans les témoignages recueillis, on distingue un léger agacement sur les longueurs des premières pages du didacticiel. Il y a une perte de temps importante lors de leur lecture. Les deux premières parties "*Gérer les fichiers*" et "*Quelques infos*" sont longues et peut-être pas tout à fait pertinentes à ce moment-là de l'apprentissage (car dépourvues de sens). De plus, elles ont déjà fait l'objet d'une présentation lors du cours magistral. Un étudiant va jusqu'à préciser avoir passé 45 minutes à les lire. Un autre avoue avoir eu envie d'abandonner le travail, à ce moment-là. Le temps consacré à la lecture des premières pages a empêché la majorité des étudiants de terminer parallèlement le dessin entamé, en 1h30 (durée d'une séance normale). Le didacticiel gagnera probablement à rendre facultative la lecture de ces pages ou à y renvoyer le lecteur au moment opportun.

Les étudiants sont venus pour dessiner, pas pour lire, et ils ne s'en cachent pas. Ceci rejoint le problème délicat (car subjectif) du temps de lecture raisonnable soulevé par Gagné & al. (page 91). Il est vrai qu'après l'observation du fonctionnement des premières séries<sup>53</sup> d'étudiants, les assistants ont pris le parti de synthétiser oralement les deux premières parties (relatives à la gestion des fichiers et à quelques informations utiles), et de suggérer, aux étudiants des séries suivantes, d'entamer directement la lecture de la troisième partie relative au dessin. Ceci a eu un double gain : consacrer le temps imparti à véritablement *dessiner*, et soutenir la *motivation* des étudiants dans la phase délicate des premiers pas.

Les avis convergent, quant à l'intérêt d'utiliser un didacticiel. Il permet d'avancer à son propre rythme, "sans attendre les instructions générales de l'assistant", donnant ainsi un sentiment d'indépendance et d'autonomie. Il permet d'approfondir l'apprentissage jusqu'où on le désire, revenir en arrière, lire et relire sans contrainte.

Le didacticiel est une aide pratique pour les débutants, un bon guide. Il est une "référence pour les exercices à venir quand on aura oublié la méthode". Il a un côté "sécurisant pour une première prise en main", précise encore un étudiant. Un autre souligne toutefois le manque d'aide du didacticiel dans certains cas. Il a encore dû interroger l'enseignant et, selon ses propres termes, "regrette de n'avoir pas été complètement indépendant".

Plusieurs méthodes de travail ont été adoptées par les étudiants, nous les avons détaillées page 104. Si elles ne sont ni bonnes ni mauvaises, force est d'admettre que certaines permettent d'atteindre plus vite l'objectif fixé pour la première séance de travaux pratiques. Les étudiants eux-mêmes les confirment. Ils émettent toutefois quelques auto-critiques intéressantes quant à leur manière de fonctionner :

- Certains ont consacré du temps à lire complètement le didacticiel et à repérer les commandes citées dans le logiciel, mais sans les essayer. Ils ont ensuite entamé une seconde lecture, accompagnée de la réalisation du dessin. Les avis sont partagés : les uns estiment avoir perdu du temps, les autres pensent s'être ainsi rassurés.
- Les étudiants ayant estimé ne pas avoir besoin du didacticiel reconnaissent avoir perdu un temps précieux et avoir eu davantage recours à l'enseignant. En curieux, ils préféreraient découvrir d'abord le contenu des menus du logiciel et essayer quelques commandes, comme le "paysage à visiter". En recommençant

---

<sup>53</sup> Une "série" représente la vingtaine d'étudiants présents en même temps dans la salle didactique.



le dessin avec l'aide du didacticiel, ils estiment n'avoir pas rencontré de problèmes pour reproduire le dessin.

- Les quelques (rares) étudiants qui ont spontanément décidé de travailler à deux estiment avoir bien compris les notions mais avoir perdu un peu de temps, dès qu'une décision devait se prendre. L'expérience semble toutefois intéressante et nous y reviendrons dans un prochain chapitre.
- Enfin, remarquons que l'introduction d'un outil hypermédia dans le processus d'apprentissage ne laisse pas oublier le traditionnel support papier. Un étudiant souligne la difficulté de lire à l'écran et regrette ne pas disposer d'une version papier du texte complet. La seule personne parlant d'un besoin d'aide extérieure a aussi préféré la version papier à la version en ligne<sup>54</sup>, pour sa souplesse de manipulation. Une recherche menée par Collaud, Gurtner et Coen rapporte le même phénomène et l'explique, entre autres, par l'apport différent du support papier : surlignage, annotations et mises en évidences personnelles, etc. (Collaud, Gurtner & Coen, 1998). L'étude de Déro et Fenouillet, citée précédemment, précise aussi que "l'impression apparaît comme indissociable à la stratégie d'apprentissage utilisée par ceux qui accèdent aux sites de formations". Gutenberg doit bien rire !

## 5 Conclusion

Sur base de nos observations et des quelques références théoriques (chapitre 3), nous sommes, à présent, en mesure d'établir une liste de critères auxquels il convient d'être attentif, lors de la conception d'un didacticiel. Nous devons veiller à :

- Ne pas multiplier les hyperliens, de manière à éviter la déconcentration du sujet et sa désorientation. Pas plus de deux niveaux de profondeur sont prévus; un maximum de deux fenêtres peuvent être ouvertes en même temps (didacticiel et aide en ligne ou didacticiel et déroulement d'une commande) (McKee 1997; Tricot, 199);
- N'utiliser aucun "ascenseur", de manière à toujours donner une vision globale de la page en cours;

---

<sup>54</sup> Il s'agit de l'annexe du syllabus décrivant en français les commandes d'AutoCAD, à peu près identique à l'aide en ligne (plus de détails, page 239).

- Aller à l'essentiel sous forme de texte et de support graphique. Les termes importants sont soulignés ou mis en évidence par un hyperlien. Les pages n'ont pas plus d'une douzaine de lignes de texte (Mayer, 1999);
- Garder une structure simple et toujours identique de la page (position figée des boutons de navigation, d'appel à l'aide, etc.);
- Ne pas commencer le didacticiel par plusieurs pages de consignes ou informations diverses non directement fondamentales à la représentation du dessin. Elles ne sont pas lues ou, au contraire, donnent le sentiment d'une perte de temps;
- Commencer par quelques messages directifs clairs, afin de provoquer la mise en action de l'apprenant (Dufresnes, 2001);
- Décrire un seul concept nouveau ou une seule commande principale par page, sans quoi une des deux informations risque de ne pas être traitée (Jay, 1983);
- Respecter le principe de contiguïté, selon lequel l'explication théorique d'une notion est proche de sa manipulation pratique (sur une, voire maximum deux pages du didacticiel) (Fleury, 1993);
- Fournir une table des matières sous forme d'hyperliens, permettant une grande liberté d'action et dont les titres peuvent constituer la synthèse des différentes phases du travail (Tricot & Bastien, 1996; Hannafin & Peck, 1988; Mayer, 1999);
- Disposer, dès le premier niveau de lecture, de l'information nécessaire à travailler. Ceci permet de garantir un temps de lecture "raisonnable" et de soutenir la motivation (Fleury, 1993);
- Choisir un exercice suffisamment complexe pour motiver et donner un sens aux notions théoriques développées, mais aussi suffisamment simple pour pouvoir être terminé dans un délai raisonnable (la fin de la séance).
- Donner une possibilité d'auto-évaluation continue, de manière à ne pas déceler trop tard d'éventuelles erreurs.

Au niveau de son contenu, le didacticiel réalisé a aussi quelques faiblesses plus difficiles à gérer. Il pourrait davantage développer les questions méthodologiques relatives au processus global de représentation. Il ne présente pas de méthode alternative qui favoriserait la discussion d'un choix stratégique. Il n'inclut ni son, ni animation. Il n'entre dans le contexte d'aucun projet.

Quant à l'expérience d'utilisation d'un didacticiel, elle est perçue positivement tant par les étudiants que par leurs enseignants.

Le didacticiel n'a pas laissé les étudiants indifférents. Ceux-ci y ont prêté un intérêt certain. Dans l'ensemble, les étudiants se souviennent de son contenu et de la succession des informations. Ils retiennent, par exemple, le nom et la pertinence des couches définies dans le didacticiel et répercutent cela dans des travaux ultérieurs.

Les étudiants ont pu travailler à leur rythme et de manière plus autonome. Ils ont globalement posé moins de questions de forme au profit d'un plus grand nombre de questions de fond.

Du côté des enseignants, l'utilisation du didacticiel a induit une motivation différente. Si l'intervention de l'enseignant dans le processus d'apprentissage reste indispensable, elle se limite à un maximum d'interventions basées sur la méthodologie du DAO plutôt que sur la manipulation pratique d'un logiciel de référence.

L'expérience d'intégration d'un didacticiel, pour aborder les notions de base du dessin 2D, nous a permis de prendre conscience des possibilités et des limites présentes dans la conception et l'utilisation d'un tel outil. Il est une expérience encourageante qui sera prise en considération, lors de la conception d'autres outils (un ou plusieurs didacticiels 3D, par exemple). Nous y reviendrons au chapitre 6.



## Chapitre 5 : Rôle de l'enseignant et de l'apprentissage en groupes

---

De nombreux problèmes se posent au débutant abordant un nouveau dessin à représenter. Parmi ceux-ci, le premier est certainement celui de déterminer "*par où commencer ?*". Au cours du travail, d'autres interrogations de méthode se poseront encore et les choix adoptés auront aussi leurs conséquences. "Penser le tracé exige de penser la succession des traits. Ainsi un trait prend-il son sens lorsqu'on le considère par rapport à ceux qui l'ont précédé" (Boudon & Pousin, 1988). Nous ajoutons : ..."*et de ceux qui vont le suivre*"!

Une lecture de plan imprécise, une structuration inadéquate, de mauvaises méthodes influencent la qualité du produit fini. Or, des choix judicieux dès le démarrage du processus de représentation peuvent considérablement diminuer le risque d'erreur (exemple, en annexe page 235). Dès lors, nous décidons d'observer l'impact que pourraient avoir différents dispositifs pédagogiques sur la capacité qu'ont les débutants à analyser leur dessin avant d'entamer sa représentation (Tourpe, Dubeau, Frenay & Lejeune, 1999).

Dans ce chapitre, nous décrivons ces dispositifs mis en place durant deux séances de travaux pratiques, au cours de l'année académique 1996-1997. Nous effectuons ensuite quelques études statistiques, afin de tenter de déceler une manière adéquate d'aborder ce problème crucial.

### 1 Revue critique de la littérature

À la suite d'observations effectuées aux séances de travaux pratiques associées au cours magistral de DAO, nous avons pu mettre en évidence certaines des difficultés qu'éprouvent les étudiants à analyser le dessin, avant même de le réaliser sur ordinateur<sup>55</sup>. Cette étape d'analyse est comparable à ce que les chercheurs en résolution de problèmes nomment la *représentation du problème*.

---

<sup>55</sup> Tourpe, A., (1996), Proposition d'étude relative à l'apprentissage "autonome" du DAO, Louvain-la-Neuve : rapport interne.

Les facultés d'ingénierie sont préoccupées par l'amélioration des curricula, mais peu de recherches formelles sont menées dans ce domaine. Ainsi, Wankat a mis en évidence le fait que très peu d'articles, portant sur la formation des ingénieurs, s'appuient sur une théorie plus large de l'éducation ou de l'apprentissage et vont au-delà de sondages d'étudiants portant sur la satisfaction par rapport à la formation suivie (Wankat, 1999).

Toutefois, les résultats des recherches en résolution de problèmes offrent suffisamment de balises sur lesquelles il est possible de s'appuyer. En effet, la recherche en résolution de problèmes démontre que le résolveur<sup>56</sup> habile procède par étapes (Poissant, 1995). Dans ses recherches, Schoenfeld (1987) retient cinq étapes. La première, l'analyse du problème, étape où le résolveur cherche à comprendre et à identifier l'objectif à atteindre. La deuxième est l'exploration des solutions possibles : le résolveur cherche à déterminer les stratégies potentiellement utilisables pour atteindre son objectif. Ensuite, vient la planification d'une ou de plusieurs stratégies de résolution. C'est à cette étape que le résolveur établit son plan d'action : il sélectionne les stratégies pertinentes, choisit une stratégie, planifie les étapes de la résolution. Vient alors l'étape proprement dite de l'application de la ou des stratégies, pour atteindre l'objectif : il résout le problème. Enfin, à l'étape de la vérification, le résolveur évalue sa réponse ou son action immédiate.

Ces étapes correspondent à trois phases. La première, *la représentation du problème*, correspond aux étapes de l'analyse, l'exploration et la planification. La deuxième phase est celle de *la solution du problème*. La dernière phase correspond à *l'évaluation* de la démarche et de la solution. Selon plusieurs auteurs (voir Tardif, 1992, pour une recension), la phase de la représentation du problème, soit les trois premières étapes mentionnées par Schoenfeld, constitue la plus importante dans la résolution d'un problème. Aussi, l'étude de Dubeau (1999) traitant de l'analyse d'une démarche de résolution de problèmes d'étudiants en ingénierie a mis en évidence que cette phase de la représentation du problème était la plus négligée par les étudiants. En effet, les étudiants ne planifient pas leur démarche et leur analyse porte uniquement sur les données perceptibles dans le problème. Il en résulte une application d'algorithmes et une difficulté à correctement résoudre le problème.

---

<sup>56</sup> Néologisme pour nommer "celui qui résout" (Paquette, G., Ricciardi-Rigault, C., de la Teja, I., Paquin, C., *Le Campus Virtuel : un réseau d'acteurs et de moyens diversifiés*, Centre de recherche LICEF, Télé-université, <http://www.licef.teluq.quebec.ca/gp/docs/pub/campus/cvrrar.doc>. Consultation octobre 2003).

Poissant (1995) soutient que les étapes et la démarche de résolution de problèmes méritent d'être "enseignées". Aussi divers modèles pédagogiques ont-ils été développés. C'est ainsi que dans la foulée de l'enseignement stratégique, l'enseignement de la démarche à privilégier a fait ses preuves, que ce soit au niveau de l'apprentissage au raisonnement clinique, en faculté de médecine (Barrows, 1992; Bédard, Tardif, Meilleur, 1996), de l'apprentissage des mathématiques au niveau collégial (Schoenfeld, 1985) ou du développement de la compréhension en lecture (Palincsar & Brown, 1984).

Dans ce type d'intervention, l'enseignant s'intéresse à élaborer, de manière interactive, une démarche type à appliquer. Il joue alors le rôle d'un tuteur<sup>57</sup>; il s'intéresse donc d'abord et avant tout au processus d'apprentissage des étudiants. Le tuteur est un expert au niveau du processus de résolution de problèmes, il ne valide donc pas l'exactitude des réponses des étudiants. Il guide leur raisonnement afin qu'ils déterminent eux-mêmes la validité de leur opinion ou de leur démarche. Il développe donc l'autonomie dans les apprentissages, en vue de leur profession future. Au début, le tuteur est très présent. Il modélise le processus de résolution de problèmes, afin de favoriser l'appropriation par les étudiants de la démarche. Graduellement, le tuteur se retire et laisse de plus en plus d'autonomie aux étudiants, afin qu'ils prennent en charge leur propre apprentissage.

Toutefois, à notre connaissance, l'intérêt du tutorat<sup>58</sup> dans la formation des ingénieurs n'a pas été étudié systématiquement. D'où l'intérêt de tester différents dispositifs, afin de mettre en évidence le type d'intervention le plus adapté à l'enseignement en ingénierie, notamment en questionnant la façon dont l'enseignant peut réfléchir, dès la planification des séances pour les étudiants, à la mise en oeuvre d'un dispositif qui puisse favoriser le transfert des connaissances à développer (Frenay, 1998; Frenay & Bourgeois, 1998).

Enfin, rappelons aussi l'intérêt que nous avons déjà porté à l'impact du travail en groupe. Le conflit socio-cognitif qu'il génère semble globalement apporter des avantages pour la résolution de problèmes suffisamment complexes, une meilleure gestion du temps et une meilleure prise en charge des enseignants, le développement

---

<sup>57</sup> *Le Petit Robert* (1994) définit le terme "tuteur" par "enseignant qui suit, assiste, conseille, soutient particulièrement un élève ou un groupe d'élèves."

<sup>58</sup> Le terme de "tutorat" signifie l'accompagnement pédagogique couvrant tous les aspects personnels ou de groupe du suivi et de l'assistance fournie à des étudiants lors de leur processus d'apprentissage à l'Université.

de comportements sociaux et méthodologiques importants pour les étudiants. Pour plus de détails à ce sujet, nous renvoyons le lecteur au chapitre 4.

## 2 Méthodologie de la recherche

Conformément à la phase de *représentation du problème*, l'utilisateur d'un système de DAO doit inévitablement "lire" le dessin avant de le représenter, que celui-ci soit simplement à reproduire ou qu'il soit une esquisse tracée à main-levée. Le dessinateur doit prévoir les différentes étapes à franchir pour réaliser son projet et pouvoir identifier les conséquences de ses choix. Conscients de l'importance de cette phase d'analyse, nous nous interrogeons sur la manière de l'enseigner.

### 2.1 Question-problème

Rappelons notre hypothèse selon laquelle, pour effectuer une analyse préalable du dessin à réaliser, il faille au dessinateur une connaissance minimale de l'outil dont il dispose, afin de pouvoir effectuer des choix stratégiques appropriés (page 29). Or, tous les étudiants travaillent avec le didacticiel lors de la première séance d'exercices. Ils reçoivent tous une démarche d'analyse de dessin, via un exemple concret, une première approche des entités 2D et un petit éventail des opérations applicables.

Si l'on tient compte de la pré-expérience décrite au chapitre 4, nous pouvons déjà dire que l'introduction du didacticiel, en plus de donner aux étudiants les mêmes bases, a favorisé l'apprentissage de certains éléments constitutifs de cette démarche d'analyse.

Mais y a-t-il encore moyen d'améliorer la qualité d'analyse atteinte après l'utilisation du didacticiel, en proposant un autre dispositif pédagogique ? La question-clé de notre expérience se résume donc comme suit :

*Les démarches d'analyse adoptées par les étudiants face à un nouveau dessin à réaliser sont-elles plus structurées/systématiques après l'un ou l'autre dispositif pédagogique ? Plus spécifiquement, nous nous intéresserons aux effets croisés que peuvent avoir des dispositifs qui associent un rôle particulier à l'enseignant, dans l'aide à l'analyse du dessin, et au mode de groupement d'étudiants, durant la séance d'exercices.*



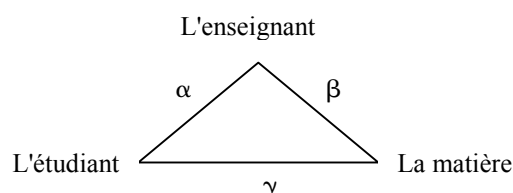
## 2.2 Echantillon

Pour nous permettre de comparer différents dispositifs pédagogiques et y déceler une amélioration significative de la qualité des démarches d'analyse, nous avons divisé les 300 étudiants inscrits au cours de DAO en première année de formation, en deux groupes distincts, répartis aléatoirement. Les étudiants du premier groupe - appelé *groupe expérimental* - suivront, lors de la seconde séance d'exercices, l'un ou l'autre des quatre dispositifs pédagogiques décrits ci-dessous. Ils sont 146, répartis en sous-groupes d'environ 20 à 25 personnes, à former le groupe expérimental. Les 159 étudiants restant forment le deuxième groupe appelé *groupe contrôle*, eux aussi répartis en sous-groupes d'une vingtaine d'étudiants. Ceux-ci suivront la seconde séance d'exercices, sans attention particulière aux problèmes des démarches d'analyse du dessin.

Il est important de préciser qu'en raison de contraintes pratiques (nombre d'assistants assignés aux séances), je prends personnellement en charge l'ensemble des étudiants du groupe expérimental (quatre séries). Les assistants assumant l'encadrement du groupe contrôle connaissent le déroulement de l'expérience et acceptent de poursuivre l'encadrement de leurs séries, comme à l'accoutumée, sans attention particulière à l'analyse du dessin. Il faut noter que ce choix qui s'est imposé, suite aux contingences locales, n'est pas sans soulever certaines questions sur le biais qu'il peut entraîner dans les résultats qui suivront. En effet, aucune opération en double aveugle n'est possible dans ces conditions. Je connais parfaitement la condition expérimentale particulière dans laquelle chaque étudiant se trouve et il n'est donc pas impossible qu'un certain effet Hawthorn ait pu se dérouler. Pour réduire au maximum cet effet, j'ai veillé à prévoir une planification écrite, très précise, du déroulement de la séance de chaque série et à toujours répondre aux questions que les étudiants pouvaient poser en séance. Cependant, il s'agit d'un biais potentiel qui pourrait affecter les résultats et je serai donc très prudente avant toute éventuelle généralisation de ceux-ci. Ceci soulève donc inévitablement la difficulté de mettre en place, en situation naturelle, un dispositif de recherche qui se veut le plus contrôlé possible. Il nécessite, inévitablement, un certain nombre de concessions, liées aux contingences matérielles et locales.

## 2.3 Dispositif expérimental

Le dispositif pédagogique classique mêle trois composantes essentielles dans le processus d'apprentissage.



Nous ne pouvons consciemment gérer toutes les interactions et tous les facteurs favorisant l'apprentissage. Aucune relation parmi ces trois ne peut être prioritaire : l'enseignant formant les étudiants ( $\alpha$ ); la transmission de la matière ( $\beta$ ) ou les étudiants l'apprenant ( $\gamma$ ).

Parmi les combinaisons possibles permettant de définir un dispositif pédagogique intéressant dans le cas qui nous concerne, nous en avons sélectionné quatre mettant principalement en jeu le rôle de l'enseignant et la manière de travailler des étudiants. La matière est plutôt considérée comme un savoir-faire à acquérir (analyser le dessin) sur lequel nous ne "jouons" pas. Chacun de ces dispositifs sera testé lors de la deuxième séance d'exercices avec, maximum, deux sous-groupes du groupe expérimental.

Dans le triangle ci-dessus, l'enseignant détient un rôle important. Tardif affirme que "il est crucial qu'il y ait des moments, dirigés par l'enseignant, où les connaissances sont prises en considération hors contexte, où les connaissances sont rendues explicites. Il est capital d'intervenir sur l'organisation de connaissances" (Tardif, 1996). Par son discours, par ses exemples, l'enseignant peut être un modèle. Pour Aubé, l'organisation des connaissances ne "pourra se faire qu'en fournissant des modèles adultes, eux-mêmes solidement structurés, cultivés, curieux et nuancés" (Aubé, 1996). Nous proposons donc de mettre en évidence la place de l'enseignant, en lui faisant tenir trois rôles. Les deux premiers seront l'objet de l'étude au sein du groupe expérimental et le troisième sera adopté dans le groupe contrôle :

- En début de séance, l'enseignant<sup>59</sup> définit une démarche d'analyse "modèle" en la discutant de manière interactive avec les étudiants, sur base de l'expérience acquise lors de l'utilisation du didacticiel;
- L'enseignant expose l'analyse ponctuellement selon les besoins et les questions posées, en cours de séance;

<sup>59</sup> Rappelons qu'il s'agit de l'assistant ayant en charge les groupes d'étudiants lors des séances de travaux pratiques.

- Il n'intervient jamais au niveau d'une démarche d'analyse et travaille comme les années précédentes.

De nos observations des étudiants, nous avons déjà souligné la spontanéité de certains à travailler par deux. Dès lors et suite à notre étude théorique du travail en groupe, nous proposons d'analyser l'impact qu'aurait le regroupement des étudiants par paires. Les quatre dispositifs à mettre à l'épreuve peuvent se résumer comme suit (résumé au Tableau 1) :

#### Description du dispositif A

L'*enseignant* écrit au tableau les étapes importantes par lesquelles il est nécessaire de passer et quelques questions intéressantes à se poser avant de démarrer un nouveau dessin. Cette phase se fait de manière interactive, avec les étudiants. L'*enseignant* insiste pour que les étudiants participent et prennent note de cette analyse. Il veille à ce que chacun soit attentif et contribue à la réflexion. Il anime le débat qui occupe, environ, une vingtaine de minutes.

Par exemple, l'*enseignant* peut synthétiser la phase d'analyse en inscrivant ceci :

1. limites du dessin, place de l'origine;
2. lignes importantes (dessin, construction, axes, ...);
3. types d'entités (cachées, visibles, cotations, ...) ♥ notion de couches;
4. symétrie exploitable (lecture de plans) ?
5. éléments identiques ou semblables (copie, blocs, ...);
6. entités de base et opérations de mise en œuvre.

Dans la suite du travail, si des étudiants doivent lui faire appel, l'*enseignant* se contente de les renvoyer aux aides disponibles ou relance un débat collectif.

Les *étudiants* reçoivent chacun un dessin (différent de celui de leurs voisins). Ils peuvent bien sûr se poser mutuellement des questions, mais n'ayant pas le même dessin, ils sont très vite obligés de chercher des solutions dans leur syllabus, l'aide en ligne ou le didacticiel. Ils travaillent seuls.

#### Description du dispositif B

L'*enseignant* intervient ponctuellement selon les besoins rencontrés. L'analyse du nouveau dessin n'est pas donnée de manière complète au tableau, en exemple, dès le départ. Elle est précisée en termes de synthèse, à la demande. L'*enseignant* répond

aux questions d'intérêt général, en insistant pour que tout le groupe écoute, mais il ne note pas systématiquement ce qu'il dit au tableau.

Mêmes caractéristiques que le dispositif A concernant les *étudiants*.

#### Description du dispositif C

Mêmes caractéristiques que le dispositif B concernant l'*enseignant*.

Les *étudiants* travaillent par deux sur une seule machine. Ils reçoivent un seul dessin. Il s'agit ici de voir si le travail entre pairs apporte une amélioration de la phase d'analyse. Les étudiants entre eux se posent certainement plus de questions de compréhension de base qu'ils n'osent en poser à l'enseignant. Pour des raisons pratiques de disposition de travail sur ordinateur, nous limitons volontairement les groupes de travail à deux personnes, sans tenter l'expérience de groupes plus grands.

#### Description du dispositif D

Mêmes caractéristiques que le dispositif A concernant l'*enseignant*.

Mêmes caractéristiques que le dispositif C concernant les *étudiants*.

Tableau 1 : Eléments des dispositifs

Dispositif adopté	Rôle de l'enseignant		Matière	Comportement des étudiants	
	Analyse ponctuelle	Analyse systématique		Ils travaillent entre pairs	Ils travaillent seuls
Dispositif A	non	oui	oui	non	oui
Dispositif B	oui	non	oui	non	oui
Dispositif C	oui	non	oui	oui	non
Dispositif D	non	oui	oui	oui	non

## 2.4 Déroulement de l'expérience

Précisons les principaux éléments qui régissent l'organisation du cours de DAO, lors de cette année académique de référence 1996-1997 :

- Le cours magistral se déroule durant 10 semaines, à raison de 2 heures par semaine. Il est une présentation magistrale des concepts généraux du DAO et des notions mathématiques de base, incluant bon nombre d'exemples affichés sur grand écran. Il se déroule de la même manière que l'année précédente (voir Tableau 9, page 240);
- Des séances d'exercices ont lieu durant 12 semaines, à raison d'1 heure 30 par semaine. Les étudiants (rassemblés par groupes de maximum 28 personnes) y sont encadrés par un assistant. Ils disposent chacun d'un PC sur lequel est installé le système de DAO AutoCAD® (version 12);
- Les étudiants ont accès à l'aide en ligne d'AutoCAD® (complexe et en anglais) et à un syllabus (écrit par l'équipe enseignante) comprenant, en plus des notions principales abordées lors des cours magistraux, une annexe descriptive des commandes du logiciel (en français);
- Pour l'apprentissage du dessin en deux dimensions, les étudiants disposent du didacticiel 2D (décrit au chapitre précédent), auquel ils peuvent accéder à n'importe quel moment;
- Enfin, les étudiants reçoivent un "guide de séance" (format papier) c'est-à-dire la description des objectifs spécifiques à la séance de travaux pratiques, les concepts importants à maîtriser en fin de séance, les propositions d'exercices et une liste de questions de réflexion<sup>60</sup>.

Le cours est divisé en deux parties principales : l'apprentissage du dessin en deux puis en trois dimensions. L'expérience méthodologique y est donc menée en deux phases consécutives (Tableau 2 et Tableau 3).

#### 2.4.1 Déroulement du dispositif en 2D

Lors de la première séance de travaux pratiques, à la fois les étudiants du groupe expérimental et ceux du groupe contrôle abordent leur apprentissage à l'aide du didacticiel 2D.

---

<sup>60</sup> Ces questions sont ouvertes, ne nécessitant pas une réponse immédiate, mais bien un approfondissement du concept présenté. Par exemple : Quelle est la nécessité des lignes de construction ? Faut-il en définir "beaucoup" ? Quel est le rôle des vues ? Comment décider des différentes couches du dessin ?.

La séance suivante, le groupe contrôle poursuit cet apprentissage du dessin 2D de manière classique, c'est-à-dire que l'assistant, comme les deux années précédentes, guide le groupe pas à pas pour la réalisation d'un nouveau dessin. Il n'attire pas d'attention particulière sur les méthodes de résolution, ni sur l'analyse préalable du dessin. Les étudiants du groupe expérimental travaillent selon l'un des quatre dispositifs décrits ci-dessus.

Tableau 2 : Déroulement du dispositif 2D en 1996-1997

Séance 1	Séance 2		Séance 3	Séance 4	Séance 5
Didacticiel 2D	Groupe expérimental divisé en 4 sous-groupes	Dispositif A	Dessin-test (seul)	Ex. math.	Test 2D
		Dispositif B			
		Dispositif C			
		Dispositif D			
	Groupe contrôle	Séance classique			

Lors de la troisième séance d'exercices, les étudiants du groupe contrôle et du groupe expérimental reçoivent un nouveau dessin à réaliser. Ils ne le connaissent pas, à l'avance, quel que soit le groupe auquel ils appartiennent. Ils se mettent individuellement en situation de test et réalisent le dessin seul, sans aide de l'enseignant (du moins du point de vue de l'analyse). Ils disposent du didacticiel, de leurs notes, du syllabus et de l'aide en ligne. Nous étudierons, plus en profondeur, l'impact de cette séance dans la suite du chapitre.

La quatrième séance d'exercices est réservée aux divers problèmes mathématiques. Il s'agit d'une séance de géométrie analytique, pour laquelle nous n'étudierons pas l'impact, dans le cadre de cette recherche.

La cinquième séance d'exercices est consacrée au test 2D des étudiants. Celui-ci est obligatoirement individuel et sans aucune intervention de l'enseignant, puisque

partie intégrante de l'évaluation finale<sup>61</sup> du cours de dessin. Il a lieu pour tous les étudiants des deux groupes.

#### 2.4.2 Déroutement du dispositif en 3D

D'un point de vue chronologique, nous adoptons un schéma semblable d'observations quand les étudiants abordent le dessin en trois dimensions. La différence essentielle est l'*inexistence d'un didacticiel 3D*. Les étudiants n'ont donc pas de dessin-modèle, contrairement à la situation précédente.

Deux séances (séances 6 et 7) sont consacrées à l'étude des changements de repères, des vues et une première approche de l'espace à trois dimensions en termes de surfaces. Celles-ci sont en partie guidées par l'enseignant. Aucune méthode, à proprement parler, n'est discutée lors de ces exercices.

La huitième séance, nous adoptons, comme en 2D, les quatre dispositifs pédagogiques décrits précédemment. Les étudiants travaillent donc seuls (dispositifs A et B) ou par deux (dispositifs C et D). Le début de la huitième séance, consacrée aux démarches d'analyse de nouveaux dessins dans le cas des dispositifs pédagogiques A et D, se transforme surtout en une discussion avec les étudiants, permettant de mettre le doigt sur différentes catégories de difficultés. Quelques exemples sont commentés. Quelques questions sont posées : faut-il encore définir des limites ? Pourquoi ? Faut-il définir des vues ? Si oui, lesquelles ? Quels avantages peut-on en tirer ou quelles difficultés cela apporte-t-il ? Quels volumes canoniques constituent l'objet à dessiner ? Etc.. Petit à petit, l'enseignant déduit et inscrit au tableau une démarche possible de réalisation du dessin proposé. Au cours des dispositifs B et C, l'enseignant propose des pistes de réflexion, semblables à celles décrites ci-dessus, au fur et à mesure de l'élaboration du dessin par les étudiants et en fonction des questions qui se présentent. D'un groupe à l'autre, les informations données par l'enseignant ont donc varié. Toutefois, les groupes ayant suivi les dispositifs A et D ont obtenu des informations plus complètes et plus méthodiques.

Lors des séances suivantes, les étudiants reçoivent une série de dessins à réaliser au choix. Vu le temps imparti et assez restreint pour aborder à la fois les trois

---

<sup>61</sup> D'un point de vue éthique, il est important de signaler que les résultats officiels de l'évaluation des tests 2D et 3D diffèrent des résultats considérés dans le cadre de cette expérience. En effet, les notes attribuées ont été revues de manière à ne désavantager aucun étudiant. Etant donné la supériorité des résultats du groupe expérimental, les étudiants du groupe contrôle ont vu leurs notes augmentées.

techniques de dessin dans l'espace et la géométrie analytique, nous n'avons pas procédé, comme en 2D, à un test en neuvième semaine, c'est-à-dire juste après l'un des dispositifs mis en place. Nous nous contenterons donc d'analyser brièvement les résultats du test final<sup>61</sup> (séance 12), bien que celui-ci ne puisse nous garantir, seul, une amélioration de la capacité d'analyse des étudiants, suite à l'un des dispositifs. La seule information que nous pourrions éventuellement extraire de cette étude sera l'impact que pourrait avoir une séance particulière sur le résultat final des étudiants.

La chronologie de cette seconde partie des travaux pratiques est reprise dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Déroulement du dispositif 3D en 1996-1997

Séances 6 et 7	Séance 8		Séances 9 et 10	Séance 11	Séance 12
Etude des bases du 3D: entités, repères, vues, ...	Groupe expérimental divisé en 4 sous-groupes	Dispositif A  Dispositif B  Dispositif C  Dispositif D	Dessins 3D surfaces et volumes	Ex. math.	Test 3D
	Groupe contrôle	Séance classique			

Globalement, nous observons plusieurs difficultés influençant aussi le processus d'analyse d'un dessin 3D, mais celles-ci sont plus complexes à cerner.

Le rôle de l'enseignant est important dans la mesure où il est délicat de déterminer *une bonne* démarche d'analyse pour réaliser un dessin 3D. En effet, reprenons l'exemple concret décrit page 35, où l'on peut observer deux manières d'analyser la réalisation d'un bâtiment 3D. Rappelons que la réalisation de ce bâtiment consiste, pour les uns, en l'assemblage d'éléments 3D à la manière de l'architecte (les murs, le toit, etc.) et, pour les autres, en la soustraction de volumes inutiles d'un volume plein représentant l'édifice, selon une démarche proche de celle du mécanicien. Quelle méthode l'enseignant doit-il favoriser ?

Du côté du logiciel, les outils à disposition en 3D (dans la version disponible au moment de l'étude) sont sensiblement différents du 2D et peuvent surprendre. Il



n'est, par exemple, pas possible de sélectionner avec précision le centre d'une sphère alors qu'un outil d'accrochage permet de sélectionner, sans problème, le centre d'un cercle. Ce type de restriction implique une plus grande rigueur dans la méthodologie.

Certaines questions essentielles en 2D deviennent plus difficiles à motiver en 3D. Citons l'exemple des limites du dessin qui n'ont plus tout à fait le même sens puisqu'elles permettent de définir les limites du plan du "sol" sur lequel se pose l'objet 3D, laissant libre l'élévation de celui-ci. Le rôle des couches, bien que très clair au niveau du concept, devient plus difficile quand il faut gérer l'union ou la soustraction de deux objets de couches différentes.

Certains dessins demandent une attention toute particulière quant à l'ordre des opérations booléennes à appliquer. Si nous prenons l'exemple de la bielle ci-dessous (Figure 4), il n'est pas aisé de comprendre que la soustraction du cylindre de la tête de bielle (pour percer la tête) ne peut se faire qu'après avoir aussi dessiné les parties latérales de celle-ci. En effet, intuitivement, cette soustraction se fait après le dessin de la tête. Or, le tracé des côtés la traverse, obligeant le dessinateur à percer, de nouveau, la tête. Une double opération inutile, quand on analyse correctement l'ordre des opérations. Il ne suffit plus de connaître l'ensemble des opérations à effectuer mais il faut aussi comprendre l'objet à dessiner, pour en déduire un *ordre judicieux* de réalisation.

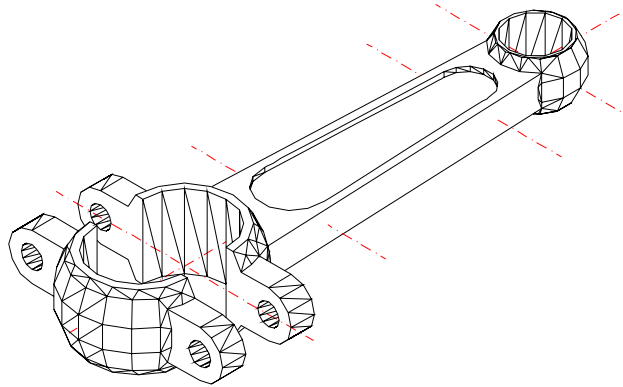


Figure 4 : Dessin 3D - bielle

Enfin, s'il est aisé de supprimer certains traits en 2D (traits existant tels quels ou éventuellement à extraire d'une entité plus large), l'opération équivalente en 3D peut

s'avérer catastrophique. Lorsqu'un objet 3D est constitué d'autres éléments unis, soustraits ou d'intersections de plusieurs éléments, il devient très difficile, voire impossible, d'effectuer l'opération inverse, qui consisterait à récupérer l'entité 3D de départ, sans avoir à tout recommencer. L'opportunité de chaque opération booléenne, de chaque coupe dans un volume doit être soigneusement analysée avant d'être (souvent irrémédiablement) effectuée.

On le comprend très bien grâce à ces quelques exemples, la démarche d'analyse en 3D, quoique capitale pour mener à bien le projet de dessin, est une phase du travail particulièrement délicate. Dès lors, comment aider les étudiants à mettre en évidence cette méthode et à dégager, du dessin, les parties plus délicates ?

### 3 Mesure des variables

La première catégorie de variables – les variables que nous avons manipulées ou variables indépendantes - décrit les modalités des quatre dispositifs. La deuxième catégorie de variables vise, d'une part, à mesurer la qualité d'analyse des dessins (analyse du problème, exploration de solutions possibles et planification de stratégies) et, d'autre part, à évaluer l'application d'une des stratégies.

Les noms et valeurs possibles des différentes variables décrites ci-dessous sont repris en annexe, pages 246 et suivantes.

#### 3.1 Variables relatives aux quatre dispositifs pédagogiques

Pour identifier le dispositif pédagogique appliqué à chaque étudiant du groupe expérimental, nous avons utilisé deux variables distinctes qui nous permettront, lors des études statistiques, de mettre en évidence les rôles tenus par l'enseignant et/ou les étudiants (Tableau 10, page 246).

Sur base de la description des dispositifs, nous choisissons l'emploi d'une variable pour caractériser le regroupement des étudiants :

- L'étudiant analyse et représente seul son dessin;
- Il analyse et représente un même dessin avec l'aide d'un pair.

Une seconde variable permet de caractériser le rôle tenu par l'enseignant dans le dispositif :

- Il intervient de manière ponctuelle à la demande des étudiants;
- Il synthétise de manière interactive une démarche d'analyse type.

Ces deux variables sont attribuées indifféremment à l'un ou l'autre sous-groupe du groupe expérimental. Nous verrons, plus loin, que ce choix est sans influence, puisque les étudiants y sont répartis aléatoirement.

### 3.2 Mesure de la qualité des dessins

Non seulement nous souhaitons déterminer les différentes démarches d'analyse adoptées par les débutants au démarrage d'un nouveau dessin mais, en plus, nous souhaitons "mesurer" le niveau de qualité de ces démarches. Quand nous parlons de qualité, nous pensons surtout à une analyse bien structurée du problème posé, à une démarche de travail à la fois systématique et efficace.

Nous choisissons donc "le niveau de qualité d'analyse au démarrage d'un nouveau dessin" comme variable dépendante de notre plan d'expérience. Mais qu'entendons-nous par "bonne" ou "meilleure" qualité d'analyse ? Cette variable n'en cache-t-elle pas effectivement une série d'autres ?

Analyser le dessin, c'est pouvoir le décomposer mentalement, en gardant à l'esprit les avantages de l'utilisation d'un système de DAO et ses limites. L'ordinateur calcule vite mais ne prendra pas d'initiative et il ralentira son travail proportionnellement (proportion non nécessairement linéaire) à la quantité d'informations à traiter. Dès lors, il convient de réfléchir au nombre d'informations à gérer. Or, le temps de calcul est un facteur à prendre en compte, lors de la génération de rendus réalistes. La structuration des informations est capitale aussi si le dessin doit être imprimé ou diffusé à d'autres intervenants. Bref, quelques questions pertinentes, dès le départ, peuvent garantir de meilleures chances d'atteindre l'objectif final. Par exemple :

- Est-ce un dessin 2D ou 3D ?
- Quelles sont les dimensions du dessin ?
- Quels en sont les axes principaux ?
- Quelles sont les lignes ou repères qui aideront à sa construction ?
- Quelles entités graphiques de base (lignes, cercles, ...) le composent ?

- Quelles opérations faudra-t-il envisager pour les assembler ?
- Toutes les entités à dessiner ont-elles le même statut ?

Toutes ces questions, et bien d'autres encore selon le dessin (cotations, impression, exportation, ...), doivent être posées et solutionnées avant le démarrage, du moins partiellement, par le dessinateur. Selon les réponses apportées, il démarrera son travail d'une manière ou d'une autre. Un mauvais démarrage pouvant entraîner de gros problèmes (erreurs, lourdeur de la quantité d'informations ou du temps de calcul, ...), il est capital de consacrer le temps nécessaire à une réflexion en profondeur des différentes étapes amenant progressivement au dessin final.

Nous l'avons déjà souligné : avec l'expérience, cette phase d'analyse est de plus en plus rapide. L'expert peut très vite dégager les éléments pertinents du dessin. Mais comment amener un débutant à acquérir, à son tour, ces bons réflexes de travail, en un temps restreint ? Il est clair aussi qu'en cours de réalisation du dessin, de nouvelles étapes d'analyse surgiront et de nouveaux choix seront posés. En connaissance de cause, le dessinateur devra y faire face selon les mêmes principes qu'en phase initiale.

Ci-dessous, nous décrivons l'ensemble des variables telles, qu'elles ont été opérationnalisées pour caractériser la qualité d'analyse des dessins.

### 3.2.1 Variables relatives à la représentation du problème

Concernant la *représentation du problème*, première des trois phases dans un processus de résolution de problème (page 118), nous répertorions quatre critères (répartis en 10 variables décrites en annexe, Tableau 11 à Tableau 15, pages 247 et suivantes) qui permettent de mesurer l'analyse du problème, l'exploration des solutions possibles et la planification d'une stratégie choisie.

#### Définition de limites adéquates

En général, avant de commencer un nouveau dessin, le dessinateur qui utilise du papier et un crayon va évaluer la taille de son dessin, par rapport à la feuille dont il dispose, choisir des unités de mesure et une échelle de grandeur. C'est ainsi qu'il peut choisir, par exemple, un format de papier A3, une unité de mesure telle que le centimètre et une échelle de grandeur de 1/100 ("un centimètre sur papier = un mètre dans la réalité").

En DAO, la première démarche à effectuer avant de se lancer dans la réalisation concrète du dessin est aussi de définir son espace de travail. Et pour cela, il convient de comprendre une différence essentielle entre DAO et dessin classique.

Cette différence concerne les unités de mesure. En DAO, nous ne parlerons plus de millimètres ni de centimètres mais d'*unités graphiques*. La zone de travail apparaissant sur l'écran de l'ordinateur est généralement rectangulaire. Si tout le dessin apparaît à l'écran, les limites du dessin sont alors les bords de ce rectangle, exprimés en unités graphiques dans le système de coordonnées du dessin et elles ne correspondent pas obligatoirement aux limites de l'écran. Les dimensions du rectangle, qui contiendra le dessin dans son entièreté, sont définies selon le type de dessin à réaliser, puisqu'une unité graphique peut aussi bien représenter, dans la réalité, un centimètre, un kilomètre, un pouce, un angström, etc. Ceci est indépendant de l'impression finale sur papier, pour laquelle il sera encore possible de redéfinir de nouvelles échelles.

Si la définition des limites du dessin n'est pas la préoccupation première des professionnels, elle reste néanmoins une étape capitale pour le débutant. En effet, à ce stade, le dessinateur débutant a très peu (voire pas du tout) conscience que l'espace de modélisation<sup>62</sup> dont il dispose est "illimité". Et très facilement, il démarre un dessin n'importe où au risque de s'y perdre ou de devoir régulièrement effectuer des opérations supplémentaires (au niveau des "zoom", par exemple). Selon le dessin à représenter, la définition des limites de l'espace de modélisation (et de ce fait, la position d'un repère OXY global) diffère. La représentation d'un plan d'immeuble ou celle d'une pièce mécanique n'ont rien en commun du point de vue de la taille. Et ce sont les limites de cet espace qui aideront le dessinateur à représenter aussi bien l'un que l'autre, en tirant au maximum profit de la taille de l'écran.

Ce concept de limites, s'il est important d'en connaître l'existence, ne se concrétise pas de la même manière, dans tous les logiciels. Ainsi, AutoCAD® dispose d'une commande permettant de définir les limites, alors que d'autres logiciels ne donnent pas l'occasion de les fixer et laissent l'utilisateur dessiner dans l'espace infini.

Il est aussi possible d'afficher, à l'écran, une série de points, dont les espacements en X et en Y sont définis par l'utilisateur. Cette grille n'est qu'une aide visuelle pour le dessinateur; on ne pourra donc pas la sortir sur une table traçante ou une imprimante. La grille visuelle peut compléter la grille de calage (sorte de grille

---

<sup>62</sup> Rappelons qu'il s'agit de la modélisation au sens où le dessin est réalisé en tant que "modèle" qu'il est ensuite possible de manipuler, en vue de son impression, ses modifications, etc.

aimantée) et même se confondre avec elle, ce qui permet de sélectionner sans erreur les points de la grille ainsi définie. Ce sont aussi les limites du dessin qui déterminent la position de telles grilles, dans AutoCAD®.

*Nous considérons donc comme importants pour des débutants, la définition des limites du dessin, le soin apporté à les redéfinir si nécessaire et l'attention portée à ne pas les dépasser.*

#### Définition de couches (aussi appelés calques)

Il faut imaginer les couches comme une superposition de feuilles transparentes, sur lesquelles on représente une série d'entités du dessin ayant un rapport "logique" entre elles. L'organisation en couches n'est évidemment pas déterminée de manière unique, mais tente de respecter cette "logique". Le nombre de couches n'est pas limité. Chacune porte un nom d'identification et une série de caractéristiques définies par défaut, telles que, par exemple, la couleur et le type de trait des éléments qu'elle contient.

Plusieurs opérations de visualisation sont possibles sur les couches et en font un élément de structuration très intéressant. Si nous prenons l'exemple d'un plan de bâtiment, nous pouvons imaginer une série de couches comportant les murs, le circuit électrique, les cotations du bâtiment, les ouvertures, etc. Dans le cas où un des intervenants désire ne visualiser que les entités qui le concernent, il lui suffit d'activer uniquement la couche correspondante.

La notion de couche est donc un concept visant l'organisation du dessin. Les couches permettent un meilleur contrôle du dessin, avant que celui-ci ne devienne complexe ou trop dense. La mise en couches d'un dessin permet de gérer, visualiser, imprimer certains aspects précis, séparément ou de manière combinée. Elle permet aussi le partage de certaines informations aux différents exploitants d'un même dessin.

On le comprend aisément, la structuration du dessin en couches est primordiale pour la représentation, la compréhension et l'exploitation d'un dessin. *Nous insistons donc sur la définition d'un nombre adéquat de couches, portant des noms significatifs de leur contenu et comprenant des éléments groupés logiquement entre eux.*

#### Tracé des lignes de construction

La réalisation de dessins demande souvent le tracé de certaines lignes d'aide, ne faisant pas partie intégrante de la pièce, mais permettant une représentation plus

aisée de leurs plans. C'est le cas de certaines entités géométriques, permettant de construire des points particuliers non cotés. Quelques traits de la Figure 5 existent dans le seul but de "construire" un arc de cercle dont on connaît le rayon mais pas précisément le centre. C'est aussi le cas des lignes de rappel, permettant d'aligner les différents profils 2D d'une même pièce.

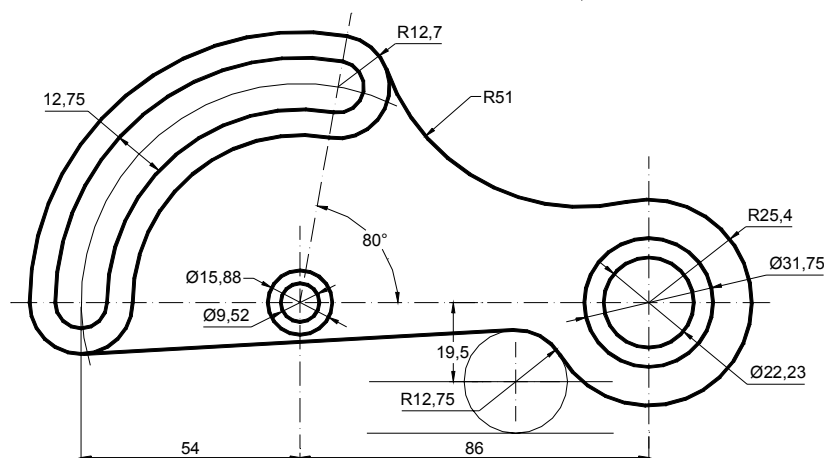


Figure 5 : Exemple de traits d'axe et de construction

Une mauvaise habitude de débutant consiste à d'abord tracer un canevas de lignes de construction, avant d'entamer réellement le dessin d'une pièce. Il n'est pas rare de voir, par exemple, le tracé de 4 lignes de construction sous le futur tracé d'un rectangle, alors que celui-ci peut se représenter sans construction préalable. Il est aussi courant de trouver sous chaque ligne d'un plan de bâtiment, par exemple, une ligne de construction inutile. Ceci a au moins trois effets de bord non négligeables. Le premier est de gonfler inutilement la base de données des entités à gérer par le logiciel et donc ralentir ses calculs; le second est, contrairement à l'intention de départ, de prêter à confusion quand de nombreux traits sont proches et parallèles les uns aux autres; et le troisième, de provoquer une perte de temps à représenter deux fois toutes les entités. La même Figure 5 montre l'exemple d'un profil de pièce où figurent les traits de construction et quelques axes.

D'autres entités faisant davantage partie du dessin sont à représenter pour faciliter la compréhension des plans. C'est le cas des traits d'axes et des lignes "cachées" (généralement en traits "interrompus") figurant sur les plans 2D. Tous ces traits, de statut différent, doivent figurer dans les couches qui leur sont attribuées. On observe fréquemment des confusions dans leur tracé et leur organisation.

*Une bonne analyse au démarrage du dessin doit permettre de déterminer les axes et réduire au strict nécessaire le nombre de constructions et lignes de rappel.*

### Lecture de plans

Enfin, nous disposons aussi d'informations relatives à *la précision du travail et la lecture du plan* pour le dessin réalisé lors de la séance 3. La précision du dessin est correcte si les outils d'accrochage adéquats sont utilisés. Par exemple, un point à l'intersection de deux traits se sélectionne, non pas visuellement à l'écran, mais bien par calcul en utilisant l'outil "int to". Quant à la validité du plan représenté, il dépend, d'une part, de la précision apportée au dessin mais surtout, d'autre part, à l'interprétation de certaines constructions géométriques ou de certaines dimensions manquantes.

Les deux variables qui correspondent à ces deux critères sont de type binaire. Elles permettent uniquement de dire s'il y a ou non des erreurs. Elles ne précisent ni combien, ni de quel type d'erreur il s'agit. L'ensemble des variables décrites sont mesurées par l'enseignant, suite à la correction des dessins réalisés.

#### 3.2.2 Variables relatives à la solution du problème

La seconde phase du travail, dans le processus de résolution de problème, concerne sa solution. Il s'agit d'appliquer une stratégie précise, conséquente à des choix préalables et raisonnés. Pour mesurer cette phase, nous disposons principalement de *trois dessins* :

- Le test (ne comptant pas officiellement pour l'évaluation finale du cours), organisé lors de la troisième séance de travaux pratiques, est noté sur 10. Cette note est une addition arithmétique des différents critères repris ci-dessus.
- Le test de la cinquième séance et le test de la douzième séance, comptant pour l'évaluation finale, sont aussi notés sur 10, en tenant compte de tous les ingrédients importants d'un dessin 2D et 3D. Comme dans le cas du test précédent, la note sur 10 n'est pas une appréciation globale, mais bien une addition arithmétique de points obtenus, selon la présence ou non des différents éléments constitutifs du dessin.

Les corrections de ces trois tests sont effectuées par l'enseignant, conformément à une grille de critères de qualité, tels que décrits au point 3.2.1 de ce chapitre.



En termes d'application d'une stratégie particulière, notons aussi la capacité qu'a l'étudiant à chercher à résoudre ses problèmes de représentation. L'étudiant tente-t-il de trouver de l'aide dans les informations dont il dispose ? L'étudiant tente-t-il de trouver de l'aide auprès des personnes présentes dans la salle ?

Dix minutes avant la fin de la troisième séance réservée au test individuel, les étudiants du groupe expérimental reçoivent un questionnaire, permettant de cibler la manière dont ils ont géré leur travail. Nous avons ainsi pu collecter des informations personnelles caractérisant (Tableau 16 et Tableau 17, page 249) :

- leur utilisation ou non d'outils d'aide (calculatrice, syllabus, didacticiel 2D, notes de cours ou aide en ligne des commandes);
- leur nécessité ou non de redéfinir de nouvelles limites;
- leur nécessité ou non de faire appel à une personne-ressource.

### 3.2.3 Variables relatives à l'évaluation de la stratégie

Dernière phase du processus de résolution de problème : son évaluation. Dans le questionnaire cité ci-dessus, l'étudiant était aussi invité à préciser s'il avait utilisé des outils internes au logiciel lui permettant de s'auto-évaluer. Ces outils sont, par exemple, DIST<sup>63</sup> (vérification d'une distance), ID-POINT (vérification de coordonnées de points) et DIM (cotation d'entités). L'utilisation d'un ou de plusieurs de ces outils prouverait, de la part de l'étudiant, sa volonté de vérifier son travail en cours, de manière autonome (Tableau 18, page 250).

## 4 Effets observés des différents dispositifs pédagogiques

De toutes les données collectées ci-dessus, nous pouvons tirer quelques informations. Nous vérifions d'abord le caractère aléatoire de la composition de nos groupes et sous-groupes, en comparant leurs résultats dans d'autres disciplines. N'ayant à notre disposition que les notes des cours de dessin classique et d'informatique, nous nous limiterons à observer ces seules données. Ensuite, nous étudions l'impact des dispositifs pédagogiques sur la qualité d'analyse en 2D et sur le test 2D, puis nous tentons de déceler le rôle éventuel de la huitième séance (dispositifs A, B, C et D en 3D) sur le test 3D.

<sup>63</sup> L'expérience s'étant déroulée pratiquement avec le logiciel AutoCAD®, certains concepts qui suivent portent le nom utilisé par ce logiciel. Ceci ne nuit ni à la compréhension ni aux résultats de l'expérience, puisqu'il s'agit bien de notions globales, non spécifiques au produit.

#### 4.1 Caractéristiques de l'échantillon

A l'observation rapide mais subjective des histogrammes, il semble que les variables citées ci-dessus n'ont pas une distribution "normale". Ceci est confirmé par les tests<sup>64</sup> de normalité (test du chi-carré et test de Kolmogorov-Smirnov repris en annexe, Tableau 19, page 250). Nous tiendrons compte de cela dans l'ensemble des statistiques effectuées, en préférant les tests non paramétriques aux tests paramétriques<sup>65</sup>.

Pour nous assurer du caractère aléatoire de la répartition des étudiants en sous-groupes, nous avons comparé leurs résultats dans les deux disciplines pour lesquelles nous en disposons : le cours d'informatique et le cours de dessin classique (ou dessin de conception). D'après le test de Kruskal-Wallis, nous acceptons l'hypothèse d'égalité des moyennes entre les sous-groupes pour les deux cours ( $\chi^2_{118,3} = 3.256$ ;  $p=0.354$  pour l'informatique et  $\chi^2_{119,3} = 0.105$ ;  $p=0.991$  pour le dessin classique). Sur base de ces deux seuls cours, nous considérons qu'aucun sous-groupe n'est supérieur à un autre.

#### 4.2 Impact des dispositifs pédagogiques sur les tests 2D et 3D

Un des premiers résultats qui nous intéresse directement, avant même de détecter quel dispositif pédagogique a été le plus approprié, est de savoir s'il existe ou non, globalement, une différence significative entre les résultats obtenus au test 2D par les étudiants du groupe expérimental et ceux du groupe contrôle (histogrammes Figure 6).

*Les résultats obtenus par les étudiants du groupe expérimental au test 2D (organisé en cinquième semaine de travaux pratiques) sont-ils supérieurs aux résultats obtenus par les étudiants du groupe contrôle ?*

Nous devons éprouver l'hypothèse qui affirme que la moyenne des résultats est identique dans les deux groupes, contre l'hypothèse alternative qui affirme, au

---

<sup>64</sup> Le seuil de signification des tests statistiques est noté "p". La valeur pivot de 0.05 est choisie comme seuil d'acceptation.

<sup>65</sup> Il importe donc de rester prudent quant aux résultats obtenus dans la mesure où les tests non-paramétriques sont moins "puissants" que les tests paramétriques. Ils augmentent les chances d'obtenir une erreur de type II c'est-à-dire qu'il y a plus de chances d'accepter qu'il n'y a pas de différence entre des groupes (accepter H0) quand, en réalité, il y a une différence (accepter H1) (Field, 2000).

contraire, que la moyenne des résultats du groupe expérimental est supérieure à celle du groupe contrôle.

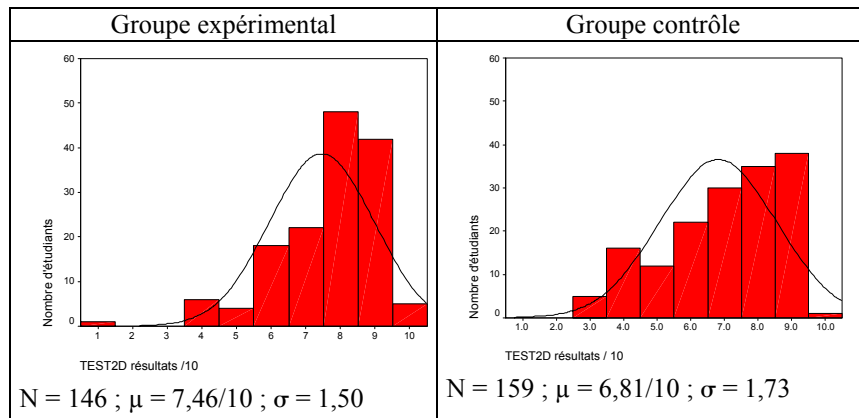


Figure 6 : Histogrammes "Test 2D"

Selon les statistiques calculées par le test U de Mann-Whitney ( $U=8825$ ;  $p=0.001$ ), on rejette l'hypothèse  $H_0$  au profit de l'hypothèse  $H_1$ . Les résultats des étudiants du groupe expérimental sont meilleurs, pour le test 2D, que ceux du groupe contrôle.

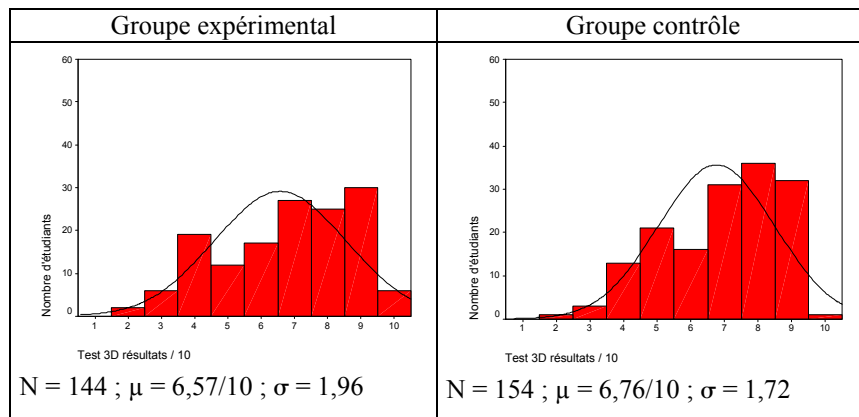


Figure 7 : Histogrammes "Test 3D"

*Les résultats obtenus par les étudiants du groupe expérimental au test 3D (organisé en douzième semaine de travaux pratiques) sont-ils supérieurs aux résultats obtenus par les étudiants du groupe contrôle ?*

En éprouvant l'hypothèse d'égalité des résultats contre l'hypothèse alternative, nous n'obtenons aucune différence significative entre les deux groupes ( $U=10617$ ;  $p=0.525$ ). Dans ce cas, nous ne pouvons conclure à une réelle amélioration de la démarche d'analyse, en fonction d'un dispositif pédagogique décrit précédemment, vis-à-vis du groupe contrôle (histogrammes, Figure 7).

Que ceci ne nous empêche pas d'observer quelques résultats intéressants, à l'intérieur même du groupe expérimental.

#### 4.3 Impact des dispositifs pédagogiques sur le groupe expérimental

Nous mesurons ci-dessous l'impact des quatre dispositifs pédagogiques mis en place sur les trois tests qu'ont connus les étudiants du groupe expérimental : le test de la troisième séance d'exercices, le test 2D et le test 3D.

##### 4.3.1 Impact des dispositifs pédagogiques sur les résultats de la séance 3

Avant de comparer les moyennes des différents groupes, voyons la description de ceux-ci (nombre d'étudiants concernés, moyenne et écart-type) repris au Tableau 4.

Tableau 4: Description des groupes

	Dispositif A	Dispositif B	Dispositif C	Dispositif D
N	39	19	6 <sup>66</sup>	39
Mean	7,04	6,67	7,56	7,29
Std. Deviation	1,47	1,77	1,21	1,74

Une des premières observations que nous sommes tentés de faire est de déterminer si, dès la troisième séance de travaux pratiques, il est déjà possible de détecter un quelconque impact du dispositif pédagogique mis en place lors de la séance précédente.

<sup>66</sup> Notons que parmi les étudiants ayant suivi le dispositif C, vingt d'entre eux sont des étudiants en architecture, en seconde année de formation. Ils n'ont pas, contrairement aux autres et pour des raisons indépendantes de cette expérience, participé au test de la troisième séance.

*Parmi les étudiants du groupe expérimental, quels sont ceux qui ont obtenu des résultats supérieurs au dessin réalisé lors de la troisième séance ? En d'autres mots, quel dispositif pédagogique semblerait avoir eu un impact sur le résultat obtenu ?*

Testons ensuite les hypothèses qui comparent les résultats obtenus par les différents groupes d'étudiants. Nous commençons par les étudiants ayant suivi les dispositifs A et D, face aux étudiants ayant suivi les dispositifs B et C. En d'autres termes, nous comparons les étudiants pour lesquels le rôle de l'enseignant diffère, puisque dans le premier cas (A et D), l'enseignant résume une démarche d'analyse en début de séance alors que, dans le second cas, l'enseignant intervient ponctuellement en cours de séance (B et C). Le rôle de l'enseignant, lors de la deuxième séance, est-il déjà perçu dès la troisième séance ?

Voyons aussi ce qu'il en est au niveau de la manière de travailler des étudiants. Il s'agit ici de comparer les étudiants qui travaillent seuls, face à une machine (dispositifs A et B) à ceux qui travaillent par deux (dispositifs C et D). L'hypothèse retenue est que ces derniers devraient avoir échangé davantage pendant la phase d'apprentissage et devraient donc avoir approfondi davantage leurs démarches.

D'après les statistiques de Mann-Whitney ( $U=787; p=0.231$ ) et ( $U=1134; p=0.279$ ), nous ne pouvons observer une amélioration significative dès la troisième séance. Nous expliquons ce résultat par le manque d'expérience qu'ont les étudiants après une seule semaine de recul. Nous avons émis l'hypothèse, dans les objectifs du cours (voir page 29), qu'un "certain niveau" d'expérience nous semblait être une des conditions nécessaires à l'apprentissage. Cette hypothèse se vérifie ici.

Si nous examinons l'effet croisé des deux variables (rôle de l'enseignant et manière de travailler de l'étudiant), pour comparer les résultats obtenus lors de la troisième séance dans les quatre sous-groupes expérimentaux (fonction du dispositif pédagogique), nous ne pouvons rien conclure. En effet, le test de Kruskal-Wallis ( $\chi^2_{102,3} = 2.064; p = 0.559$ ) ne nous permet pas d'affirmer la supériorité d'un groupe par rapport à un autre.

#### 4.3.2 Impact des dispositifs pédagogiques sur les résultats du test 2D

Reprenons le même schéma d'étude que ci-dessus. Avant de comparer les moyennes des différents groupes, voyons leur description (nombre d'étudiants concernés, moyenne, déviation standard et graphes de fréquences, Figure 8).

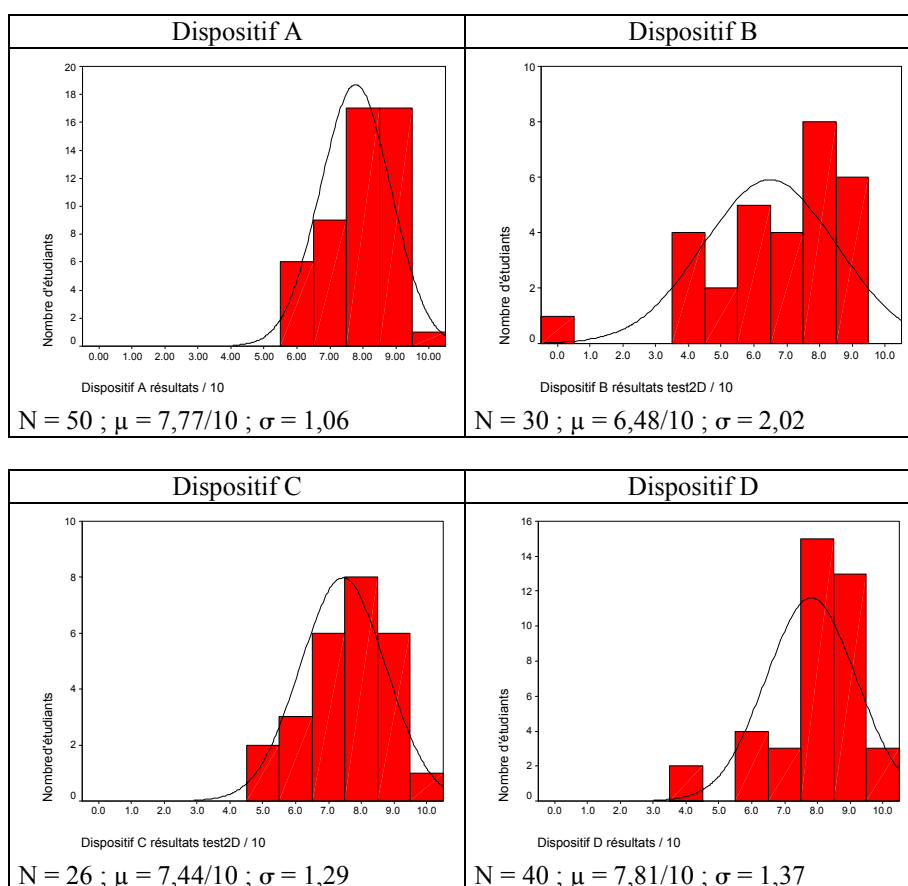


Figure 8 : Histogrammes des sous-groupes du groupe expérimental pour le test 2D

Voyons ensuite si le rôle de l'enseignant et la manière de travailler des étudiants ont un impact significatif sur les résultats du test 2D.

*Parmi les étudiants du groupe expérimental, quels sont ceux qui ont les résultats supérieurs au test 2D ? En d'autres mots, quel dispositif pédagogique semblerait avoir eu un impact sur le résultat final obtenu ?*

*Le rôle de l'enseignant, dans sa manière d'aider les étudiants à appréhender une démarche d'analyse, a-t-il eu un impact ?*

Selon les statistiques calculées par le test U de Mann-Whitney ( $U=1762; p=0.001$ ), on rejette l'hypothèse  $H_0$  au profit de l'hypothèse  $H_1$ . Globalement, les étudiants ayant eu un résumé d'analyse et des commentaires relatifs à une démarche en début de séance (sous-groupes A et D) ont mieux profité de ces informations. Nous expliquons ce résultat par plusieurs observations. Les étudiants ont été plus enclins à prendre des notes, vu le caractère peut-être plus "scolaire" de la méthode. Ceci se vérifie quand, aux séances suivantes de travaux pratiques, bon nombre d'étudiants reprennent leurs notes. De plus, en intervenant seulement ponctuellement en cours de séance, l'enseignant ne peut garantir avoir donné les mêmes informations à tous les groupes (pour tous les cas de figures possibles des dessins), dans la mesure où les questions appropriées n'ont pas nécessairement été posées. En revanche, lors d'une démarche de synthèse, la réflexion est plus structurée et a peut-être plus de chances d'être complète pour tous.

Voyons ce qu'il en est au niveau de la manière de travailler des étudiants.

*Le fait de travailler en petit groupe de deux étudiants, ou seul, implique-t-il une différence significative sur le résultat du test 2D ?*

Toujours selon les statistiques calculées par Mann-Whitney ( $U=2280; p=0.077$ ), on ne peut rejeter l'hypothèse  $H_0$ . On accepte donc le fait que les résultats obtenus par les étudiants travaillant par deux (sous-groupes C et D) ou seuls sur une machine (sous-groupes A et B) soient semblables. Ceci méritera une étude plus approfondie dans la mesure où le travail des étudiants par deux s'est souvent limité à une aide technique de l'un envers l'autre, plutôt qu'à une aide de compréhension des concepts ou à un véritable échange d'idées. Le travail qui se voulait une aide interactive entre deux étudiants, s'est résumé à une aide ponctuelle ne débouchant sur aucune discussion de fond. L'organisation même de telles séances et les consignes sont peut-être à revoir, dans une optique de plus grande interaction. Le travail individuel semble avoir eu la cote, par rapport au travail par deux. Nous expliquons cela par le fait que chacun dispose d'un PC et tient absolument à y réaliser son dessin. Certains étudiants ayant dû partager une machine se disent frustrés de n'avoir pu que "regarder un collègue" manipuler le logiciel. Le second doit recommencer seul le travail, s'il veut disposer du dessin sur sa propre machine ou s'exercer personnellement. Peut-être cela lui sera-t-il profitable ? Nous n'avons pas approfondi la question.

Enfin, si l'on examine l'effet croisé de nos deux variables (rôle de l'enseignant et manière de travailler de l'étudiant) et que l'on compare ainsi les résultats obtenus dans nos quatre sous-groupes expérimentaux, en fonction du dispositif auquel ils ont participé, il s'avère que les résultats moyens de ces sous-groupes varient

significativement (test de Kruskal-Wallis,  $\chi^2_{146,3} = 13,3090$ ;  $p = ,0040$ ). Ce sont les étudiants du dispositif D qui obtiennent les meilleurs résultats ( $\mu = 7,81$ ;  $\sigma = 1,37$ ), suivis par les étudiants du dispositif A ( $\mu = 7,77$ ;  $\sigma = 1,106$ ) et puis du dispositif C ( $\mu = 7,44$ ;  $\sigma = 1,29$ ) et enfin, du dispositif B ( $\mu = 6,48$ ,  $\sigma = 2,02$ ).

**Ce sont donc les étudiants qui ont bénéficié de l'aide de l'enseignant en début de séance pour une synthèse des questions à se poser avant de démarrer le dessin, de manière interactive et qui ont travaillé à deux sur une machine qui obtiennent les meilleurs résultats.** Les étudiants qui ont travaillé seuls, avec une intervention ponctuelle de l'enseignant, obtiennent les résultats les plus faibles, avec par ailleurs une plus forte dispersion de ces résultats dans le groupe. Entre ces deux extrêmes, se situent les étudiants bénéficiant d'une analyse guidée et travaillant seuls, puis les étudiants ayant bénéficié d'une analyse ponctuelle et travaillant par deux.

L'effet croisé des deux variables est d'autant plus intéressant qu'il indique un effet sur les résultats, alors qu'une seule séance de 1h30 a été consacrée au dispositif expérimental. Il s'avère donc nécessaire de s'interroger sur ce qui a pu, dans un laps de temps si court, provoquer un tel résultat. Il semble donc que l'effet bénéfique de l'analyse du dessin, proposée par l'enseignant en début de séance, a été renforcée par le fait qu'ensuite, les étudiants travaillent par deux autour d'une machine. Comment expliquer un tel résultat ?

Plusieurs hypothèses peuvent être évoquées :

- L'exposé interactif, proposé en début de séance par l'enseignant, pour synthétiser les questions à se poser avant de démarrer un dessin, a pu susciter un questionnement auprès des étudiants. Les étudiants, groupés par paires, ont pu poursuivre ce questionnement et y travailler à deux, voire essayer d'intégrer certaines questions ou suggestions posées, en les rediscutant à deux. Si l'on se réfère à la notion de conflit socio-cognitif, issue d'une approche socio-constructiviste de l'apprentissage (voir chapitre 2, Bourgeois & Nizet, 1997), il semblerait que l'interaction, suscitée au départ par l'enseignant, et renforcée par la discussion en sous-groupes de deux, ait pu provoquer des conflits socio-cognitifs chez les étudiants, les amenant ainsi à restructurer leur représentation de la manière d'analyser un dessin. Ceci leur aurait facilité ensuite l'apprentissage de cette étape capitale;
- Dans l'étape d'analyse du dessin qu'ils ont ensuite réalisé à deux, les étudiants ont pu s'épauler pour rappeler les consignes discutées par l'enseignant, en début



de séance (davantage de notes prises, meilleure compréhension de cette étape) et les suivre plus scrupuleusement. Ceci leur aurait permis de mieux réussir leur dessin et ainsi, de se sentir, chacun, renforcé dans leur sentiment de compréhension de cette étape cruciale d'analyse. Cet effet aurait alors pu avoir un impact indirect sur leur motivation à apprendre le DAO et les aurait amenés à s'investir ensuite davantage dans ce cours. Ceci pourrait également expliquer la différence de résultats;

- Enfin, à deux pour réaliser le dessin en séance, les questions et incertitudes, inhérentes à tout démarrage d'un nouveau travail sur un logiciel de DAO que l'on maîtrise peu, ont également pu être réduites et ont permis aux étudiants d'aboutir plus vite à une solution. Ceci les aurait amenés alors à avoir plus de temps pour l'analyse même du dessin.

On le voit, on ne peut que faire des suppositions sur l'explication d'un tel résultat. Il faudrait pouvoir, lors d'autres expériences, observer plus en détails comment le travail à deux s'est réalisé : à quoi a été consacré le temps à deux, et sur quoi les échanges ont porté. Par ailleurs, on peut aussi imaginer que toutes les paires d'étudiants n'ont pas fonctionné de la même manière. Cependant, on peut légitimement penser que l'hypothèse la plus probable est liée à l'interaction des étudiants sur la démarche même d'analyse. En effet, la seule interaction à deux n'engendre pas de différences significatives. Il ne suffit donc pas d'être à deux, encore faut-il travailler ensemble et dans des conditions particulières, sans doute sur l'analyse même du dessin.

Le fait que le deuxième sous-groupe le plus performant est celui dans lequel les étudiants, après avoir eu l'intervention du tuteur, ont été amenés à travailler seuls sur le dessin, renforce encore potentiellement cette hypothèse. En effet, le fait que l'enseignant ait travaillé avec les étudiants sur la première étape de l'analyse du dessin a, semble-t-il, amené les étudiants à diriger le travail qui en a suivi sur ces étapes d'analyse. Et cela a été bénéfique pour tous les étudiants ayant été mis dans ces conditions, avec toutefois un moins grand bénéfice si l'étudiant travaille seul plutôt qu'avec un pair.

Le fait que le troisième sous-groupe, en termes de qualité de résultats, soit celui où les étudiants travaillent par deux, avec les interventions ponctuelles de l'enseignant, montre que là où l'intervention de l'enseignant n'a pas été systématique sur l'analyse du dessin, les interactions entre étudiants, dont on peut imaginer que certaines ont été dirigées sur ces questions d'analyse, ont pu, en partie, compenser. En revanche, sous cette condition, le fait de se retrouver seul face à la machine,

laisse reposer, sur le seul étudiant, toute la responsabilité à la fois de l'analyse du dessin, de sa réalisation et de la maîtrise du logiciel. Ces étudiants ont le moins bénéficié d'interactions, avec l'enseignant ou avec autrui, pourtant propices à des remises en question de leurs connaissances et donc à de nouveaux apprentissages.

On le voit, à partir des hypothèses interprétatives sommairement brossées ci-dessus, l'interaction d'un enseignant, qui soulève un ensemble de questions, surtout au démarrage d'un dessin, et de pairs qui, peut-être, poursuivent ce questionnement, suscite, potentiellement, le plus de conflits socio-cognitifs propices à l'apprentissage (Bourgeois & Nizet, 1997). Cette hypothèse mériterait d'être testée par la suite.

Voyons déjà si les effets de nos dispositifs pédagogiques se confirment lors du deuxième temps de mesure, le test 3D.

#### 4.3.3 Impact des dispositifs pédagogiques sur les résultats du test 3D

Voyons ce que nous pouvons conclure de notre expérience à propos d'une éventuelle augmentation des performances des étudiants au test 3D, selon le dispositif pédagogique adopté lors de la séance 8.

Ci-dessous (Figure 9), nous donnons les moyennes, les déviations standard et les graphes de fréquences des résultats au test 3D, selon le dispositif pédagogique appliqué.

*Parmi les étudiants du groupe expérimental, quels sont ceux qui ont obtenu des résultats supérieurs aux autres ? En d'autres mots, quel dispositif pédagogique (de la séance 8) semblerait avoir le mieux porté ses fruits, quant au résultat final obtenu en 3D ?*

Comparons les résultats des étudiants ayant suivi la séance durant laquelle une démarche d'analyse est expliquée, avec plus de détails, et est discutée sur base d'exemples (dispositifs A et D), avec les résultats des autres étudiants du groupe expérimental (dispositifs B et C).

Selon la statistique de Mann-Whitney, nous obtenons une différence significative ( $U=1703$ ;  $p=0,000$ ). La démarche plus systématisée, durant laquelle les conséquences des choix sont discutées et commentées collégialement, a influencé positivement les résultats du test 3D.

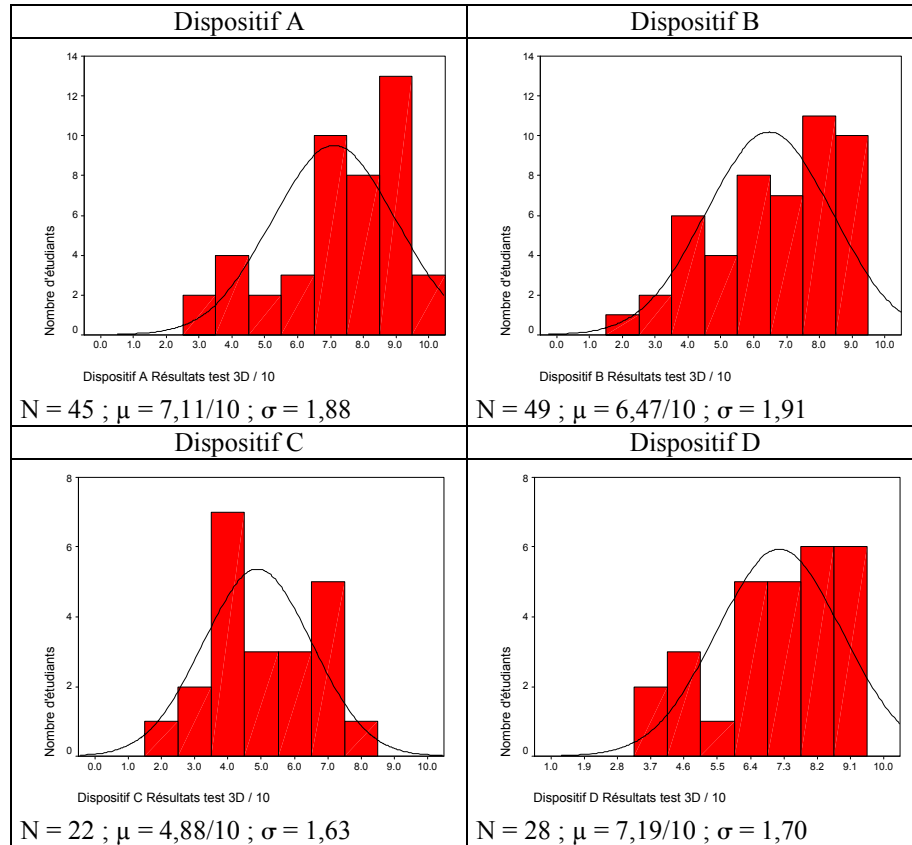


Figure 9 : Histogrammes des sous-groupes du groupe expérimental pour le test 3D

En revanche, selon les statistiques calculées par Mann-Whitney ( $U=1941$ ;  $p=0,085$ ), nous ne rejetons pas l'hypothèse  $H_0$  d'égalité des résultats. Le travail par deux n'a pas pour effet, une amélioration significative des résultats au test 3D. Mais si nous ne pouvons prétendre à une différence significative, nous pouvons néanmoins observer une tendance à accepter la supériorité du travail entre pairs. En effet, le seuil d'acceptation des résultats, fixé arbitrairement à 0.05, n'est pas atteint, mais le  $p=0,08$  n'en est pas si éloigné et semblerait confirmer le résultat obtenu en 2D.

Mais examinons, de nouveau, l'effet croisé de nos deux variables (rôle de l'enseignant et manière de travailler des étudiants). D'après le test de Kruskal-Wallis

( $\chi^2_{144,3} = 21,874$ ;  $p=0,000$ ), ce sont les étudiants du dispositif D qui obtiennent les meilleurs résultats au test 3D ( $\mu=7,19$ ;  $\sigma=1,70$ ), suivis par les étudiants du dispositif A ( $\mu=7,11$ ;  $\sigma=1,88$ ), puis ceux du dispositif B ( $\mu=6,47$ ;  $\sigma=1,91$ ) et enfin, les étudiants ayant suivi le dispositif C ( $\mu=4,88$ ,  $\sigma=1,63$ ).

Nous pouvons donc conclure que, sur base de notre expérience, les étudiants qui ont bénéficié d'une réflexion approfondie et interactive concernant les démarches d'analyse possibles, au démarrage d'un nouveau dessin, ont obtenu significativement de meilleurs résultats au test 3D. Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'il rejoint notre conclusion d'expérience au niveau du test 2D, en ce qui concerne les dispositifs D et A. Les hypothèses interprétatives formulées alors peuvent l'être ici aussi et confirment l'importance de l'effet conjugué d'un questionnement de l'enseignant, de sa systématisation de la démarche d'analyse et des interactions entre pairs, autour d'une machine et d'un dessin à réaliser.

Parmi les étudiants ayant bénéficié d'une analyse ponctuelle de leur dessin, ce sont, cette fois, les étudiants ayant travaillé seuls qui obtiennent de meilleurs résultats (dispositif B). Cependant, ce résultat, un peu surprenant, pourrait en partie être expliqué par le fait que la majorité des étudiants faisant partie du dispositif C sont des étudiants en deuxième année de formation ingénieur architecte. On aurait pu s'attendre à ce que ceux-ci réussissent mieux, grâce à leur expérience de la manipulation du dessin et de l'espace (cours d'architecture) et par leur statut d'étudiants en seconde année. Mais il n'en est rien. Les résultats différents obtenus par les groupes B et C, aux tests 2D et 3D, ne peuvent donc faire l'objet d'affirmations trop péremptoires, tenant compte du caractère pas tout à fait aléatoire du regroupement des étudiants. Ceci est lié aux contraintes locales d'organisation des séries pour ce groupe d'étudiants architectes.

Le travail par deux n'a, quant à lui, pas produit des effets aussi nets que lors du test 2D. Nous pouvons peut-être expliquer ce fait, par l'habileté qu'ont acquise les étudiants au fil de ces quelques semaines de travail, et leur volonté de réaliser chacun leurs dessins. Ou, tout simplement, ce phénomène s'expliquerait-il par la nécessité de combiner deux modalités pour observer une amélioration significative, mettant encore en évidence l'effet croisé de nos variables.

#### 4.3.4 Corrélation entre les résultats de la séance 3, du test 2D et du test 3D

D'après les études de corrélation (tests non paramétriques de Spearman repris ci-dessous), nous n'observons aucune corrélation entre les résultats de la séance 3 et ceux des tests 2D et 3D. Ceci s'explique peut-être par l'expérience qu'acquièrent les

étudiants durant les semaines qui séparent ces tests, et par la présence et la restructuration que peut apporter l'enseignant, dans ce laps de temps.

En revanche, nous observons une corrélation significative entre les résultats obtenus au test 2D et ceux obtenus au test 3D. Statistiquement, un étudiant qui réussit le test 2D a de fortes chances de réussir le test 3D (Tableau 5).

Tableau 5: Corrélations entre la séance 3, le test2D et le test 3D

		Séance3	Test 2D
Test 2D	Spearman Correlation	0.129	
	Sig. (2-tailed)	0.197	
	N	103	
Test 3D	Spearman Correlation	-0.107	0.290**
	Sig. (2-tailed)	0.285	0.000
	N	103	146

## 5 Conclusion

Au vu de ces résultats, il s'avère que le type de dispositif proposé aux étudiants en première année de formation d'ingénieur, dans le cadre d'un cours de DAO, a toute son importance. Ainsi, tout comme le didacticiel utilisé en début de séance permet à chacun de rentrer dans les fonctions de base du logiciel et de se familiariser avec celui-ci, le type de dispositif que les étudiants reçoivent ensuite est déterminant pour la qualité de stratégies qu'ils peuvent mettre en oeuvre pour analyser et réaliser des dessins 2D ou 3D. Les démarches d'analyse observées auprès de notre échantillon sont nettement meilleures si ces étudiants suivent des séances d'exercices qui les amènent à réfléchir sur la démarche d'analyse du dessin et durant lesquelles ils travaillent à deux pour la réalisation de celui-ci. Ceci va donc dans le sens des hypothèses que nous avons formulées. Le dispositif pédagogique impliquant une augmentation des performances des étudiants, pour l'apprentissage du DAO, serait, selon ces premiers résultats, un dispositif qui amène l'enseignant à élaborer, de manière interactive avec les étudiants, une démarche type à appliquer dans l'analyse des dessins, et à "modéliser" avec eux les processus de résolution de problèmes (notamment dans l'analyse du problème et de la planification des stratégies de résolution). De cette manière, l'enseignant favorise l'appropriation de ces démarches par les étudiants. En parallèle, il les incite à travailler par paires, les amenant à interagir sur les choix à opérer et à justifier leurs démarches de réalisation. Puis, petit à petit, les étudiants prennent un peu de distance et d'autonomie pour davantage se consacrer à un travail personnel, ne demandant plus l'aide des pairs.

De notre expérience, nous pouvons aussi confirmer qu'un minimum d'expérience et de recul est nécessaire à la bonne application des méthodes de travail en DAO. Nous n'avons observé aucun impact immédiat (c'est-à-dire dès la troisième séance de travaux pratiques) d'un dispositif pédagogique particulier. Il a fallu attendre un travail personnel et/ou la présence de l'enseignant avant d'observer un quelconque effet positif.

## Chapitre 6 : Auto-apprentissage tutoré dans un contexte d'APProj<sup>67,68</sup>

---

"Les objectifs d'une formation universitaire ne peuvent pas se réduire à doter un étudiant d'un bagage mythique de connaissances qui lui suffirait tout au long de sa carrière professionnelle. Elle doit de plus attacher une grande importance au développement de l'autonomie dans l'apprentissage, au développement du sens critique par rapport aux connaissances enseignées et à la créativité<sup>69</sup>."

C'est, entre autres, en ces termes que le doyen de la faculté des sciences appliquées de l'UCL plaide pour une modification des programmes d'études en candidatures, en janvier 1999. Après de nombreux débats et recherches, l'ensemble de la faculté décide d'orienter son action vers une pédagogie plus active, centrée sur l'étudiant, qui démarrera en septembre 2000. En voici les grandes lignes et la manière dont le cours de DAO a pu s'y intégrer.

### 1 Les grandes lignes du nouveau projet pédagogique<sup>70</sup>

Plusieurs constats ont poussé une équipe d'enseignants de la faculté à s'interroger sur le curriculum proposé, pour la formation des ingénieurs. Parmi ceux-ci notons :

- la passivité et le manque de motivation affichés par les étudiants;
- leur individualisme;
- leur effort au travail limité dans le temps, à la période de "blocus", et donc leur engagement dans les études limité à la réussite des examens;

---

<sup>67</sup> Une présentation partielle des résultats de ce chapitre a fait l'objet d'une communication lors du 19<sup>ème</sup> colloque de l'AIPU, en mai 2002 à Louvain-la-Neuve, intitulé "Les méthodes actives dans l'enseignement supérieur".

<sup>68</sup> APProj : Apprentissage Par Projets.

<sup>69</sup> Trullemans, C., (1999), Pourquoi modifier le programme de candidatures FSA ?, Document Interne, UCL.

<sup>70</sup> Ces informations sont extraites de documents disponibles uniquement sur l'intranet de l'UCL.

- l'attente constante de consignes bien balisées (les célèbres "tuyaux") permettant la seule réussite de ces examens;
- la foi dans la vérité des syllabi trahissant un esprit peu critique;
- le manque de liens qu'établissent les étudiants entre les différentes disciplines enseignées;
- le manque de durabilité des acquis.

Du côté des entreprises aussi, des demandes plus précises sont formulées en termes de compétences non techniques. Les étudiants sont diplômés sur base d'un ensemble de connaissances qu'ils ont eu l'occasion d'acquérir (ou du moins d'aborder à défaut de les avoir acquises), mais il n'est nulle part fait état des compétences de savoir-être ou de savoir-faire, qu'ils devraient aussi pouvoir mettre en évidence, dans leur curriculum. Ces compétences, non directement propres à une discipline mais bien transversales, sont, par exemple, leur capacité à communiquer, coopérer, prendre des initiatives, faire preuve d'autonomie, se documenter, etc. Elles renvoient aujourd'hui à ce que d'aucuns regroupent sous le vocable "d'employabilité" et font l'objet de larges débats en Europe (Knight & Yorke, 2002).

Nous reprenons ci-dessous un résumé des principes pédagogiques qui ont été retenus et souhaités par les promoteurs de la réforme mise en place. Ils sont donc présentés tels qu'ils ont été annoncés dans les documents officiels ou traduits dans les documents qui présentent le programme. Dans certains cas, nous ajoutons également les propositions qui ont été faites pour l'opérationnalisation de ces principes.

### 1.1 Les principes pédagogiques

Les programmes traditionnels sont construits sur un schéma simple, où les deux premières années sont principalement consacrées à l'acquisition de connaissances scientifiques fondamentales, dans le cadre de problèmes soigneusement préparés. Or la faculté, en cela encouragée par le monde industriel et ne se satisfaisant plus de ce schéma simplifié, estime devoir offrir une formation plus étendue aux futurs ingénieurs. En effet, dans le contexte actuel, la formation doit être dispensée au contact de la recherche, en profondeur, ouverte à de nombreux domaines, orientée par les nécessités de la vie professionnelle, animée par une exigence de qualité et attentive à la formation de la personnalité.



### Une pédagogie active centrée sur l'étudiant

L'enseignement doit être regardé comme la mise à disposition de l'étudiant, d'occasions propices où il puisse apprendre, développer une attitude active et s'investir personnellement. Le rôle de l'enseignant y est principalement de soulever des questions, de proposer des situations qui stimulent l'apprentissage et non de transférer des réponses. Les cours magistraux restent intégrés dans la formation et ont pour but de permettre une acquisition rapide de nouveaux concepts ou méthodes et de permettre une structuration et une généralisation des connaissances acquises par ailleurs.

Les approches pédagogiques, choisies selon les nouveaux besoins, répondent à certains critères, conformément aux caractéristiques globales des méthodes actives (Lebrun, 1999) dont notamment le fait qu'elles :

- sont ancrées dans un contexte actuel, ayant un sens en rapport avec le niveau et les objectifs du programme;
- mobilisent des compétences de haut niveau stratégique;
- s'appuient sur des interactions entre étudiants et/ou enseignants;
- nécessitent un travail personnel étalé durant toute l'année;
- conduisent à une production personnelle;
- offrent un large éventail de ressources (bibliothèques, consultances, réseaux informatiques, laboratoires).

### Un programme défini en terme d'objectifs et de compétences

Le cahier des charges, pour les candidatures FSA, est établi en termes d'objectifs et de compétences à atteindre par les étudiants, à l'issue des deux premières années de formation, réparties en six trimestres. Il précise les objectifs généraux de la formation. Le programme doit ainsi décrire les actions ou les performances que les étudiants seront capables de réaliser à l'issue des cours. Cela permet de choisir uniquement des méthodes d'apprentissage aptes à faire atteindre les objectifs visés et d'établir une relation directe entre les objectifs et l'évaluation.

### Le développement de capacités méthodologiques transversales

L'apprentissage d'outils n'est pas toujours coordonné et, souvent, le temps requis à leur maîtrise ne fait pas partie du calcul de la charge horaire de l'étudiant. La prise en compte des objectifs de type "Méthodes" et "Outils" vise à faire acquérir à l'étudiant l'ensemble des compétences, et des attitudes génériques (c'est-à-dire

transversales aux champs disciplinaires) jugées nécessaires pour mener à bien les études d'ingénieur civil et pour entreprendre une carrière professionnelle.

Les "outils" génériques sont, par exemple : le maniement d'un poste de travail informatique, de l'Internet, de logiciels professionnels de calcul, de dessin, de bureautique, l'utilisation de langues étrangères, ... Les principes sous-jacents à cet apprentissage sont que la maîtrise des outils génériques s'acquiert par la pratique, dans le cadre d'activités motivantes où l'outil s'impose de lui-même. Son évaluation se fait à l'occasion d'activités qui en font usage. Cependant, cette maîtrise s'acquiert graduellement au fil des études. Il importe, de ce fait, de fixer des objectifs réalistes, à chaque étape du curriculum.

Les "méthodes" transversales ont trait, par exemple, à la résolution de problèmes, au travail coopératif et individuel, à la communication, à l'auto-réflexion, ... Elles se rapportent principalement à des objectifs de niveaux personnels.

## 1.2 Les dispositifs pédagogiques

### Le projet pédagogique trimestriel

Les objectifs de chaque trimestre sont exprimés en termes d'acquisition de connaissances et de compétences par les étudiants. Les formules pédagogiques variées (enseignement magistral, travaux pratiques, apprentissage par problèmes, apprentissage par projets, auto-apprentissage) sont choisies par les équipes pluridisciplinaires d'enseignants du trimestre, en fonction de leur efficacité, comme support de l'apprentissage et en fonction du temps et des ressources disponibles.

A chaque trimestre, est associé un thème, à l'intérieur duquel une grande partie des activités du trimestre prennent leur sens. Ce thème établit un cadre d'application intégrant plusieurs matières et oriente une large part des apprentissages. Il est concrétisé par un projet proposé aux étudiants chaque trimestre et a pour but de stimuler la curiosité, l'intérêt et l'implication des étudiants. Il est la ligne conductrice de l'ensemble des apprentissages disciplinaires et méthodologiques. L'ensemble des projets proposés à l'intérieur des six thèmes trimestriels (répartis sur les deux premières années de formation) fait intervenir toutes les matières du programme.

### La formation prise en charge au sein de petits groupes d'étudiants

Le travail en groupe est au centre de l'apprentissage par projet et par problèmes. En effet, intégré au sein du processus d'apprentissage, le groupe a pour but d'aider chaque étudiant qui le constitue à atteindre les différents objectifs annoncés.

Les équipes (de six à huit étudiants) sont établies par trimestre. Pratiquement, les étudiants se réunissent en séances de travail, dans un local qui leur est réservé, pour déterminer ensemble ce qu'il faut connaître pour progresser, et pour se communiquer ce qu'ils ont appris, suite à la séance précédente. Entre les séances de travail, les étudiants, en sous-groupes et/ou individuellement, travaillent en utilisant toutes les ressources disponibles. Le fonctionnement du groupe est facilité par l'intervention d'un tuteur qui donne une approche professionnelle au niveau méthodologique et oriente les étudiants vers des personnes-ressources, en fonction des problèmes soulevés.

### Le rôle de l'évaluation des apprentissages des étudiants

L'évaluation crédible des performances des étudiants nécessite qu'elle s'intègre, à part entière, dans leur processus d'apprentissage. Les modalités d'évaluation se doivent donc d'être construites en réponse aux objectifs du programme et sont pour cela du ressort du projet pédagogique de chaque équipe trimestrielle d'enseignants. L'évaluation est de deux types : l'un à caractère formatif (deux évaluations au cours de chaque trimestre) et l'autre sommative (évaluation du projet présenté à un jury et des examens classiques).

Cette nouvelle réforme est présentée comme une réforme pédagogique *en profondeur*. En effet, l'autonomie des étudiants doit être accrue; la multidisciplinarité est très encouragée; la stimulation du travail en groupe devrait réduire l'esprit d'individualisme; l'auto-critique et l'auto-évaluation deviendraient des réflexes. Dans ce nouveau contexte, comment évolue le cours de DAO ?

## 2 Le DAO dans le contexte de la réforme : les choix pédagogiques

La maîtrise du DAO fait partie de l'ensemble de ces compétences transversales prévues par la réforme pédagogique et que doivent acquérir les étudiants. En effet, à quoi bon maîtriser le dessin assisté, si ce n'est pour l'utiliser dans une quelconque activité de production. En conséquence de cela, le DAO se verra, évidemment, attribuer un autre statut. C'est à l'intérieur même des projets trimestriels et en

fonction des besoins du moment (le *just in time*) que les étudiants devront atteindre l'ensemble des objectifs énoncés. Le cours ne sera plus étudié de manière isolée mais bien intégrée.

C'est pourquoi, respectant les objectifs<sup>71</sup> généraux de formation et les objectifs de la réforme, le dispositif pédagogique a été revu en profondeur.

Nous présentons ci-dessous les principales modifications qui sont envisagées pour le cours, à partir de septembre 2000. Nous présenterons plus en détail les environnements d'apprentissage et didacticiels qui ont été développés pour la mise en place de ces changements, et dont la conception s'est inspirée de nos expériences précédentes et des principes évoqués dans le chapitre 4.

Par rapport à l'organisation du cours des années précédentes, notons quelques différences essentielles pour l'enseignement du DAO, dans le cadre de la réforme :

- il y a une nette réduction des heures de cours magistraux (50 %) et des séances d'exercices encadrées;
- les étudiants ont naturellement besoin du DAO dans le cadre de leurs projets trimestriels;
- des objectifs supplémentaires sont à atteindre, par rapport à ceux poursuivis les années précédentes (page 31); ils dépendent directement des besoins réalistes des projets (impression de plans, transfert d'informations, ...).

Du côté enseignant, des changements sont aussi à souligner :

- moins d'heures de cours implique le choix d'une autre méthode d'apprentissage;
- le nombre de concepts à enseigner est accru puisque certains projets trimestriels demandent d'aller plus loin, au niveau de l'utilisation d'un système de DAO. Par exemple, les problèmes d'impression étaient peu abordés et très simplifiés auparavant. Ils sont maintenant largement pris en compte. Les notions de blocs d'informations, d'habillage d'un dessin, de rendu réaliste en sont d'autres exemples;

---

<sup>71</sup> Rappelons que les objectifs du cours de DAO sont décrits en termes d'objectifs mathématiques et techniques, mais aussi en termes méthodologiques et de savoir-être (autonomie, sens de l'analyse, de la critique) qui sont les valeurs ajoutées de l'ingénieur. Ces objectifs sont détaillés dans le chapitre 1.

- le DAO est un outil utilisé par les trois projets de la première année. Ceci a pour conséquence que nous devons nous intégrer dans trois équipes trimestrielles distinctes, comprendre leurs besoins pour pouvoir générer les outils et dispositifs pédagogiques adéquats;
- nous disposons d'AutoCAD<sup>®</sup> version 2000.

La première année de formation se divise en trois trimestres de 11 semaines. Chaque trimestre se voit attribuer un thème principal d'apprentissage, soutenu par la réalisation d'un projet multidisciplinaire. Ces projets sont, par exemple, la conception d'un robot programmé, la réalisation d'un flash électronique, l'analyse des performances d'un système multicorps idéal (quad, side-car, moto, ...) et l'animation virtuelle de celui-ci sous certaines contraintes (saut d'un plan incliné, virages, etc...).

Cette panoplie de sujets de projets nous donne l'occasion de repenser le cours dans son ensemble. Nous nous sommes toujours limités à enseigner le DAO sur quelques exemples d'école, soigneusement choisis pour le type de difficultés qu'ils mettaient en jeu. A présent, nous devons concevoir un cours complet, donnant aux étudiants l'opportunité d'utiliser immédiatement leurs nouveaux acquis, dans un projet de plus grande envergure et surtout davantage proche de la réalité professionnelle.

Sans entrer dans les détails d'organisation de chaque trimestre (ceci est hors du cadre de notre travail), voyons comment y introduire le DAO de manière cohérente.

## 2.1 Du point de vue du dispositif pédagogique

Le cours de DAO dispensé avant la réforme visait déjà une certaine autonomie des étudiants, surtout au démarrage du processus d'apprentissage, via l'utilisation du "didacticiel 2D". Nous avons fait large écho de cette expérience, précédemment (chapitre 4). La décision de réduction du temps d'encadrement des étudiants, imposée par la réforme, nous pousse tout naturellement à continuer dans cette lignée et donc à nous tourner encore davantage vers une forme d'auto-apprentissage. Nous envisageons, pour ce faire, d'étendre plus largement les phases individuelles d'étude des concepts de base (par exemple, pour l'initiation des concepts 3D surfaces et volumes).

De notre expérience méthodologique décrite au chapitre 5, nous pouvons aussi tirer deux enseignements:

- Le premier nous permet d'affirmer que le travail en groupe, imposé par la réforme pour la réalisation des projets, sera une aide non négligeable pour le partage d'informations entre les étudiants, même s'il n'est pas obligatoire pour le cours de DAO. La coopération sera, pour eux, l'environnement "naturel" de travail.
- Le second nous permet d'affirmer qu'un nombre réduit d'heures encadrées ne sera pas un handicap pour notre enseignement, si celles-ci sont largement consacrées à la restructuration interactive des acquis et à un encadrement dans lequel l'enseignant joue un rôle de tuteur. Nous avons déjà pu démontrer que cette manière de travailler augmente les performances des étudiants, dans le cadre du cours de DAO.

La nécessité du DAO, dans les projets trimestriels, est une excellente occasion d'insérer l'apprentissage du DAO dans un contexte plus proche de la réalité professionnelle. En effet, l'ampleur des sujets abordés par les projets et la manière de gérer l'ensemble des disciplines qui y sont incluses sont une excellente expérience. L'apprentissage par problèmes aurait été une alternative possible. Nous formulons à cet égard deux remarques :

- La représentation d'un dessin à l'échelle "professionnelle" ne se réduit pas à une somme de petits dessins élémentaires. De nombreux concepts n'ont de sens que dans des réalisations de grande envergure. La motivation à les utiliser est une des difficultés que nous avons déjà soulignées (cas de la définition de vues, utilisation de couches, gestion d'un "modèle" et d'un plan "papier", etc.).
- Dans le cadre de la réforme, nous avons noté une diminution importante des heures encadrées pour le cours de DAO. Or, l'approche par problèmes semble plus exigeante quant à l'encadrement. Elle implique un encadrement en trois temps : la donnée du problème généralement de moins grande envergure que le projet, le suivi de la résolution et la restructuration de l'ensemble du problème.

Nous optons donc pour la mise en place d'un dispositif pédagogique basé sur l'auto-apprentissage tutoré inséré dans l'APProj.

La réflexion suivante a porté sur les différentes étapes de l'apprentissage. La volonté d'utiliser le DAO à divers moments et dans des projets de nature différente nous

oblige aussi à nous interroger sur l'importance d'un fil conducteur. Les projets touchent des domaines bien distincts les uns des autres. Il faut donc des outils de dessin 2D, de dessin 3D, de conception de circuits électroniques et d'animation en images virtuelles.

Pour éviter toute dispersion de l'apprentissage dans des logiciels très spécifiques, mais ayant perdu le fondement même du dessin, le choix se porte sur le support d'un seul logiciel de référence, tout au long de la formation. En effet, l'utilisation de logiciels commerciaux dédiés précisément aux applications ne ferait que renforcer l'envie de manipuler différents produits, plutôt que d'en comprendre les principes essentiels. Or, si nous revoyons l'objectif principal du cours, nous devons nous "limiter" à l'étude des concepts qui régissent des logiciels de DAO et ne pas nous focaliser sur l'utilisation de produits spécifiques. La seule manière de répondre à cette exigence est de ne choisir qu'un seul logiciel de référence et s'y tenir, toutes applications confondues. Le logiciel AutoCAD® est choisi pour quelques raisons matérielles simples, déjà citées précédemment (voir page 32).

## 2.2 Du point de vue des contenus

Les deux aspects mathématiques, que sont l'approche de la géométrie descriptive et l'approche de la géométrie analytique, sont rediscutés, en fonction du temps disponible. Si l'enseignement de la géométrie descriptive est certainement formatif, au niveau de la vision spatiale et du raisonnement graphique, force est d'admettre que cette matière est progressivement devenue obsolète avec l'emploi des ordinateurs (page 23). Nous décidons donc de nous limiter à l'explication des quelques cas où son utilisation apporte une aide, au moment où ceux-ci se présenteront. Les éléments de géométrie analytique seraient idéalement repris dans les nouveaux cours de mathématiques.

A l'inverse, des concepts de DAO supplémentaires seront à aborder dans le nouveau cours : il sera nécessaire, au cours des différents projets, de modéliser, mais surtout d'imprimer des plans et des croquis à insérer dans des rapports, de créer des blocs d'informations, de manipuler les rendus réalistes, de mettre à l'échelle, etc.

Pour aider les étudiants à maîtriser un tel système de manière progressive, nous décidons de créer des environnements de travail et des outils d'auto-apprentissage indépendants, qui se complètent et forment un ensemble cohérent.

### 3 Outils et environnements

Les projets proposés, les trois premiers trimestres de la formation des étudiants, sont à la fois distincts et complémentaires. Ils sont distincts, car chaque projet trimestriel, sur lequel se greffe un maximum de cours, touche à des domaines très différents. Mais ils sont complémentaires, car l'un ne peut démarrer avant l'autre et les acquis du trimestre précédent sont nécessaires à démarrer le trimestre suivant. Il en est de même pour le cours de DAO, et la gradation retenue est décidée en fonction des projets (Tableau 6).

Tableau 6 : Vue générale des environnements et outils

Projet trimestriel	Environnement DAO	Outils d'aide DAO
Conception et programmation d'un robot mobile (informatique)	Crayon électronique : <i>FIRST</i>	Didacticiel <i>FIRST</i>
Conception et réalisation d'un circuit imprimé (électricité)	Dessin 2D : <i>2D</i> Introduction à la CAO : <i>CIRCUIT</i>	Didacticiel <i>2D</i> Didacticiel <i>CIRCUIT</i>
Modélisation et simulation d'un système multi-corps (mécanique)	Dessin 3D surfaces : <i>3DS</i> Dessin 3D volumes : <i>3DV</i> Validation et animation d'un modèle 3D : <i>ANIMATION</i>	Didacticiel <i>3DS</i> Didacticiel <i>3DV</i>

#### 3.1 Le "crayon électronique"

Dans le cadre de leur premier projet, les étudiants sont amenés à concevoir et programmer un robot mobile et autonome, capable de tracer les lignes des différents jeux pouvant se dérouler sur un terrain de sport.

Qu'il s'agisse de plans 2D ou de vues 3D, les étudiants sont amenés à dessiner les plans de leur futur robot. Et d'un point de vue graphique, l'objectif principal du premier trimestre est clair. Les étudiants doivent principalement apprendre à maîtriser le dessin de "conception", c'est-à-dire le dessin technique de base. Néanmoins, nous décidons de mettre à profit la fin de cette première période pour entamer, avec les étudiants, l'apprentissage du DAO (si nous pouvons l'appeler ainsi, dans ce cas !), en leur donnant la possibilité de s'exercer à dessiner leurs quelques croquis (vues du robot, du terrain de sport, etc.) sur une simple feuille A4, destinée à



être insérée dans leur rapport. Pour ce faire, nous mettons en place un environnement de travail dédié à cette première activité, basé sur AutoCAD® et baptisé *FIRST*. Le but est véritablement de faciliter l'impression et de permettre aux étudiants une première approche d'un outil de DAO très simplifié, pour la manipulation d'entités 2D et des opérations graphiques qui s'y rapportent. Il n'est rien d'autre qu'un *crayon électronique*.

### 3.1.1 L'environnement *FIRST*

*FIRST* est une version très allégée d'AutoCAD®, voire même totalement différente. En effet, pour faciliter la première approche (n'étudier que les entités 2D de base et les quelques opérations 2D courantes), le logiciel démarre dans l'environnement "Paper Space", l'espace réservé exclusivement à la préparation de la feuille à imprimer (contrairement au Model Space, espace réservé à la modélisation). Le travail réalisé dans ce mode "Paper Space" est de type "WYSIWYG"<sup>72</sup>. Ceci facilite la représentation, par rapport au travail de "modélisation" qui sera traité plus tard et demande davantage de rigueur. Le passage à l'environnement "Model Space" est rendu impossible pour éviter aux étudiants de gérer, dès le démarrage, la co-existence de deux mondes et les difficultés qui en découlent. Le dessinateur se trouve donc face à une page de format A4 et il y travaille comme il le ferait naturellement sur une feuille de papier (Figure 49, page 251). Il utilise *FIRST* comme s'il disposait d'un crayon électronique. Pas question ici d'entités 3D. Tout se dessine en 2D pur, même les vues axonométriques d'un volume! L'utilisateur n'a pas à se soucier du passage d'un environnement à l'autre. Il reste toutefois en présence d'un réel outil d'aide au dessin, conservant les nombreux avantages de précision et de calcul. En effet, tous les outils de traçage, tels que la copie parallèle, la copie symétrique, l'accrochage à des points particuliers, etc. sont autant d'atouts du système.

Lors de la rédaction de leurs rapports, les étudiants pourront, sans aucune difficulté, insérer leurs dessins et plans, tels qu'ils ont été créés grâce aux possibilités d'exportation ajoutées (fichiers de type \*.pdf, \*.bmp, \*.wmf).

AutoCAD® comporte une centaine de menus et sous-menus, plus de 300 commandes et plus de 350 paramètres. Utiliser un tel outil de manière inefficace est une perte de temps. Le maîtriser correctement nécessite des centaines d'heures de travail. C'est pourquoi, pour une première approche, de nombreuses fonctionnalités ont été supprimées, afin d'éviter toute confusion et toute source d'erreur. Ceci

---

<sup>72</sup> "WYSIWYG" signifie "What You See Is What You Get"

empêche aussi les étudiants de vouloir aller trop vite et d'outrepasser les étapes essentielles de l'apprentissage, en "pianotant" sans comprendre. Quelques nouvelles fonctions ont aussi été ajoutées (voire plutôt réécrites) pour rendre le produit plus convivial, telles que la possibilité de tracer des hachures simples ou la possibilité de définir interactivement différentes échelles de mesure et d'impression des cotations.

L'inconvénient ou le danger, pour les étudiants, serait de croire qu'ils sont réellement en présence d'un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur. Il n'en est rien. Tout le travail à venir le leur apprendra. Pour passer à cette phase de l'apprentissage, un cours magistral sera certainement nécessaire, afin de bien positionner l'utilité d'un outil, tel que *FIRST*, par rapport aux véritables systèmes de DAO, où la modélisation est le premier travail, avant la présentation papier, seule concernée ici.

### 3.1.2 Le didacticiel *FIRST*

Un didacticiel a été écrit pour faciliter le démarrage des étudiants pour qui c'est, à présent, la première expérience de dessin assisté, contrairement aux années précédentes où ils démarraient avec le "didacticiel 2D" (chapitre 6).

Le didacticiel *FIRST* a été conçu comme un "livre", dont chaque page décrit une étape à effectuer pour réaliser le premier dessin, depuis l'ouverture d'un fichier de dessin vierge, jusqu'à sa sauvegarde finale. Il est constitué d'une cinquantaine de pages, contenant chacune une explication de l'étape à effectuer, un support-dessin donnant l'état d'avancement de la pièce à réaliser (pour l'auto-évaluation de l'étudiant) et le détail précis de ce qui se passe à l'écran, au niveau des commandes et des réponses de l'ordinateur. Quelques remarques intéressantes de méthodologie ponctuent le texte. L'accent y est mis sur l'environnement de travail, c'est-à-dire la feuille, les unités graphiques, le repère, les menus, les outils d'accrochage et l'introduction d'une commande. Ces concepts restent valables pour la suite : ils ne seront plus à détailler dans les didacticiels futurs.

Un dessin 2D (Figure 10) a été choisi comme pièce exemple à réaliser étape par étape, de la création d'un nouveau dessin à son habillage (cotations), son impression très simplifiée (puisqu'il suffit de cliquer sur l'imprimante), et son exportation dans d'autres logiciels (MS-Word® par exemple).

Une aide en ligne est aussi fournie. Elle consiste en une liste alphabétique des commandes utilisables dans cet environnement. Chaque nom de commande est un mot, sous format "hypertext", donnant accès à une explication succincte, mais

suffisante, de celle-ci (définition en français, exemple de déroulement de la commande, exemple graphique).

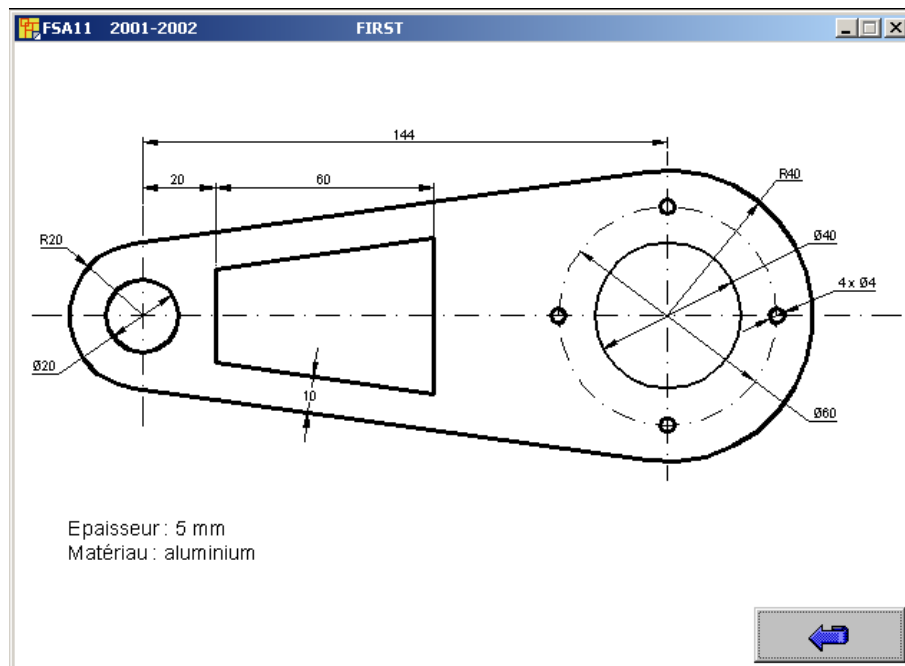


Figure 10 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel *FIRST*

### 3.2 Deux dimensions et éléments de CAO

Deuxième étape, deuxième objectif : la découverte de l'électricité. Pour aider les étudiants, le second projet a pour objet la conception, la modélisation, puis la réalisation d'une lampe-flash. D'un point de vue graphique, les étudiants ont plusieurs étapes-clés à franchir. Deux phases importantes vont donc être abordées : le dessin en deux dimensions et un début de Conception Assistée par Ordinateur.

L'apprentissage du 2D, au cours de cette seconde période, est d'abord un pré-requis pour aborder le dessin 3D, étudié durant le troisième trimestre. Mais la maîtrise du dessin 2D permet aussi aux étudiants de réaliser eux-mêmes leurs propres éléments de bibliothèque, pour la conception de leur circuit électronique. Pour aborder ces notions, l'environnement "2D" est mis au point.

Maîtriser le dessin 2D est une chose; maîtriser un outil de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) en est une autre ! Pour réaliser le dessin du circuit imprimé de leur flash électronique et le sauvegarder dans un format de fichier transmissible à la machine-outil qui le gravera, les étudiants ont aussi la possibilité de travailler avec un nouvel outil, baptisé *CIRCUIT*. L'objectif de cette nouvelle phase d'apprentissage est, non seulement la réalisation du dessin du circuit imprimé, mais aussi la manipulation d'un outil de CAO. Les étudiants peuvent ainsi aborder, par la pratique, les différences essentielles existant entre des logiciels de DAO et de CAO.

### 3.2.1 L'environnement "2D"

L'environnement "2D" plonge les étudiants dans un nouveau "monde" : le "Model Space" (Figure 50, page 252). Il n'est plus question de dessiner en "Paper Space", tel qu'on le ferait sur une feuille de papier. Il s'agit maintenant de modéliser, c'est-à-dire de dessiner d'abord son modèle, puis d'utiliser celui-ci pour obtenir un plan à imprimer, pouvant contenir, par exemple, plusieurs détails du modèle à différentes échelles.

Les outils de base restent les mêmes : une ligne, un cercle, un point d'accrochage, un menu, des boutons, ... Rien de nouveau à ce stade. Ce qui devient maintenant essentiel concerne la bonne organisation du dessin. Pour pouvoir utiliser celui-ci et le rendre accessible ou modifiable par d'autres utilisateurs, il convient de le structurer de manière rigoureuse. C'est ainsi que sont introduites les notions de couches, de limites de dessin, ... etc.

Plusieurs fonctionnalités d'AutoCAD® nécessaires au dessin 2D sont réintroduites dans les menus. L'aide en ligne de *FIRST* est complétée par la description des fonctionnalités disponibles dans l'environnement "2D".

### 3.2.2 Le didacticiel "2D"

Semblable au didacticiel *FIRST*, le didacticiel "2D" plonge directement les étudiants dans une interface connue. De nouveau, un dessin modèle a été choisi. Il est volontairement semblable au dessin de *FIRST*. Sa réalisation, de l'ouverture du fichier de dessin vierge à la présentation papier de plusieurs vues à différentes échelles de la pièce, est présentée étape après étape.

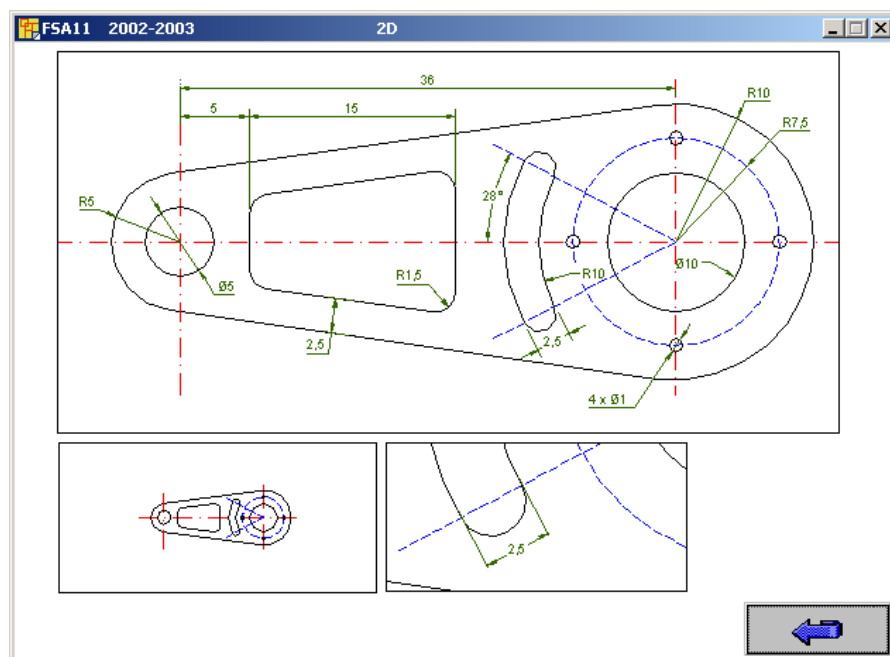


Figure 11 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel "2D"

Le dessin à réaliser SEMBLE identique à celui proposé dans le didacticiel *FIRST*. Attention, il n'en est rien (Figure 11). Si les traits de départ sont connus et aisés à représenter (des lignes, des cercles, des tangentes, ...), il faut toutefois comprendre que l'on ne représente plus un dessin sur un papier, mais bien un *modèle*, sans échelle précise. Et cette modélisation se fait dans un monde dit "model space", permettant ensuite toutes les configurations possibles d'impression sur papier. Il sera, en effet, possible de déterminer, au moment de préparer l'impression et sans plus intervenir sur le modèle, le nombre de vues, les détails à insérer, les échelles, les entités visibles ou non, ...etc.

Les avantages du didacticiel sont évidemment multiples. On notera à nouveau la grande autonomie des étudiants, qui découvrent rapidement de nombreux concepts, à leur propre rythme. Les étudiants sont guidés par un chemin soigneusement balisé, tant du point de vue des contenus à aborder que de la méthode. Le canevas proposé par le didacticiel, pour la résolution du dessin, a d'ailleurs tendance à se retrouver tel quel dans les dessins tests, lors de l'évaluation (on retrouve, par exemple, les mêmes structures de couches, les mêmes couleurs, ...). Enfin, il est intéressant de constater

que les étudiants semblent rassurés de disposer d'un exemple de réalisation de dessin complet, dont la méthode de résolution est très détaillée et reproductible.

Lors de la réalisation de nouveaux dessins, il est assez fréquent de voir les étudiants relire certains passages du didacticiel. Il est vrai qu'ils ne peuvent, comme c'était le cas auparavant, interroger immédiatement leur enseignant dès qu'un problème se pose, puisqu'ils travaillent davantage seuls.

### 3.2.3 L'environnement *CIRCUIT*

Pour réaliser le dessin du circuit imprimé de leur flash, les étudiants doivent franchir trois étapes : le dessin du schéma électronique du flash, sa conversion en un circuit imprimé et enfin le tracé de la plaque, telle qu'elle sera gravée. Pour franchir ces trois étapes, un logiciel appelé *CIRCUIT*, basé sur AutoCAD® et dédié à la réalisation de circuits électroniques, est mis au point. En voici une brève description.

Le logiciel *CIRCUIT* est conçu comme un outil (modeste) de Conception Assistée par Ordinateur. Il se compose de trois environnements de travail, relativement inter-dépendants, mais non accessibles simultanément. Voici, sur un exemple simple, les différentes étapes de réalisation du dessin du circuit électronique, correspondant à un dispositif permettant de faire flasher une LED.

L'environnement *SCHEMA* est le premier utilisé. Il est l'environnement par défaut, lorsqu'on démarre un nouveau dessin. Il présente, comme dans *FIRST*, un espace graphique de la taille d'une feuille A4 (en Paper Space). Il y permet le dessin du schéma, par insertion des divers composants utiles présentés dans un tableau (réalisés sous forme de blocs dans AutoCAD®), et des liaisons (qui ne sont autres que des polygones 2D) entre ces composants. Aucune vérification de conception n'est appliquée à ce premier dessin. Il convient d'y "recopier" le schéma, réalisé préalablement sous forme papier-crayon (exemple, Figure 12 et Figure 13).

A chaque composant électronique doit ensuite être associé (sous forme d'attribut de bloc) le numéro correct de son "foot-print", c'est-à-dire une correspondance à un composant électronique réel, dont on connaît la géométrie et les dimensions exactes. Plusieurs "foot-print" sont possibles, selon l'orientation ou le type de composant choisi. Ceci prépare le passage "automatisé" à l'environnement *CIRCUIT IMPRIME*.

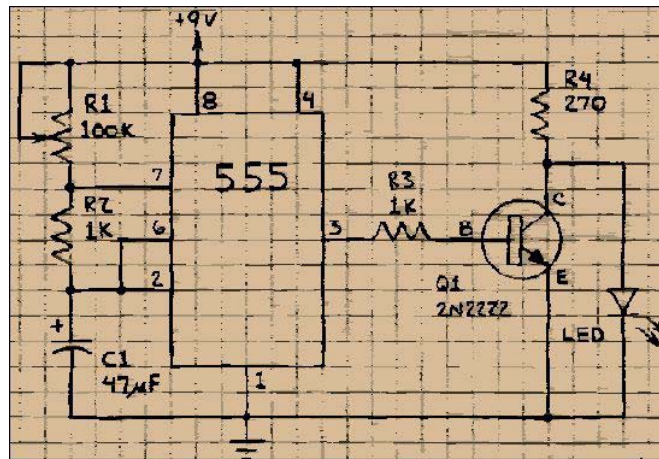
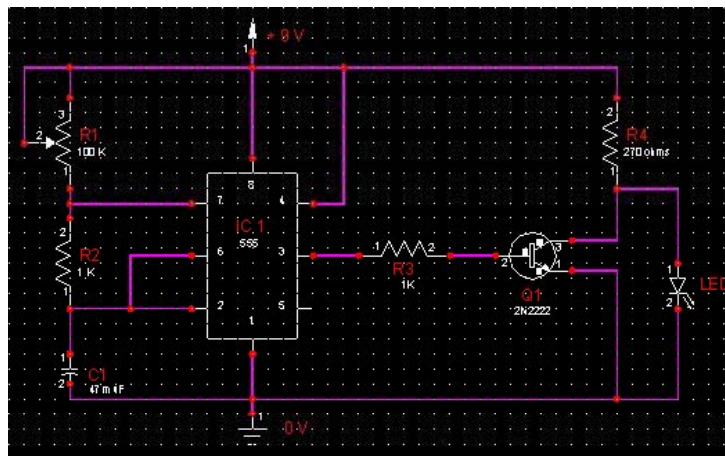


Figure 12 : Le schéma "papier-crayon" du circuit à réaliser

Figure 13 : Le même schéma représenté avec *CIRCUIT* dans le premier environnement

Le passage à l'environnement *CIRCUIT IMPRIME* génère, de manière automatique, un circuit correspondant au schéma théorique de départ. Celui-ci comprend les composants à taille réelle et des liaisons dites "de travail" (en bleu, Figure 14). Celles-ci sont recopiées de l'environnement schéma (liaisons magenta de la Figure

13), mais doivent toutes être repositionnées correctement, en tenant compte de la place réellement disponible sur la plaque physique à utiliser et de l'emplacement que l'on désire attribuer à chaque composant. Dans cet environnement, le travail consiste donc à déplacer chaque composant et à redéfinir des liaisons cohérentes, en évitant tout croisement inexact, en utilisant les pattes correctes des composants, etc.

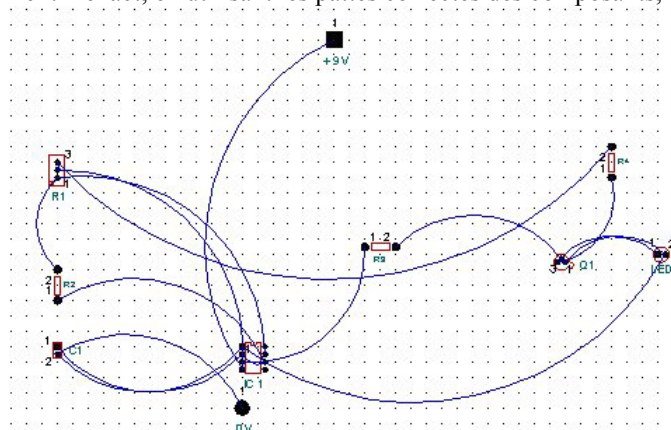


Figure 14: Passage à l'environnement *CIRCUIT IMPRIME* où l'on visualise les nouveaux composants et les liaisons de travail

A tout moment, le système peut vérifier la concordance entre le nouveau circuit imprimé, qui se crée petit à petit, et le schéma théorique de référence.

Lorsque tous les composants sont correctement placés et lorsque toutes les liaisons ont été redéfinies, il reste à passer à l'environnement FICHIER. Celui-ci est un environnement de dessin classique, dans lequel on s'occupe principalement de l'exportation du circuit imprimé vers la machine-outil de l'atelier qui en assurera la réalisation technique. C'est dans cet environnement que se définit le centrage de la plaque, que s'ajoute le texte à y imprimer. C'est là aussi que peuvent se corriger certaines liaisons ou certains éléments, d'un point de vue purement graphique (DAO), sans plus aucune vérification (CAO). La sauvegarde du dessin, dans cet environnement, génère un fichier de format \*.dxf lisible par la machine-outil.

Par l'exemple, il est aisé de comprendre que le logiciel *CIRCUIT* permet aux étudiants d'aborder un premier outil et surtout les concepts de CAO. En effet, la partie graphique est limitée à l'insertion d'éléments de bibliothèque prédéfinis ou à dessiner; en revanche, le travail réside surtout dans la vérification des contraintes du circuit et la préparation d'un fichier externe destiné à la machine-outil.



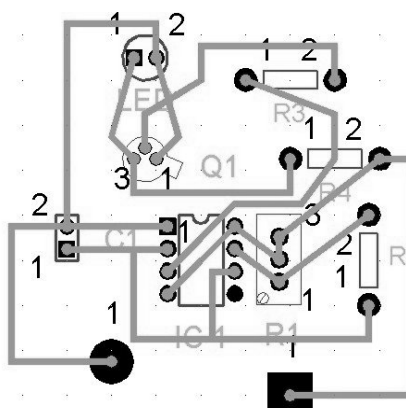


Figure 15 : Le même circuit imprimé, après remplacement correct des composants, des liaisons, ... (La figure est légèrement agrandie par rapport à la figure précédente pour permettre de mieux distinguer le travail)

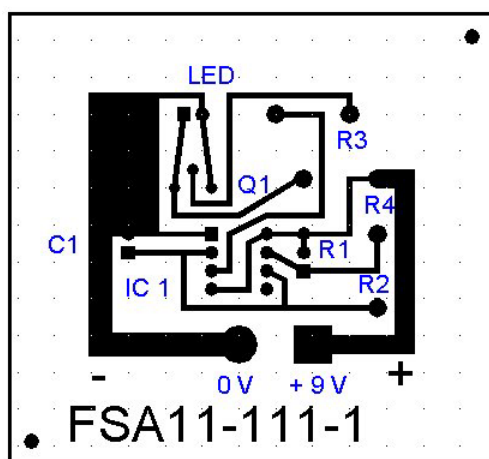


Figure 16 : Exemple de dessin transféré à la machine-outil gravant la plaque

### 3.2.4 Le didacticiel *CIRCUIT*

Comme pour *FIRST* et "*2D*", un didacticiel a été écrit pour faciliter le démarrage des étudiants dans leur apprentissage de *CIRCUIT*. L'accent y est mis sur les trois environnements de travail et les différentes opérations possibles dans chacun d'eux.

Un circuit imprimé a été choisi comme pièce exemple à réaliser, étape par étape, de la création d'un nouveau dessin, à son exportation à la machine-outil. Il s'agit du circuit décrit ci-dessus (Figure 12 à Figure 16). Une aide en ligne des commandes utilisables est aussi fournie.

La présentation du didacticiel et de l'aide en ligne est semblable à celle déjà connue des didacticiels et aides précédents. Les étudiants ne perdent pas de temps à se familiariser avec un nouvel outil d'auto-apprentissage, mais focalisent directement leur attention sur le contenu et la méthode à acquérir.

## 3.3 Trois dimensions et images de synthèse

Le troisième projet proposé, lors de la première année de formation, consiste en la modélisation et la simulation d'un système multicorps. Il consiste, par exemple, en l'étude des mouvements d'un quad, lancé à vitesse donnée sur un tremplin. Ceci nous pousse tout naturellement à proposer un apprentissage du dessin en trois dimensions, pour la réalisation des corps du système à concevoir, avant de passer à l'animation virtuelle de celui-ci. L'étude du DAO se complète donc par l'apprentissage du dessin 3D et tout se qui touche à la fabrication des images "réalistes".

Quand on aborde le dessin en trois dimensions, il faut comprendre que diverses techniques de représentation coexistent. Parmi elles, citons les deux plus utilisées : le dessin 3D en termes de surfaces (volumes creux représentés par leurs faces extérieures) et le 3D en termes de volumes (solides pleins). Pour les comprendre, deux environnements sont proposés aux étudiants : le *3DS* (surfaces) et le *3DV* (volumes).

Enfin, pour aider les étudiants à créer un film en images de synthèse, simulant le parcours de leur système multicorps, un dernier environnement est créé : l'environnement *ANIMATION*. Celui-ci clôture ainsi une large exploration des possibilités et ouvertures d'un système de DAO.

### 3.3.1 L'environnement 3DS

L'environnement 3DS est l'environnement "2D" complété des outils (entités et opérations possibles) relatifs au dessin d'entités 3D, technique des surfaces. Les menus relatifs aux entités 3D (régions et surfaces), opérations 3D, définition de nouveaux repères et modification des points de vue sont ajoutés.

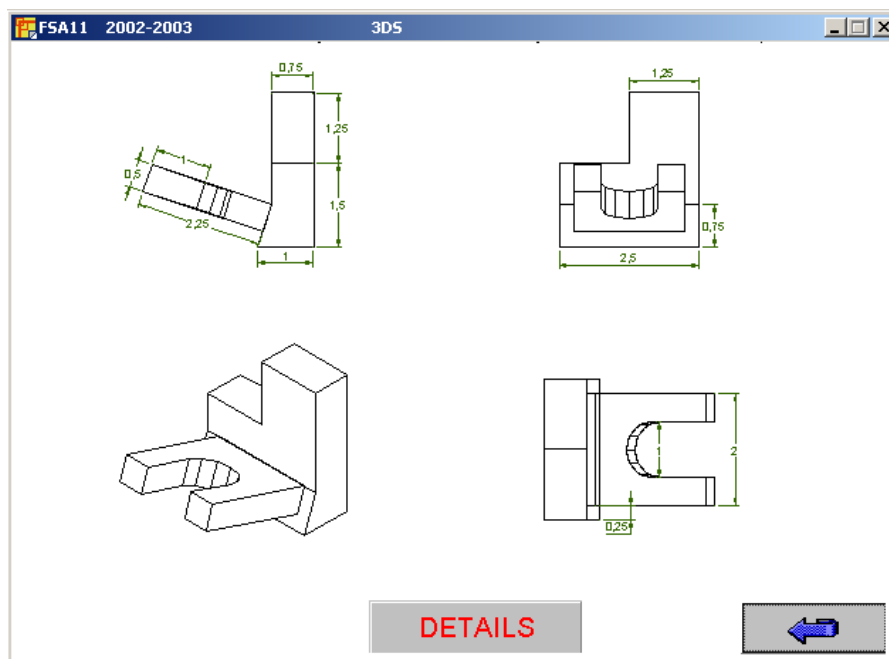


Figure 17 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel 3DS (le bouton DETAILS donnant une vue agrandie de chaque profil de la pièce)

### 3.3.2 Le didacticiel 3DS

Le didacticiel 3DS complète le didacticiel "2D". De nouveau, un dessin est choisi comme exemple et détaillé pas à pas (Figure 17). Peu de notions déjà abordées en 2D sont répétées en 3DS. Seules quelques redites sont faites, à propos de l'impression d'un dessin sur papier, étant donné la complexité de l'opération.

L'accent est donc mis sur les objets 3D à manipuler, les différentes manières de représenter des surfaces et surtout sur deux notions fondamentales pour la manipulation d'objets de l'espace. Celles-ci, plus complexes, sont la manipulation des repères et des projections parallèles, permettant de définir différents points de vue d'un objet 3D. Ces concepts sont délicats, dans la mesure où ils nécessitent une bonne vision spatiale de la part des étudiants. Ils sont largement commentés dans le didacticiel.

Comme en 2D, l'accent est mis sur le rôle de l'espace "Model Space", dans lequel l'objet 3D est modélisé, contrairement à l'espace "Paper Space", dans lequel se prépare l'impression du plan papier. Les concepts d'échelle graphique, de cotation, de gestion des couches y sont assez ardues à comprendre. Une large part leur est à nouveau réservée dans les pages de ce didacticiel.

### 3.3.3 L'environnement *3DV*

L'environnement *3DV* ressemble à s'y méprendre à l'environnement *3DS*. Comme précédemment, les accès aux outils *3DV* (entités et opérations possibles en 3D volumes) sont simplement ajoutés. Notons que, petit à petit, l'ensemble des possibilités d'un logiciel professionnel tel qu'AutoCAD® est abordé. C'est pourquoi, pour la première fois, en plus de l'aide en ligne propre à *3DV*, l'aide en ligne officielle d'AutoCAD® dans sa version anglaise est accessible, conformément à notre choix d'amener, progressivement, les étudiants à utiliser la version complète du logiciel.

### 3.3.4 Le didacticiel *3DV*

Le didacticiel *3DV* présente les mêmes caractéristiques que ses prédécesseurs, tant du point de vue de la présentation que de la philosophie sous-jacente. Il décrit toujours, pas à pas, les différentes étapes à effectuer pour atteindre la présentation papier d'une pièce en 3D volumes, choisie comme pièce de référence (Figure 18). Le plus difficile, dans ce cas, est certainement de décrire une méthode de travail. En effet, il est difficile de décrire la construction d'un volume complexe en termes d'unions, de soustractions ou d'intersections de quelques volumes canoniques donnés et de contours 2D extrudés.

De plus, sans avoir testé quelque hypothèse que ce soit, il semble, intuitivement, qu'une bonne vision dans l'espace constitue un atout important à la compréhension des étapes à franchir. Pour faciliter le démarrage, les dessins sont donc désormais

proposés, non seulement sous la forme des plans principaux de projection (comme décrits page 232), mais aussi selon une vue axonométrique classique.

Ce dernier didacticiel de la série complète les précédents. Il ne peut, comme son prédécesseur *3DS* d'ailleurs, être étudié isolément. Les notions introduites dans chaque didacticiel sont considérées comme acquises lors du démarrage du suivant. Seules quelques notions plus complexes sont répétées ou citées pour rappel (définition des vues, définitions des échelles, etc.).

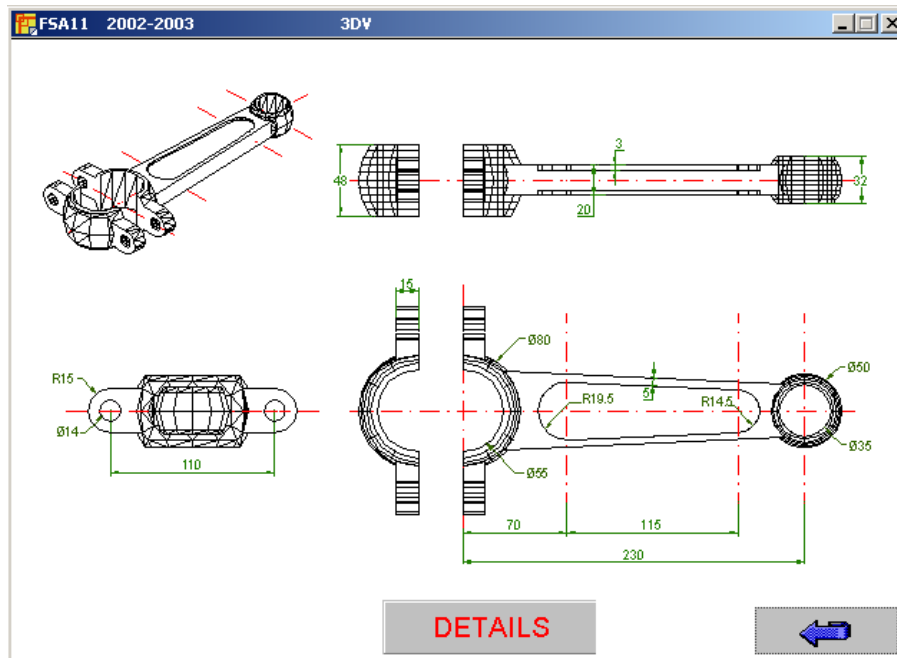


Figure 18 : Le dessin final à réaliser à l'aide du didacticiel *3DV* (le bouton DETAILS donnant une vue agrandie de chaque profil de la pièce)

### 3.3.5 L'environnement *ANIMATION*

Pour simuler les mouvements d'un système multicorps (validation de modèles intermédiaires et génération d'un film final), un dernier outil, toujours basé sur AutoCAD®, a été mis au point. Celui-ci permet de générer une véritable simulation,

en images de synthèse, des différents corps dessinés en trois dimensions et constituant le système.

L'outil décrit ici est très différent des précédents. Son principe d'utilisation est le suivant : dans une phase précédente du projet et indépendante du DAO, les étudiants sont amenés à générer un système d'équations, décrivant les mouvements de chaque corps constituant leur système multicorps. Ils doivent ainsi générer un fichier de données cinématiques reprenant, pour chaque image du futur film, les positions des différents corps (point d'insertion du corps, direction des axes  $OX$  et  $OY$  du repère du corps) constituant le système étudié. Lorsque ce travail préliminaire est terminé, il est possible de passer à la représentation des différents corps du système, du décor dans lequel il va évoluer, avant de générer des images de synthèse proprement dites et un film final. Pour cela, l'outil *ANIMATION* est indispensable.

L'environnement *ANIMATION* va, d'une part, permettre de représenter, dans un premier environnement très proche de celui de *3DV*, chaque corps du système (lequel sera sauvegardé dans un fichier distinct, sous forme de bloc). D'autre part, en passant à l'environnement propre à l'animation, il sera possible de générer chaque image, sous forme de bloc, en y insérant l'ensemble des corps du système, tenant compte de leur position décrite dans le fichier de cinématique.

Avec l'outil *ANIMATION*, les étudiants ont l'occasion d'aborder beaucoup de nouveaux concepts, soit graphiques, soit mathématiques. Parmi eux, citons les notions de :

- Blocs. Ceux-ci sont déjà décrits et utilisés dans l'environnement *CIRCUIT*. En effet, les différents composants d'un circuit électronique sont stockés dans une bibliothèque sous forme de blocs. Mais avec le logiciel *ANIMATION*, les étudiants doivent davantage retravailler ce concept. En effet, chaque corps constituant le système multicorps est généralement formé de plusieurs entités de dessin, mais représente un seul "objet" (un seul "bloc" graphique) qui, indépendamment des autres corps, subira une série de déplacements, rotations, etc. Dans ce cas, l'utilisateur doit lui-même créer ces propres "blocs" (contrairement à l'environnement *CIRCUIT* où il ne fait qu'utiliser des blocs existants), en respectant une série de règles (création dans une couche particulière, gestion des couleurs et des attributions de matériaux, sauvegarde, etc.).
- Attribution de matériaux. *ANIMATION* est le premier environnement pour lequel attribuer des matériaux aux différents éléments à animer prend vraiment tout son sens. En effet, pour générer des images de synthèse correctes, il sera

nécessaire de générer une véritable "scène", c'est-à-dire ajouter, en plus d'un décor (par exemple un chemin pour visualiser le parcours d'un quad), les lumières l'éclairant. Or, qui dit lumière, dit gestion importante des matériaux. Ceux-ci possèdent, en effet, des propriétés très intéressantes de réflexion, réfraction, transparence, couleurs, textures, reliefs, ... qui ne peuvent être visualisées que si une ou plusieurs sources de lumière sont définies.

- Ombrage. Nous venons de le souligner, la lumière prend toute son importance pour visualiser correctement le comportement des matériaux. Elle permet aussi de générer les ombres portées des différents corps. Là aussi, il est nécessaire de comprendre la position du système multicorps, par rapport à la position du soleil (défini par défaut à Louvain-la-Neuve le 21 juin, 10h), son intensité et le rôle de la lumière ambiante.
- Couleur. Les utilisateurs du logiciel *ANIMATION* ont la possibilité de générer des images de synthèse avec différentes palettes de couleurs, basées sur 8, 16, 24 et même 32 bits. En générant quelques images, il est très facile de visualiser les différentes qualités produites, selon le choix effectué.
- Rendu réaliste. Plusieurs types de rendus d'images coexistent dans *ANIMATION*. Ils vont d'un simple rendu d'images tenant compte, par exemple, des matériaux au niveau de leur couleur mais d'aucune lumière solaire, jusqu'à un rendu de type "Raytracing", tenant compte des matériaux et de toutes leurs propriétés, du soleil et des ombres portées, du lissage des parties courbes du dessin, etc. Ces rendus produisent, évidemment, des images de synthèse de qualités différentes et plus ou moins longues à générer (Figure 19). On le comprend aisément, plus la qualité souhaitée est grande, plus le temps de calcul d'une image est important.
- Projection parallèle et perspective centrale. Ces deux techniques de représentation plane d'objets tridimensionnels sont utilisées dans *ANIMATION*. La méthode la plus simple est la projection parallèle. Les rayons de projection y sont tous parallèles à la direction de projection fixée. L'avantage de cette projection est de conserver le parallélisme et la proportionnalité des distances. Elle est facile à opérer pour le dessin à la main, mais ne rend pas un résultat conforme à la réalité. Elle est donc peu utilisée avec les ordinateurs pour des rendus réalistes. La seconde méthode de projection, la perspective centrale, rend mieux compte de la réalité, puisque plus proche de notre vision et de la photographie. Elle est la représentation choisie par défaut dans *ANIMATION* (contrairement aux environnements *3DS* et *3DV*).

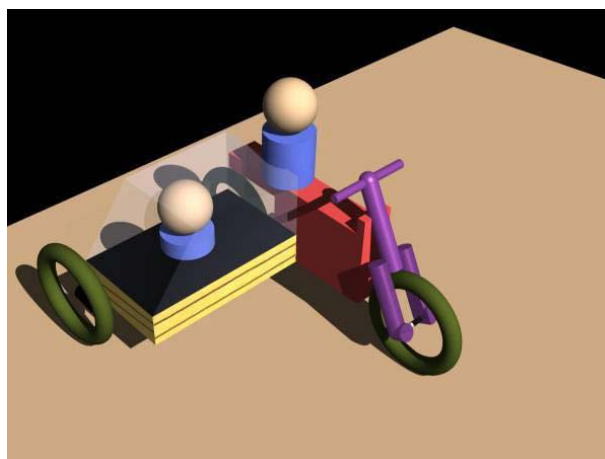


Figure 19 : Exemple de rendu d'une image (side-car : corps simplifiés)

- Positions de caméra et de cible, distance focale. Si les notions de perspectives centrales nous sont très intuitives, elles n'en restent pas moins mystérieuses au moment où, explicitement, il faut déterminer dans l'espace les positions réelles de caméra (d'où regarder), de cible (vers où regarder) et déterminer une distance focale (l'angle et le champ de la prise de vue). L'outil *ANIMATION* permet de manipuler ces concepts, à la fois familiers dans le langage courant, mais pourtant techniques. L'utilisateur comprend, après quelques manipulations, la portée de ses choix. Il ne faut toutefois pas confondre le comportement d'un appareil photographique, tributaire d'un ensemble de lentilles, et le comportement d'un logiciel de DAO, manipulant les notions de perspectives d'un point de vue purement mathématique (appareil photo idéal). On ne retrouvera donc pas, dans le choix d'une distance focale particulière, une modification de la zone de netteté de l'image (profondeur de champ).
- Plans de vue. Par défaut, une position de caméra, une distance focale et un point cible sont fixés dès le démarrage d'*ANIMATION*. Pour générer une animation plus dynamique, il est possible de définir ce que nous appelons des "plans de vue", différents le long du parcours. Un plan de vue est défini par une position de caméra, une position de cible et une distance focale, pour une image particulière. Le long du parcours de son système multi-corps, l'utilisateur peut donc définir plusieurs plans de vue. Soit ceux-ci sont considérés comme plans



fixes à certaines images-clés, soit une interpolation linéaire est possible entre les plans de vue, afin de générer une animation plus souple. Ceci permet de simuler différents mouvements de caméra, tels qu'un panoramique (la caméra ne se déplace pas, elle bouge sur son axe pour balayer l'espace), un effet de zoom avant ou arrière (la caméra ne se déplace pas, mais se rapproche du sujet grâce aux modifications de la focale) ou un effet de travelling (la caméra se déplace pour filmer le sujet en le suivant dans son mouvement).

- Génération d'un film et sa méthodologie sous-jacente. Après avoir défini les différents plans de vue constituant l'animation, les matériaux associés aux objets et la qualité de rendu réaliste qu'il désire, l'utilisateur est en mesure de fabriquer le film complet, aidé par le logiciel, qui assemble automatiquement les images générées.

La génération d'un film d'images de synthèse peut être une opération plus ou moins longue, en fonction de la qualité des images que l'on désire obtenir et la complexité du dessin réalisé. Comme toute activité de conception, celle-ci requiert des allers et retours, des essais et des erreurs. Adopter une bonne méthodologie de travail permet d'obtenir en un temps relativement court (quelques jours) une animation au meilleur rapport qualité-temps de création. Pour la facilité de l'utilisateur, quelques conseils méthodologiques sont fournis dans le mode d'emploi d'*ANIMATION*. En effet, pour ne pas perdre de temps, une manière efficace de travailler pourrait se diviser en quatre phases : validation d'une cinématique sur base de l'animation d'un système multi-corps très simplifié (dessins des corps et décors dépouillés de matériaux et de détails inutiles), validation des plans de vue permettant une simulation d'un élément critique du système (par exemple, un zoom sur les mouvements d'une suspension), validation du rendu réaliste d'une image (dessins des corps et décors complétés de leurs matériaux) et enfin génération d'un film complet. Ce travail en plusieurs phases permet de valider les modèles, tant cinématique que de dessin, puis seulement de passer à un habillage plus satisfaisant des images, en ajoutant des matériaux et divers éléments du décor, pour la fabrication définitive du film.

#### 4 Développement technique des didacticiels et environnements

Le style de chaque didacticiel et de l'aide en ligne associée est resté le même que celui de l'ancien "didacticiel 2D" décrit au chapitre 4. En effet, aucun commentaire négatif n'avait été émis à ce sujet et l'objectif ici n'est pas d'en faire des produits de

haute valeur multimédia, mais bien des outils de travail pratiques et sobres. Comme le précédent, les didacticiels *FIRST*, *2D*, *CIRCUIT*, *3DS* et *3DV* ont été réalisés à l'aide du logiciel Asymetrix | Multimedia | Toolbook |, système Auteur multimédia pour Microsoft® Windows |. Les exécutables générés permettent aux didacticiels d'être des outils totalement indépendants du fonctionnement d'AutoCAD® et peuvent donc être lus seuls.

Les environnements de travail, quant à eux, sont directement dépendants du logiciel, puisqu'ils sont principalement basés sur les menus d'AutoCAD® 2000. Ces menus de base ont été initialement réduits au strict nécessaire pour *FIRST* et progressivement complétés pour les environnements *2D*, *3DS* et *3DV*, conformément à notre choix pédagogique d'aborder l'ensemble des notions de manière progressive.

L'environnement *CIRCUIT* est différent des précédents, dans la mesure où les menus (barres de menus et icônes) qui le constituent sont créés de toutes pièces pour l'application. Les fonctions associées aux nouveaux boutons ont été écrites en Visual Lisp, langage interne disponible dans AutoCAD®.

Quant à l'environnement *ANIMATION*, il se compose de deux parties : l'une proche de l'environnement *3DV*, pour la modélisation d'un système multicorps 3D et la seconde, permettant de générer l'animation de ce système. L'environnement *3DV* dont il est question ici, est l'environnement *3DV* précédent, augmenté des quelques fonctionnalités relatives à la gestion des matériaux (leur définition et leur application aux entités), d'un unique bouton et d'un menu permettant l'accès à *ANIMATION*.

Le second environnement de l'*ANIMATION* est caractérisé par l'affichage de deux fenêtres distinctes : l'une étant la fenêtre graphique, légèrement réduite par rapport à celle des versions précédentes (*2D*, *3DS*, *3DV*) et l'autre, offrant la possibilité d'ouvrir une animation existante ou d'en créer une nouvelle. Cette fenêtre et celles qui lui sont associées figurent toutes dans cette zone contiguë à la fenêtre graphique (voir un exemple en annexe, page 253). Tous les boutons de fonctions auxquels il est possible d'accéder, selon le travail à réaliser, ont été écrits en MS-VB. Les fonctions agissant sur des commandes d'AutoCAD® ont été écrites en Visual Lisp (ouverture de fichiers, sauvegarde, insertion d'une image, etc, ...). Le transfert d'informations entre MS-VB et AutoCAD® se fait principalement par l'intermédiaire de fichiers externes (format "text") et de communication DDE (Dynamic Data Exchange).

## 5 L'organisation de l'enseignement

L'environnement *FIRST* (menu d'AutoCAD<sup>®</sup>, didacticiel, aide en ligne) n'a été disponible pour les étudiants qu'à la fin du premier trimestre, trois semaines avant la remise définitive des rapports de projet. Son utilisation est restée facultative. Aucun cours magistral associé n'a été dispensé. Seules quelques heures de consultance ont été organisées, pour aider les étudiants soit dans leur apprentissage, soit déjà dans certaines de leurs réalisations.

Aucun problème particulier n'est à signaler, mais il n'a pas été fait de contrôle systématique de l'utilisation de l'outil. En effet, celui-ci était à disposition des étudiants sans obligation d'utilisation. Toutefois, les dessins créés avec *FIRST* et fournis dans les rapports de projets des étudiants, en fin de premier trimestre, sont d'un excellent niveau (manipulation correcte des types de traits, des cotations, des échelles, ....). Un bémol toutefois pour les étudiants : ils sont frustrés de ne pouvoir travailler en 3D. Mais cela fait partie du choix méthodologique que nous avons adopté, pour assurer une progression de l'apprentissage en douceur.

Le choix de représenter une pièce semblable dans les didacticiels *FIRST* et "2D" a pour objectif de positionner les étudiants, dès le départ de l'apprentissage du 2D, dans un environnement qui leur paraît familier, quant à l'utilisation des commandes de base du logiciel. Les difficultés à aborder, à l'aide de ce deuxième outil, ciblent donc la méthodologie de représentation, la structure du dessin, la compréhension de l'utilité de l'espace de modélisation et non pas les commandes purement graphiques (line, circle, tangent to, etc.). L'effet indésirable de ce choix serait que l'étudiant estime avoir déjà réalisé le dessin et juge en maîtriser suffisamment les tenants et aboutissants, plutôt que d'investir encore du temps à le "recommencer". Or, nous venons de voir que ce travail n'est en rien une répétition, mais bien une nouvelle approche. Un cours magistral, exposant clairement cette différence fondamentale entre le crayon électronique et les premiers concepts de DAO, s'impose à cette étape de l'apprentissage.

Ce cours est donné au début de ce second projet. Il permet aux étudiants de démarrer leur apprentissage du dessin 2D et présente, à partir de quelques exemples simples, les concepts et la méthodologie de base. La suite du travail est essentiellement individuelle. Chaque étudiant parcourt le didacticiel 2D à son rythme. Des dessins 2D sont proposés sur le WEB, à titre d'exercices.

Un second cours magistral est ensuite organisé, basé sur les contenus et concepts de l'environnement *CIRCUIT*. L'enseignant y expose, non seulement les principes

d'utilisation du logiciel, mais aussi les bases du transfert d'informations entre AutoCAD<sup>®</sup> et d'autres logiciels.

Dans cette séquence (*FIRST* puis *2D* et *CIRCUIT*), nous avons rencontré peu de problèmes. Quelques rares étudiants n'ont pas tout de suite compris l'intérêt de la modélisation, par rapport au dessin dans l'environnement *FIRST*. Mais dès que les problèmes d'impression surgissent, cela devient plus clair. Ce sont toutefois les difficultés de la préparation d'une feuille à imprimer qui sont les plus présentes : cotations du dessin à différentes échelles, problème d'alignement des vues, gestion des cadres, ...

Avec l'environnement *CIRCUIT*, les étudiants ne quittent pas encore définitivement le type d'environnement qui leur avait été fourni, au premier trimestre, avec *FIRST*. En effet, il leur suffit toujours, dans ce cas-ci, de dessiner des entités 2D de base (une liaison électronique étant simplement une polyligne dans AutoCAD<sup>®</sup>) dans le mode "Paper Space". Mais c'est aussi la première fois que les étudiants manipulent les bibliothèques d'objets, avec les blocs d'informations et leurs attributs.

C'est aussi l'occasion, pour les étudiants, de comprendre la différence qu'il y a entre un système de Dessin Assisté par Ordinateur et un outil de Conception Assistée par Ordinateur. Tout modestement, les vérifications faites entre le travail réalisé dans l'environnement *SCHEMA* et celui réalisé dans l'environnement *CIRCUIT IMPRIME* en est un bon exemple. C'est plus que du dessin, c'est une aide à la conception. Un mauvais croisement de pistes, une mauvaise liaison entre deux éléments, ... sont détectés et signalés à l'utilisateur. Il lui est même impossible de poursuivre dans cette mauvaise voie.

L'outil *CIRCUIT* a été utilisé par les 300 étudiants de première année. Les difficultés rencontrées sont surtout dues au temps restreint dont ils disposent pour aborder ce type d'outil. Ils ont peu de temps pour approfondir les notions importantes mais ceci est inhérent à l'organisation du projet. Ceci a pour conséquence une lecture, semble-t-il, un peu superficielle du didacticiel et des consignes données pour faciliter le travail. Quant aux circuits conçus, ils sont corrects et n'ont posé aucun problème lors de leur réalisation physique.

Enfin, les étudiants ne sont pas obligés d'aborder un logiciel de conception électronique professionnel et complexe. Les résultats qu'ils obtiennent sont tout à fait satisfaisants, par rapport aux exigences attendues. Le souhait de n'aborder qu'un seul logiciel de DAO tout au long de l'année est respecté. Dès le troisième didacticiel, nous pouvons observer cette rapidité de mise en route des étudiants,

familiers à l'environnement d'AutoCAD®. Ceci plaide en faveur du choix judicieux d'un fil conducteur.

Un troisième cours magistral, en début de troisième trimestre, présente les concepts de base du dessin en trois dimensions, mais aussi la restructuration des connaissances acquises précédemment en 2D. En effet, c'est durant ce cours que sont commentées les principales erreurs rencontrées lors de l'évaluation 2D (voir paragraphe "Evaluations", ci-après) et que les étudiants peuvent interpeller l'enseignant, concernant un point incompris de la matière ou de la méthode à employer. Il nous semble indispensable de s'assurer, à ce stade de l'apprentissage, que les notions 2D sont correctement assimilées pour deux raisons : la première est que le dessin en trois dimensions utilise de nombreuses notions étudiées via le 2D (limites, couches, entités 2D, impression, etc.) mais aussi parce que les didacticiels *3DS* et *3DV* ne reprennent plus ces notions. Ils entament immédiatement le vif du sujet 3D.

Un quatrième et dernier cours magistral décrit ensuite les concepts de base des images de synthèse, tels que les notions de couleurs, matériaux, positions de caméra et de cible, perspectives centrales, projection parallèle, ... etc. Il introduit les notions principales de l'utilisation du logiciel *ANIMATION*, en se basant sur quelques exemples.

Au niveau des travaux pratiques, les étudiants disposent, dans un premier temps, des didacticiels *3DS* et *3DV*, des aides en ligne associées et de quelques exemples de dessins (sur le Web) à réaliser à leur rythme. Dans une seconde phase, ils disposent du logiciel *ANIMATION*. Aucun didacticiel ni aide en ligne n'ont été écrits pour lancer les étudiants dans l'*ANIMATION*. Ceux-ci disposent d'un mode d'emploi<sup>73</sup> complet et détaillé du logiciel, incluant une note méthodologique. L'aide en ligne, mise désormais à disposition des étudiants, est la véritable aide d'AutoCAD® 2000, dans sa version anglaise. Le but poursuivi ici est de mettre les étudiants dans les conditions réelles de l'utilisation du logiciel et plus de ses versions simplifiées et progressivement complétées. L'étudiant devrait, de cette manière, prendre lui-même l'initiative d'une recherche, aussi complexe soit-elle. En effet, il semblerait que pour faciliter le transfert des connaissances à un contexte professionnel, "le support de l'enseignant doit graduellement être retiré afin d'offrir aux étudiants des opportunités d'initiatives et de prises en charge de leurs propres démarches de travail. Le niveau de support que devrait offrir l'enseignant initialement est

---

<sup>73</sup> Mode d'emploi fourni par groupe d'étudiants dans sa version papier et disponible sur le Web, sous format PDF.

inversement proportionnel à l'expérience de ceux-ci. (...) Ceci devrait favoriser l'émergence d'une autonomie de pensée et d'action fortement attendue par le milieu professionnel" (Frenay & Bédard, sous presse).

Du point de vue de l'encadrement des étudiants, un monitorat libre (ou consultance) est organisé la première année de cours (2000-2001). Plusieurs modules horaires (en moyenne 1h30 par semaine et par trois groupes de huit étudiants) sont prévus et communiqués aux étudiants. Durant ces heures, les étudiants peuvent obtenir de l'aide de l'enseignant. Il n'y a aucune obligation pour les étudiants de participer à ces monitorats, mais ils leur sont vivement conseillés.

La deuxième année de cours (2001-2002), les consultances sont plutôt organisées sous forme de tutorat. L'enseignant passe systématiquement dans tous les locaux<sup>74</sup> d'étudiants, pour les interpeller sur l'avancement de leur travail. Dès qu'une question est posée, l'enseignant guide l'étudiant vers une solution (sans la lui fournir, mais en lui donnant les moyens de la découvrir seul) et peut profiter de l'occasion pour diffuser l'information aux autres étudiants présents.

De plus, les étudiants disposent d'un livre de référence, dans leur bibliothèque de groupe, et du syllabus (page 239), mis à jour et converti au format PDF<sup>75</sup>. Enfin, il leur est toujours possible de contacter l'enseignant, par courriel, pour solliciter un rendez-vous supplémentaire ou soumettre une question plus urgente.

Le Tableau 20, en annexe page 254, est la synthèse du déroulement du dispositif.

## 6 Evaluation des connaissances

Nous avons peu parlé de l'évaluation des connaissances. Elle a pourtant toute son importance, dans le processus complet de l'apprentissage. Elle se divise en quatre parties, pour lesquelles les critères globaux de l'évaluation sont connus par les étudiants, car disponibles sur le site Web du cours et clairement définis par rapport aux objectifs annoncés.

La première partie consiste en la réalisation individuelle, sur ordinateur, d'un dessin 2D donné sur papier. Ce test a lieu la neuvième semaine du deuxième trimestre et

---

<sup>74</sup> Un local de travail est attribué à trois groupes de huit étudiants.

<sup>75</sup> Lejeune, M., Pelsser, Y., Tourpe, A., (2000), *Dessin Assisté par Ordinateur*, Notes de cours et mis sur le site du cours (seulement accessible aux étudiants).

évalue principalement les acquis relatifs à l'environnement "2D". La seconde partie est intégrée à l'évaluation globale en groupe du projet trimestriel, lors de sa défense devant un jury, la onzième et dernière semaine du deuxième trimestre. Elle évalue, dans ce cas, les acquis relatifs à la manipulation des contenus et concepts de l'environnement *CIRCUIT*.

Les troisième et quatrième parties de l'évaluation reproduisent le schéma précédent, durant le troisième trimestre. C'est ainsi, qu'individuellement, sont évalués les acquis relatifs aux environnements *3DS* et *3DV*, sous forme d'un dessin à réaliser sur ordinateur et, qu'en groupe, sont évalués les acquis relatifs à l'environnement *ANIMATION*.

Les dessins réalisés lors des tests sont consultables sur demande et individuellement après corrections.

## 7 Impact du dispositif pédagogique

Au terme de deux années de réforme, il nous paraît intéressant de comparer les résultats obtenus par les étudiants. Rappelons que nous disposons de deux groupes d'étudiants : l'un ayant bénéficié de séances libres de *monitorat*, tout au long de l'apprentissage (année 2000-2001), et l'autre ayant bénéficié de séances régulières de *tutorat* (année 2001-2002).

Au niveau des évaluations, nous ne disposons que des résultats aux tests 2D et 3D réalisés individuellement par chaque étudiant. L'évaluation des acquis au sein des projets (évalués au terme des présentations devant jury) n'a pas une composante "DAO" précise. Elle porte sur l'ensemble des acquis. De plus, les notes de projet sont attribuées de manière identique à chaque membre du groupe et non relativement à l'apport de chacun. Nous nous en tiendrons donc à effectuer quelques comparaisons, au niveau des deux tests individuels.

### 7.1 Caractéristiques des populations

Comme le laissent entrevoir les histogrammes ci-dessous, les résultats globaux des étudiants et les résultats des tests 2D et 3D pour les groupes 2000-2001 ( $KS_{336}=0.109$ ,  $p=0.000$ ;  $KS_{316}=0.067$ ,  $p=0.002$  et  $KS_{279}=0.066$ ;  $p=0.005$ ) et 2001-2002 ( $KS_{368}=0.133$ ,  $p=0.000$ ;  $KS_{340}=0.068$ ,  $p=0.001$  et  $KS_{304}=0.080$ ;  $p=0.000$ ) ne suivent pas une distribution normale, selon les tests de Kolmogorov-Smirnov. Nous

choisirons donc, dans la suite, d'éprouver nos hypothèses à l'aide de tests non paramétriques.

## 7.2 Comparaison globale des deux groupes 2000-2001 et 2001-2002

Avant d'effectuer quelques statistiques, relatives aux résultats obtenus par les étudiants aux tests 2D et 3D, nous avons comparé globalement leurs résultats finaux, donnés en % (Figure 20).

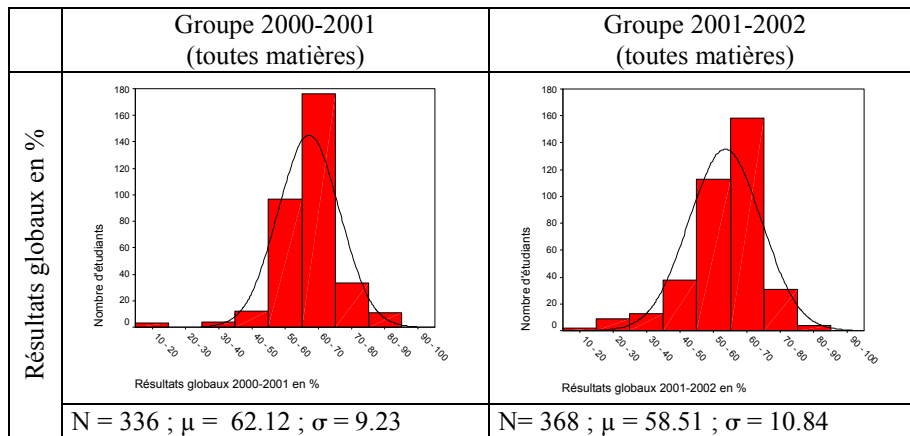


Figure 20 : Histogrammes des résultats globaux des deux groupes 2000-2001 et 2001-2002

Le test de comparaison des moyennes de Mann-Whitney ( $U=49560$ ,  $p=0.000$ ) nous indique une moyenne significativement supérieure pour les étudiants du groupe 2000-2001.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les étudiants du groupe 2000-2001 sont les premiers à vivre la réforme pédagogique facultaire. Nous pouvons raisonnablement penser que les enseignants ont été plus indulgents, la première année, quant aux exigences attendues. Pour assurer une comparaison plus indépendante, il aurait été intéressant d'effectuer les mêmes tests de moyenne sur les résultats des étudiants à l'examen d'admission aux études. En effet, dans ces résultats ne sont inclus, ni les effets de la réforme, ni les résultats du cours de DAO. Malheureusement, pour des raisons pratiques, il nous a été impossible d'obtenir ces informations pour l'année 2000.



Mais revenons plus précisément à l'observation du cours de DAO.

### 7.3 Impact du tutorat

Rappelons que pour le groupe 2000-2001, l'encadrement des étudiants était principalement basé sur du monitorat, alors que le groupe 2001-2002 a bénéficié d'un encadrement de type tutorat (voir page 182). La Figure 21 rassemble les statistiques descriptives des deux groupes pour ces deux tests.

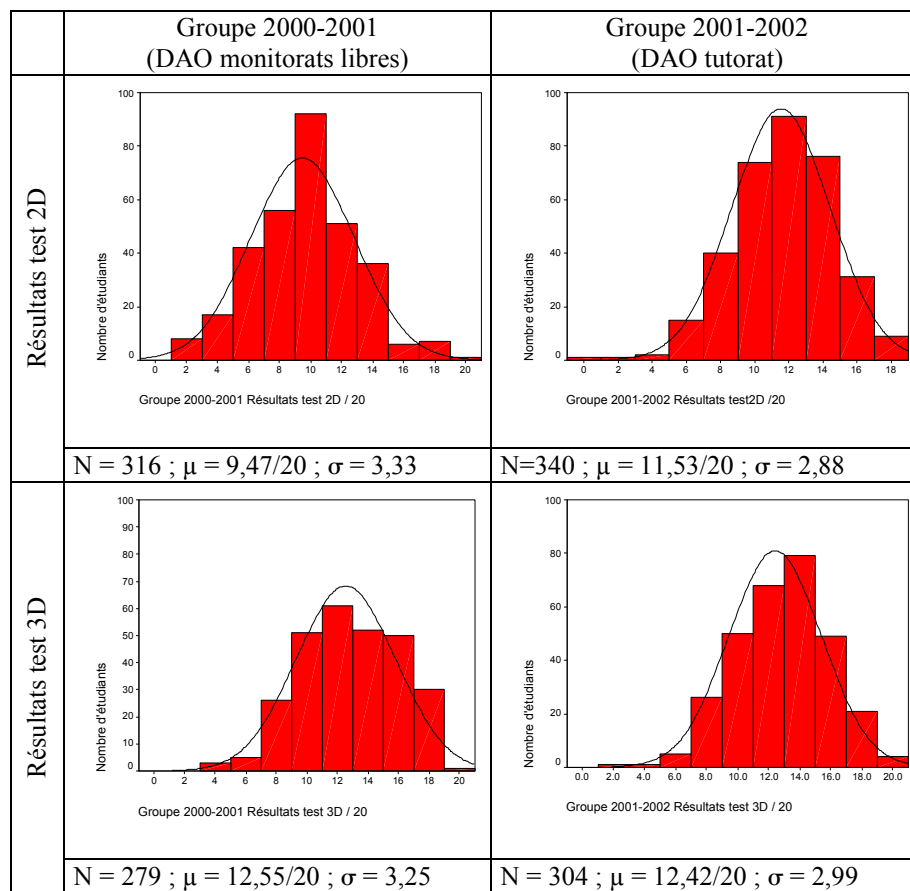


Figure 21 : Histogrammes des tests 2D et 3D pour les deux groupes

Une comparaison des résultats obtenus aux tests par les étudiants en 2000-2001 et ceux obtenus en 2001-2002 nous intéresse tout particulièrement. Cette étude peut nous donner une indication de l'impact du tutorat, par rapport à un monitorat facultatif, sur les performances des étudiants.

### 7.3.1 Effets observés sur le test 2D

D'après les histogrammes ci-dessus et les moyennes calculées, il semble que la moyenne des résultats du test 2D, pour les étudiants de 2001-2002 soit supérieure aux résultats du test 2D obtenus l'année 2000-2001. Qu'en est-il réellement ?

Selon la statistique de Mann-Whitney ( $U=33323$ ;  $p=0.000$ ), nous pouvons admettre que la moyenne obtenue par les étudiants du groupe 2001-2002 est effectivement supérieure à la moyenne des étudiants du groupe 2000-2001, pour le test 2D. Or, le cours était identique et les projets de difficulté semblable. Mais la manière d'encadrer les étudiants y était très différente. Nous formulons, à ce propos, quelques remarques :

- En 2000-2001, les heures passées en salle par l'enseignant, en vue d'aider les étudiants n'ont pas été mises à profit par ceux-ci. Très peu d'étudiants se sont déplacés pour venir poser leurs questions (aucun étudiant à certains monitorats jusqu'à maximum 4 ou 5, la semaine qui précédait le test). Peut-être pouvons-nous aussi nous interroger sur la difficulté à "savoir que l'on ne sait pas" et donc à venir poser des questions.
- En revanche, nous avons pu observer pléthore de questions (entre 5 et 10 questions par passage) dans le cas du tutorat mis en place en 2001-2002. L'enseignant interpelle davantage les étudiants qui se voient, d'une part, aidés dans leurs problèmes mais aussi, d'autre part, incités à travailler.
- Dans le cas du tutorat en groupes, les étudiants n'ont pas nécessairement préparé leur liste de questions à poser à l'enseignant, lors de son passage dans le local. Mais nous observons dans la majorité des cas que, s'ils déclarent, a priori, ne rencontrer aucun problème, ils les sous-estiment ou les ignorent. Car lorsque une question est posée par un premier étudiant, elle éveille chez les autres une réflexion rapide et surtout d'autres questions. Ces étudiants prennent alors conscience de ce qu'ils avaient mal ou pas du tout compris. Ils savent "ce qu'ils ne savent pas" et c'est probablement un premier pas positif pour en entamer l'apprentissage.

- Dans le cas d'un monitorat libre, plus passif, l'enseignant répond au cas par cas, à un seul étudiant venu le solliciter. Dans le cas du tutorat, au contraire, l'enseignant a la possibilité d'intervenir pour plusieurs étudiants en même temps, y compris pour ceux qui n'ont pas encore rencontré le problème soulevé. Un plus grand nombre d'étudiants peuvent donc bénéficier des interventions de l'enseignant.

### 7.3.2 Effets observés sur le test 3D

Si la différence est nette en 2D, elle semble moins perceptible en 3D, à l'observation des moyennes calculées. En effet, sur base du test de Mann-Whitney ( $U = 41767$ ;  $p = 0.376$ ), nous ne pouvons rejeter l'hypothèse  $H_0$ , selon laquelle les moyennes des résultats au test 3D des deux groupes sont égales. Nous n'observons donc pas de différence significative entre ces moyennes et nous ne pouvons, dans ce cas, conclure à une amélioration significative des résultats, en fonction d'un dispositif davantage tourné vers le tutorat. Ceci peut éventuellement s'expliquer par plusieurs points :

- L'apprentissage du 3D n'est plus, pour les étudiants, la première approche du DAO. Une première petite expérience s'est installée, tant au niveau des contenus que de la manière de trouver de l'aide en cas de problème. L'impact du tutorat serait alors diminué.
- Au niveau de l'animation, nous observons deux comportements "duals". Les étudiants sont amenés à imaginer un modèle idéal pour leur système multicorps. Pour valider leurs choix, il leur est conseillé d'utiliser l'outil *ANIMATION*, qui permet de visualiser assez rapidement la faisabilité de leur modèle, du point de vue de ses mouvements. Dans la note méthodologique, nous proposons donc aux étudiants de réaliser des corps élémentaires (un parallélépipède pour un châssis de quad, un cylindre pour le corps du pilote, etc.) afin d'accélérer la simulation. Mais très vite, et en général motivés par le sujet, les étudiants préfèrent représenter des corps réalistes et complexes, souvent d'ailleurs à la limite des possibilités du système. Ceci a deux effets : l'un étant de perdre un temps précieux en temps-calcul du logiciel pour générer une animation qui, somme toute, sera peut-être à recommencer, si le modèle n'est pas correct; l'autre, en revanche, étant de donner une bonne occasion aux étudiants de s'entraîner à dessiner, en trois dimensions, des corps dont ils ont directement besoin dans le cadre de leur projet, et leur assurer ainsi une certaine expérience qui pourrait expliquer les bons résultats obtenus au test 3D.

- Les projets multidisciplinaires proposés ont massivement fait appel au dessin 3D, pour dessiner les modèles imaginés, mais aussi pour en assurer la validité. Ceci aurait plusieurs conséquences. La motivation et le temps passé à cette discipline semblent supérieurs à ceux observés lors de l'approche 2D. Sans étude statistique rigoureuse, mais sur base de nos observations, il semble aussi que les étudiants aient tenté de résoudre leurs problèmes au sein de leur groupe de travail, puisque la majorité des questions soulevées étaient orientées vers leur modèle multicorps. Le groupe aurait alors joué son propre rôle de tuteur.
- Enfin, les questions restées sans réponse dans le groupe et posées au tuteur restent des questions majoritairement liées au projet du groupe, plutôt qu'aux exercices proposés. L'intérêt pour le tuteur de s'adresser aux autres étudiants présents, de manière collégiale, était donc plus restreint que lors de l'apprentissage du 2D. Ceci serait davantage lié au choix des projets plus ou moins fédérateurs d'apprentissage du DAO.

### 7.3.3 Corrélation entre les résultats des tests 2D et 3D pour les deux groupes

Le test de Spearman, effectué sur les résultats des groupes 2000-2001 et 2001-2002 (Spearman's  $\rho = 0.312$ ,  $N=279$ ,  $p=0.000$ ; Spearman's  $\rho = 0.399$ ,  $N=300$ ,  $p=0.000$ ), indique une corrélation significative entre les résultats des tests 2D et 3D. Ceci signifierait que les étudiants qui ont réussi (ou raté) le premier test sont aussi ceux qui réussissent (ou ratent) le second. N'est-ce pas un signe de la complémentarité des outils mis à disposition ? Ceci appuierait un de nos choix de travail, selon lequel le fil conducteur retenu (page 159) a toute son importance dans l'apprentissage. Quelle serait la corrélation si nous avions opté pour l'utilisation de différents logiciels selon les projets, forçant les étudiants à une adaptation spécifique, exigeante en ressource "temps" ?

### 7.4 Impact du projet sur les résultats globaux

Pour tenter d'analyser l'impact du projet sur les résultats des étudiants, nous n'avons aucun critère "officiel". En effet, la note de projet<sup>76</sup>, attribuée à chaque groupe d'étudiants par un jury composé de quatre enseignants de différentes disciplines, inclut une composante "DAO" qu'il est impossible d'extraire isolément, la note étant attribuée globalement pour la production du groupe. Nous ne pouvons donc

---

<sup>76</sup> La note "projet" évalue le produit fini du groupe d'étudiants et non le processus d'apprentissage par projet. Elle est une évaluation globale, incluant plusieurs disciplines : mathématique, physique, informatique, DAO.

effectuer aucune étude précise sur la corrélation entre l'apprentissage du DAO dans le cadre de ce projet et les résultats obtenus aux tests individuels. La seule observation que nous pouvons ajouter est une impression globale. En effet, de visu, nous avons constaté une grande motivation des étudiants pour la réalisation de leurs dessins en trois dimensions, lors du troisième projet (animation d'un système multicorps). Nous expliquons ceci par deux hypothèses (non statistiquement vérifiées). La première est relative au sujet traité. Les étudiants doivent imaginer un véhicule idéal et l'animer (quad, side-car, moto, ...). La plupart d'entre eux se sont documentés auprès de firmes, pour obtenir des caractéristiques réelles d'engins, afin de les représenter le plus fidèlement possible. Au vu de la qualité des dessins fournis, il semble que les étudiants aient beaucoup utilisé le dessin et, de cette manière, acquis une grande expérience en dessin 3D, grâce au projet. La deuxième raison pour laquelle le projet a été bénéfique, à notre avis, est la nécessité de dessiner leur système multicorps, pour valider leur modèle cinématique, à l'aide d'une animation. Dès le début du projet, le dessin a été une nécessité.

Ces deux raisons ne se sont pas retrouvées de manière aussi nette lors du projet de conception de circuit. Les deux années 2000-2001 et 2001-2002, nous avons pu observer statistiquement une nette supériorité des résultats du test 3D, par rapport aux résultats du test 2D.

Notons aussi que depuis les huit années d'observations des résultats des étudiants, ces deux années, basées sur l'apprentissage par projets, voient, pour la première fois, des moyennes aux tests 3D supérieures aux moyennes obtenues aux tests 2D. Ceci serait peut-être à mettre à l'actif de la motivation et du sens qu'apportent les projets dans l'apprentissage.

Enfin, malgré une moyenne globale des résultats<sup>77</sup> inférieure en 2001-2002 qu'en 2000-2001, nous n'observons, en DAO et pour le test 3D, aucune différence significative de moyennes. De nouveau, nous pouvons peut-être en conclure que le cadre du projet a été un facteur positif dans la réussite de ces tests.

## 8 Conclusion

L'objet de ce chapitre a été de présenter un dispositif pédagogique favorisant l'apprentissage "autonome" (monitorats libres) et "autonome tutoré" (tutorat) du DAO en première année de formation des ingénieurs.

---

<sup>77</sup> Toutes matières confondues.

Globalement, nous avons pu y mettre en évidence l'importance du rôle de tuteur tenu par l'enseignant, puisque les résultats semblent meilleurs lorsque le tutorat est mis en place. L'impact de l'utilisation du projet dans la formation est, lui aussi, un élément important, mis en valeur par l'expérience pédagogique menée ces deux années. Nous y observons une motivation supérieure et des résultats évoluant dans le même sens.

Enfin, nous avons aussi pu imaginer et tester un dispositif pédagogique, permettant une vue élargie du DAO, de ses possibilités simplistes de crayon électronique à la génération d'images de synthèse, et son intégration dans un processus de Conception Assistée par Ordinateur. Cette expérience nous incite à penser que cet apprentissage très large est possible pour des étudiants débutants, dans un laps de temps assez restreint, mais sous certaines conditions relatives :

- à l'autonomie des étudiants, dont il est de la responsabilité de s'investir dans cet apprentissage;
- à la motivation des étudiants à apprendre, aidés pour cela par les projets multidisciplinaires proposés comme cadre de travail;
- à la manière d'encadrer des enseignants, davantage tuteurs;
- aux outils conçus par les enseignants, favorisant l'apprentissage autonome et donnant un cadre de référence, un modèle;
- à des projets qui renvoient les étudiants à des situations professionnelles.

## Discussion

---

Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle *la maîtrise du DAO, et donc la capacité à communiquer par le dessin, sera d'autant meilleure que, lors de la formation, le dispositif pédagogique comprendra :*

- des phases d'auto-apprentissage, pour l'acquisition des nouveaux concepts de base;
- la possibilité, pour les étudiants, d'échanger en petits groupes;
- une intervention régulière et interactive de l'enseignant, pour aborder les aspects "méthode" et "analyse";
- un contexte d'apprentissage le plus proche possible de la réalité professionnelle.

Que penser de ces pistes au vu de nos expériences ? Nous diviserons notre discussion en quatre parties, relatives aux effets observés lors de l'utilisation de didacticiels, du travail en groupe et de l'intégration du DAO dans un apprentissage par projets. Dans la dernière partie, nous commenterons le rôle tenu par l'enseignant dans ces trois dispositifs.

### 1 Les outils d'aide à l'apprentissage autonome

Dans notre recherche, nous avons abordé le problème de l'auto-apprentissage de deux manières distinctes.

La première a consisté à mettre au point un didacticiel permettant d'aborder les notions de base du DAO en deux dimensions. Il a été intégré dès le démarrage d'un processus relativement classique d'enseignement, c'est-à-dire dans le cadre de la première séance d'exercices associée aux cours magistraux (expérience décrite au chapitre 4). Notre deuxième approche nous a conduits à créer et à utiliser plusieurs didacticiels couvrant l'ensemble de la matière du cours (2D et 3D). Ceux-ci ont été intégrés dans un dispositif pédagogique favorisant l'apprentissage par projets. De ces deux expériences, nous pouvons tirer quelques leçons.

### 1.1 L'utilisation de didacticiels

Nous avons pu démontrer la faisabilité, pour le cours de DAO, d'être abordé de manière *autonome*<sup>78</sup> et ainsi participer au développement de cette compétence d'autonomie chez les étudiants. Compétence qui, rappelons-le, est un des objectifs de la formation des futurs ingénieurs (page 27 et page 152). Ceci a, d'après nous, quelques conséquences importantes sur l'apprentissage.

L'acquisition d'un maximum d'autonomie est une nécessité chez l'étudiant, à la fois pour la conduite de ses futurs projets professionnels, seul ou au sein d'un groupe, mais aussi pour assumer sa *future formation continue*, vitale dans le contexte actuel. En effet, on évalue que les futurs diplômés sont confrontés actuellement, en un an, à plus d'informations que leurs grands-parents n'en recevaient durant leur existence. L'image est peut-être un peu forte, mais elle souligne toutefois l'importance croissante de pouvoir se prendre en charge et ne pas se contenter uniquement des connaissances acquises lors d'un cursus universitaire, aussi prestigieux soit-il. La période réservée aux formations instituées est limitée dans le temps. L'évolution des sciences et des techniques, la multiplicité des sources d'informations et des connaissances, obligent les individus à acquérir de nouvelles compétences et de nouveaux savoirs, tout au long de leur vie. Philippe Gauthier voit en l'autoformation, une des réponses possibles à cette nouvelle nécessité (Gauthier, 2001). L'utilisation de didacticiels, en formation initiale offre aux étudiants un cadre favorisant le développement de cette compétence, devenue un véritable enjeu social.

Si d'un côté l'enseignant souhaite développer davantage d'autonomie auprès de l'apprenant – et nous venons de voir que ce n'est pas dénué d'intérêt - d'un autre côté, l'apprenant souhaiterait davantage de *respect de son rythme d'apprentissage*. Or, dans l'ensemble, tous les étudiants n'ont pas le même bagage, qu'il s'agisse de leurs connaissances acquises antérieurement, par l'intermédiaire de l'école élémentaire, ou de leur environnement social et culturel. Leurs acquis hétérogènes sont une difficulté supplémentaire à gérer. L'introduction de didacticiels dans le processus d'apprentissage a permis aux étudiants, conformément à une revue de littérature de Grégoire, Bracewell et Laferrière, d'aborder l'apprentissage du dessin assisté par ordinateur "à leur propre rythme" (Grégoire & al., 1996). Qu'ils soient réputés forts ou faibles, tous les étudiants se voient accorder le droit de prendre le temps nécessaire (dans des limites raisonnables ...) à l'acquisition des concepts de base, indispensables pour aborder les notions plus complexes.

---

<sup>78</sup> Nous préciserons plus loin la forme d'autonomie considérée.



Cette autonomie des étudiants permet de *libérer du temps chez les enseignants*, qui peuvent ainsi se consacrer à d'autres problèmes. En effet, plutôt qu'être la seule ressource constamment interrogée par les étudiants, l'enseignant a pu consacrer davantage de temps aux questions méthodologiques posées par ce type d'apprentissage. Les étudiants, ayant trouvé dans le didacticiel un nouveau guide, ont pu, de manière plus autonome, gérer l'ensemble des difficultés de base inhérentes à une première approche de la discipline. Ceci confirme une étude de Laferrière pour qui l'utilisation d'outils issus des technologies de l'informatique permet de réduire la durée des exposés magistraux, et permet aux enseignants de se consacrer à d'autres tâches (Laferrière, 1997). Ceci répond aussi à une demande explicite des enseignants et des étudiants; nous avons rapporté ce propos au chapitre 1, page 36.

L'autonomie dans l'apprentissage *favorise aussi une individualisation de l'enseignement*. En effet, chaque étudiant gérant son processus d'apprentissage, utilise les ressources disponibles selon ses propres besoins. Nous avons pu observer la possibilité d'une intégration rapide d'étudiants issus d'autres programmes d'études ou d'étudiants étrangers, désirant entamer des cours de CAO (nécessitant, comme pré-requis, la maîtrise du DAO). Ceci confirme plusieurs études (Frey, 1988; Fleury, 1993; Cloutier, 1992) selon lesquelles l'utilisation d'outils d'auto-apprentissage favorise l'individualisation et la remise à niveau : Frey en parle comme d'une "pédagogie curative" (Frey, 1988).

Mais paradoxalement, en parlant d'individualisation, nous pouvons aussi souligner l'effet d'*imitation* généré par l'utilisation d'un didacticiel. Vu comme un premier exemple complet de représentation de dessin, il devient très vite l'Exemple à suivre, la référence pratique. Ainsi, nous avons pu observer de nombreux étudiants s'y référant lors du démarrage d'un nouveau dessin et en imiter la démarche. Ils ont poussé l'imitation jusqu'à reproduire quelques éléments identiques, tels que les noms et couleurs de couches, parfois même les limites, devenues inadéquates, puisque relatives à chaque dessin ! Nous n'avons pas comparé, systématiquement, un nouveau dessin réalisé par les étudiants à la suite de l'utilisation du didacticiel. Pourtant, il serait intéressant de comparer les cheminements adoptés, de manière à comprendre la portée de l'outil, son influence et ses limites.

D'un tout autre point de vue, notons que le niveau de *motivation* et d'*enthousiasme* des étudiants n'a pas été scientifiquement mesuré. Mais la surcharge d'occupation des salles informatiques et les commentaires positifs des étudiants permettent de penser que l'introduction des didacticiels dans l'enseignement du DAO a été une aide bien perçue, dans ce contexte de formation. Sans prétendre à une généralisation, nous confirmons, de visu, les études de plusieurs auteurs : Hargis parle d'un usage

plus stimulant pour l'apprentissage (Hargis, 2000) ; Dubreuil, Leblanc et Simoneau ont mesuré une augmentation du sentiment d'auto-efficacité, important pour la motivation (Dubreuil & al., 1995); Ball, Hannah, Cloutier et bien d'autres ont aussi souligné la plus grande motivation à apprendre, dans le cadre de l'enseignement assisté. D'autres auteurs encore parlent, tout simplement, du "plaisir d'apprendre" (Grégoire & al., 1996). Et pourquoi pas ? Cette dimension émotionnelle de l'apprentissage n'a pas été traitée ici, mais fait de plus en plus son apparition dans les nouvelles recherches en éducation (Bourgeois, Frenay, Bentein & Galand, 2003).

Enfin, notons que nous avons pu démontrer la possibilité, pour les étudiants, d'acquérir, seuls, l'ensemble des notions de base propres à la discipline (entités, opérations, outils de structuration, outils de précision, etc.). En revanche, la mise en œuvre des outils (pourquoi, quand et comment les utiliser) est plus délicate et l'auto-apprentissage seul n'a pu démontrer son efficacité, à ce niveau. Nous y reviendrons en parlant du rôle que doit tenir l'enseignant, face à ce problème.

Si nous avons pu souligner quelques intérêts à utiliser des didacticiels, pouvons-nous en conclure que n'importe quel outil d'auto-apprentissage aurait eu les mêmes effets ? Qu'en est-il de la qualité des outils proposés ?

## 1.2 La qualité des didacticiels

Pour être vraiment efficaces, les didacticiels doivent répondre à un certain nombre de *consignes de présentation*. Nous en avons fait large écho en page 113. Rappelons que, pour McKee, un didacticiel doit éviter le "surfing" exagéré, être facile à utiliser et d'un design simple (McKee, 1997). Pour Caro et Bétrancourt, la technique des fenêtres escamotables est à retenir pour favoriser la mémorisation, donner plusieurs niveaux de lecture et éviter au lecteur de perdre le fil conducteur (Caro & al., 1998). Pour Jay, un seul concept-clé doit figurer par page, au risque d'être ignoré (Jay, 1983). Pour Rouet, le texte se doit d'être lisible linéairement, pour assurer la continuité des idées (Rouet, 1997). D'après nous, il est aussi important de veiller à limiter les pages de consignes précédant le véritable sujet du didacticiel, prévoir un travail possible dès le premier niveau de lecture et fournir une possibilité rapide d'auto-évaluation (voire même à chaque page), etc. A l'état de prototype, les didacticiels n'ont pas (ou pas encore) fait l'objet d'une étude plus approfondie, quant à la portée de ces consignes de présentation. Néanmoins, nous pouvons encore proposer quelques pistes de réflexion quant à leur éventuelle amélioration.

Pour être complet, McKee préconise la présence d'une auto-évaluation, permettant de donner un feed-back et une mesure de son progrès à l'apprenant (McKee, 1997).

Le *niveau d'auto-vérification* fourni dans les didacticiels est très statique. Il consiste, en effet, en la donnée du dessin en cours d'avancement, à chaque nouvelle étape. Les lecteurs sont invités à lui comparer leur réalisation. Mais l'appréciation de celle-ci reste subjective, puisqu'elle dépend de l'utilisateur seul. Il serait toutefois possible de prévoir un niveau d'auto-évaluation plus dynamique, soit lors de la comparaison automatique de dessins, soit dans l'enregistrement, puis l'analyse interactive ou a posteriori des commandes effectuées par l'utilisateur. Celui-ci recevrait un compte rendu de ces erreurs ou, tout simplement, il lui serait impossible de continuer, tant que telle action n'ait été effectuée, la pose de balises soigneusement choisies l'en empêchant. Mais dans tous les cas, il importe de s'interroger, très concrètement, sur les dangers de la vérification exclusivement automatique. Comment s'assurer que tous les chemins possibles ont été pris en compte, avant de poser l'une ou l'autre balise ? Comment exploiter l'éventuelle liste de commandes effectuées par l'utilisateur ? Comment évaluer son parcours sur base de cette liste ? Comment s'assurer qu'il travaille spontanément sachant que toutes ses actions sont consignées ? Quelle rétroaction lui donner ? Toutes questions auxquelles il convient de trouver réponses avant de suivre, pas à pas, la démarche de l'utilisateur.

La présentation des *informations sous différentes formes* peut être un bel atout dans un didacticiel. Ainsi, selon Dubois, Vial et Bollon, l'ajout d'une image pertinente au texte peut apporter une aide intéressante, alors que des ajouts, qui se présentent comme des redondances, induisent une surcharge cognitive indésirable (Dubois & al., 1998). Pour Dubois et Tajariol, une présentation sous forme d'images et de texte sonore est plus efficace qu'une présentation exclusivement visuelle. Mais la redondance son et texte provoque une surcharge. L'ajout d'images dynamiques ne semble pas apporter d'amélioration significative (Dubois & Tajariol, 2001). Nos didacticiels sont exclusivement basés sur du texte et la présentation de quelques dessins. Toutefois, il serait intéressant d'étudier la portée qu'aurait un didacticiel de DAO, mêlant à la fois du texte, du dessin (statique ou dynamique, sous forme de vidéo) et un commentaire sonore. En effet, nous tenons peu compte des différents styles d'apprentissage qui coexistent et facilitent l'apprentissage des uns ou des autres, selon qu'ils sont plus auditifs, plus visuels, plus ou moins dépendants du champ, etc.

Des études de Gagné, Wagner et Rojas préconisent la donnée d'une *table des matières* et une organisation des contenus, permettant au lecteur de s'interrompre et de reprendre sa lecture, là où il le désire (Gagné, Wagner & Rojas, 1981). Nos didacticiels disposent de cette table des matières et des boutons de navigations permettant un parcours assez libre, quoique balisé pour rester cohérent. Ceci rejoint le souci du respect du rythme de travail et l'individualisation de l'apprentissage.

Cette structure du texte a aussi permis aux enseignants, principalement dans le cadre du tutorat, d'inciter les étudiants en difficulté à chercher réponses à leurs questions dans l'un ou l'autre des didacticiels, plutôt que recevoir des solutions immédiates. Ceci appuie une des conclusions de Grégoire, Bracewell et Laferrière, pour qui l'emploi de ces outils devrait stimuler la recherche d'informations et de solutions (Grégoire & al., 1996). Nous concluons en y voyant encore une occasion, pour l'étudiant, de développer son autonomie.

Mais notons une caractéristique de la présentation des didacticiels qui gagnerait peut-être à être modifiée. Les chapitres et paragraphes déjà parcourus par l'utilisateur ne sont marqués d'aucune manière, dans la table des matières (changement de couleur des hyperliens ou hyperliens précédés d'un symbole tel que ☑). Améliorer ce point permettrait un retour plus aisé à la table des matières, pour les utilisateurs qui parcourent le texte, linéairement, sans prêter attention au passage d'un paragraphe à un autre. Ceci diminuerait le *danger de désorientation* que signalent certains auteurs (Conklin, 1987; Foss, 1989).

Enfin, les didacticiels n'interagissent pas avec AutoCAD®. Outre la difficulté technique à gérer le dialogue entre les deux logiciels, ceci relève aussi d'un choix. Ce choix est de garantir un *maximum d'indépendance* des didacticiels face au logiciel de référence choisi et sur lequel ils sont basés pour aborder l'initiation du DAO. En effet, rappelons que les didacticiels doivent pouvoir être réécrits, en modifiant le moins d'éléments possibles, si un autre logiciel de référence est choisi comme support pratique. L'idéal est de pouvoir garder l'ensemble de la démarche et des concepts et ne devoir modifier que le déroulement des commandes et les quelques éléments spécifiques au nouveau logiciel.

Si l'introduction de didacticiels, dans le processus pédagogique a des effets sur l'apprentissage et le comportement des étudiants à un niveau individuel, qu'en est-il au niveau du travail en groupe ?

## 2 Le travail en groupe

Deux expériences nous ont permis d'observer les étudiants réalisant un même travail de groupes. La première a pu mettre en évidence le gain apporté par le travail en petits groupes de deux étudiants, sur l'apprentissage (chapitre 5). Et ceci rejoindrait plusieurs études effectuées sur le sujet (voir la méta-analyse de Johnson, Maruyama, Johnson, Nelson et Skon, 1981), s'il n'y avait pas une condition supplémentaire dont nous reparlons ci-dessous. La seconde, basée sur l'intégration du cours de DAO dans

un contexte de projets multidisciplinaires, nous a donné l'occasion de replonger notre enseignement dans une situation d'apprentissage en groupes, préconisée par le dispositif d'APProj (apprentissage par problèmes et par projets). Mais aucune étude systématique n'a pu être effectuée sur le seul apprentissage du DAO en groupes (de huit étudiants, cette fois), puisque cette manière de travailler était imposée pour la réalisation des projets, mais pas spécifiquement pour le cours de dessin (chapitre 6).

De notre première expérience du travail de groupes, nous n'avons pu démontrer une quelconque meilleure performance des étudiants en utilisant, pour seule modalité pédagogique, leur collaboration. En revanche, notre étude a pu démontrer un gain significatif, lorsque sont combinées deux modalités particulières : d'une part, les étudiants groupés par deux et, d'autre part, le rôle de tuteur tenu par l'enseignant (chapitre 5). Faut-il en déduire que le seul groupement d'étudiants ou le seul tutorat est insuffisant ? Nous reviendrons plus loin sur le problème du tuteur. Mais interrogeons-nous sur les causes éventuelles de ce résultat, du point de vue des groupes.

Rappelons qu'une seule séance d'exercices a été organisée sous ce dispositif. Etait-ce suffisant pour mesurer un effet, alors que, pour D. Johnson et R. Johnson, l'efficacité du travail de groupes réside, principalement, dans la possibilité qu'ont les étudiants à échanger leurs idées, débattre, s'écouter, s'entraider, ... (Johnson & Johnson, 1991). Nous n'avons pas laissé le temps aux étudiants, groupés aléatoirement et non par affinité, de se connaître et de créer entre eux une véritable *dynamique de groupe* (Monteil, 1996), voire même tout simplement d'apprendre à travailler entre eux ?

La *disposition physique des groupes*, c'est-à-dire le partage d'un seul ordinateur pour deux personnes, est peut-être une contrainte supplémentaire, non prise en compte dans notre plan d'expérience. La consigne de travail n'a imposé ni l'emploi de deux machines, ni le partage d'une seule. Les étudiants se sont organisés librement. Nous avons observé des groupes de deux étudiants utilisant un seul ordinateur et des groupes préférant l'emploi de deux (l'un pour relire le didacticiel et l'autre pour représenter le nouveau dessin). Nous n'avons effectué aucune étude systématique à ce sujet, mais il aurait été intéressant d'en voir les implications. En effet, divers commentaires spontanés ont pu être relevés auprès des étudiants : les uns trouvant un avantage à travailler à deux sur deux machines et d'autres estimant avoir perdu du temps à en partager une seule.

Une étude de Moust, Schmidt, De Volder, Beliën & De Grave (1996) semble affirmer que l'étudiant silencieux et moins actif d'un groupe n'obtient pas, nécessairement, de moins bons résultats que les autres. Une étude due à Webb

démontre l'égalité des performances pour l'étudiant qui manipule réellement le clavier et les autres étudiants du groupe (Webb, 1984). De notre expérience méthodologique, nous ne pouvons confirmer ou infirmer la conclusion de Webb, ni notre hypothèse, selon laquelle l'expérience pratique est nécessaire à l'acquisition des concepts du DAO (voir page 29). En effet, nous n'avons aucune mesure quant à la différence éventuelle de résultats entre les étudiants d'un même groupe. Quand deux étudiants partagent une même machine, celui qui manipule concrètement l'ordinateur est-il l'étudiant qui, parallèlement, prend toutes les initiatives méthodologiques et acquiert une bonne expérience ou est-il, au contraire, le simple exécutant, à qui l'on dicte la marche à suivre, sans en comprendre les fondements ? Il serait intéressant de considérer ce point de vue, lors d'une nouvelle expérience. Celle-ci pourrait mettre en évidence les modalités de manipulation concrète du logiciel (utiliser un ordinateur par groupe ou un par personne). Conformément à notre hypothèse, nous serions tentés d'affirmer, au contraire de Webb, qu'une différence doit se marquer, dans le cas du DAO. En effet, la seule acquisition d'un contenu théorique n'est pas suffisante, nous l'avons souligné en discutant des objectifs. La manipulation concrète de l'outil est nécessaire et est une tâche à ne pas négliger.

### 3 La nature de la tâche

Une des dimensions de l'approche pédagogique est, effectivement, la nature de la tâche. Ce choix de l'activité d'apprentissage pourrait-il influencer sur l'apprentissage des étudiants, selon le dispositif pédagogique mis en place ? Peu d'études en parlent. Pourtant, d'après Schmidt et Moust, la qualité des problèmes posés dans le cadre de l'APProj influence non seulement le fonctionnement du groupe, mais aussi le temps passé à l'activité et l'intérêt porté au sujet. Les problèmes auraient une influence directe sur tous les éléments de l'apprentissage (Schmidt & Moust, 2000). Voyons plus en détails ce que, de notre côté, nous pouvons conclure de nos expériences.

Nous avons discuté de l'impact de la collaboration entre deux étudiants et en avons déduit que cette seule modalité n'était pas suffisante à provoquer une augmentation des performances des étudiants. Interrogeons-nous sur la pertinence du choix de la tâche. Rappelons que celle-ci consistait, dans notre expérience méthodologique (chapitre 5), à représenter concrètement un dessin en deux dimensions, ainsi qu'une analyse critique des opérations à effectuer. Le travail proposé était-il réellement adapté à un apprentissage en groupe ? D'après des études de Cohen, Schmidt et Moust, une amélioration de l'apprentissage peut être significative, dans le cas de

tâches suffisamment complexes (analyse, résolution de problèmes mal structurés, etc.) nécessitant une réelle collaboration (Cohen, 1994; Schmidt & Moust, 2000).

Dans le cas de notre expérience, la tâche principale était probablement bien adaptée à une réflexion en groupe, puisqu'il s'agissait d'analyser un dessin, avant de le représenter. Mais il semble que l'échange au sein des groupes s'est davantage réduit à un partage de connaissances techniques, plutôt qu'à une véritable étude critique du dessin à produire, d'autant que le temps donné pour réaliser le dessin était relativement court (une séance de 1h30). Ceci expliquerait le gain apporté par l'enseignant tuteur qui a, de son côté, assumé l'approche analytique et méthodologique de la réalisation. Dès lors, si la tâche semble avoir son importance, quant aux performances d'un groupe de travail, nous ajoutons que le rôle joué par l'enseignant a été capital. Ceci expliquerait aussi les moins bons résultats des groupes ayant suivi un dispositif où l'enseignant ne fait que diffuser des informations, sans les préoccupations particulières d'un tuteur. Mais nous y reviendrons de manière plus précise, en parlant de l'impact du rôle de l'enseignant.

Dans notre dernière expérience, nous avons pu mettre en évidence, d'une autre manière, l'importance de la nature de la tâche dans le processus d'apprentissage, lors de l'intégration du DAO dans un contexte d'APProj. Dans ce nouveau dispositif, nous n'avons eu aucun contrôle sur le choix des tâches. Celles-ci nous ont été imposées et nous nous y sommes adaptés. Elles nous ont toutefois apporté de nouveaux enseignements.

Par la nature même de chaque projet, l'activité proposée dans le cadre du cours de DAO s'est intégrée dans un contexte ayant un sens, tâche non isolée et généralement plus complexe, car plus proche d'une réalité professionnelle (modélisation et validation de systèmes multicorps, simulation en images de synthèse, impression de plans à différentes échelles, dessins de circuits imprimés, etc.). Indissociables du contexte d'APProj, les tâches ont été davantage *contextualisées*<sup>79</sup>, contrairement aux tâches proposées précédemment, où celles-ci, sans être simplistes, relevaient toutefois de choix plus académiques. Nous avons pu mettre en évidence le large éventail des possibilités du DAO abordé par les étudiants. L'utilisation concrète du DAO, dans les projets multidisciplinaires, a provoqué une augmentation très nette des concepts à maîtriser. Nous avons aussi pu observer une plus grande motivation pour tout ce qui touche aux projets. Le cours n'est plus une étape isolée au sein des

79

Une tâche est contextualisée si elle respecte le contexte de mobilisation, engage les étudiants dans des situations complètes et complexes, permet le développement de compétences, aborde des contenus pluridisciplinaires, etc. (Frenay & Bédard, sous presse).

études. Son insertion dans un processus plus global de formation par projet a prouvé son caractère motivant à l'apprentissage pour les étudiants. Tant et si bien qu'il nous faut admettre que certains d'entre eux ont parfois voulu aller trop loin ! Mais peut-on le leur reprocher ?

Notons encore une observation confortant l'idée que le contexte d'apprentissage par projets a un *sens plus authentique et motive davantage* les étudiants (Frenay & Bédard, sous presse; Jay, 1983). Dans le cadre des deux années d'APProj, les évaluations des dessins 3D ont été supérieures aux évaluations de dessins 2D. Ceci a de quoi surprendre, quand on sait que le dessin 3D est plus complexe et demande davantage de compréhension de concepts difficiles, tels que la visualisation dans l'espace selon différents points de vue, les systèmes de coordonnées (absolues, relatives polaires), les manipulations de volumes (canoniques ou composés), etc. Cette situation ne s'était jamais rencontrée les années précédentes, où les évaluations 2D étaient toujours les meilleures. L'explication que nous donnons à ce fait, est l'utilisation plus importante du dessin 3D dans le projet, permettant probablement aux étudiants d'acquérir de meilleures compétences en ce domaine et un entraînement plus important.

Les avantages du dispositif d'APProj sont d'avoir pu aborder les concepts de base du DAO, à partir de quelques cas soigneusement choisis pour les difficultés qu'ils apportent et les apprentissages qu'ils peuvent générer. Ce dispositif permet aussi de donner l'occasion, aux étudiants, de *transférer leurs acquis* à des réalisations plus concrètes, directement utiles à l'aboutissement de leurs projets. Nous devrions donc pouvoir observer une qualité de transfert des connaissances, supérieure à celle acquise les années précédentes, comme le préconisent Frenay & Bédard (sous presse). Mais nous ne pouvons qu'admirer, de visu, les très belles réalisations des étudiants - ayant fait preuve de recherche et de beaucoup d'imagination, comme le prône Lemaître (Lemaître, 2000) - sans émettre de commentaires plus scientifiques sur la qualité du transfert. En effet, les évaluations de ces travaux ont été globales, incluant toutes les matières intervenues dans les projets et pas seulement la composante "DAO" qui, seule, nous aurait permis une comparaison statistique valable.

Néanmoins, nous pouvons raisonnablement penser que les principes acquis, par les étudiants, sont loin d'être limités à la maîtrise du seul logiciel de référence. En effet, nous avons pu observer les comportements d'étudiants en troisième année de formation (soit deux années plus tard), lors d'un cours de CAO utilisant le logiciel ArchiCAD®. Nous avons d'abord observé la rapidité des étudiants à revoir les didacticiels et l'utilisation d'AutoCAD®, puis à aborder le nouveau logiciel. La



disposition de celui-ci étant très semblable à celle d'AutoCAD®, l'approche en était certes facilitée. D'un point de vue méthodologique, nous avons pu constater une série de réflexes acquis précédemment au cours de DAO. Les étudiants analysent un nouveau plan à dessiner et cherchent immédiatement à reproduire un certain nombre d'étapes-clés. Certaines existent sous une même forme (structuration en couches, définition des unités de dessin, ...), d'autres sont différentes (nécessité de définir très tôt les épaisseurs de plumes, le choix des axes de murs, ...) ou même, n'existent pas (c'est le cas des limites du dessin, par exemple). Mais l'important n'est pas dans la manière de réaliser l'ensemble de ces commandes. Il s'agit ici de constater que l'impact des cours de DAO, tels que nous les avons imaginés, est réel. Les étudiants sont capables d'aborder un nouveau logiciel et rappelons que c'était un des objectifs de formation que nous avions fixés. Cependant, une étude plus systématique et approfondie de cette question serait nécessaire pour documenter ces transferts d'apprentissage et en comprendre les déterminants.

Enfin, rappelons que, dans le cadre de l'APProj, la variété des projets de l'année et la nécessité d'y greffer le DAO nous avaient poussés à choisir un *fil conducteur*. Nous avons fait le choix délibéré de n'utiliser qu'un seul logiciel de référence, de manière à garantir une progression logique dans l'introduction des concepts, une continuité dans l'apprentissage et un gain de temps pour les étudiants, de plus en plus familiers avec les outils. Nous avons pu démontrer l'intérêt de ce fil conducteur. Il a été un gain de temps et a permis d'éviter la dispersion de l'attention des étudiants. Les difficultés sont apparues de manière progressive et toutes les étapes du processus d'apprentissage ont prouvé leur nécessité (pas de validation de modèle sans dessin 3D, pas de dessin 3D sans dessin 2D, pas d'utilisation de machine-outil sans dessin combiné à un outil de CAO, etc.). Le choix de ce fil conducteur nous a aussi permis de garantir le large éventail des notions acquises progressivement. Rappelons qu'ils ont abordé le DAO depuis ses possibilités de simple crayon électronique (environnement FIRST / dessin 2D / aide en ligne en français écrite par l'enseignant), jusqu'à la génération d'un film en images de synthèse (environnement ANIMATION / dessin 3D / aide en ligne officielle d'AutoCAD® écrite en anglais).

Ce fil conducteur n'apparaît en rien réducteur, dans la mesure où il a permis aux étudiants d'étudier en profondeur et non éparpillés une série impressionnante de concepts fondamentaux communs aux logiciels de DAO. Rappelons que l'ensemble du travail aurait pu se réaliser à l'aide d'un autre logiciel de référence, à condition qu'il soit suffisamment ouvert pour en permettre l'écriture d'applications dédiées à l'utilisateur.

L'introduction du DAO dans l'APProj est un avantage, nous venons d'en discuter. Mais que cela n'occulte pas les nouvelles difficultés qui surgissent.

Si la contextualisation, dont nous venons de parler, est importante et même requise dans un processus d'APProj, nous y voyons toutefois un inconvénient. En effet, nous estimons être passés d'une culture d'enseignement (peut-être trop) théorique et académique à une culture du "just in time". C'est-à-dire que, dans le contexte APProj, l'enseignement est principalement basé sur l'ensemble des notions à acquérir pour la bonne conduite du projet, au moment où celui-ci les requiert. Cela part d'un constat évident. Mais il n'est pas possible de faire intervenir toutes les matières de manière aussi motivante et chargée de sens dans tous les projets. De plus, la part d'abstraction, nécessaire à un apprentissage non contextualisé, peut aussi être un atout à ne pas négliger, pour le futur professionnel.

Qu'en est-il alors de ces cours de géométrie descriptive, qui permettaient aux étudiants de manipuler la représentation d'objets de l'espace sur support plan ? Qu'est devenu l'enseignement des standards graphiques (tels que PHIGS), qui permettaient de comprendre les fondements du dessin assisté et donnaient l'occasion de comprendre, par exemple, les techniques de visualisation ? Le débat reste ouvert entre les deux extrêmes possibles : faut-il enseigner le DAO pour son côté uniquement fonctionnel (manipulation d'outils) ou l'enseigner pour en comprendre les fondements, en établir la critique et éventuellement en imaginer les nouveaux développements ? Dans le cas qui nous préoccupe, rappelons que nous sommes chargés de la formation de futurs ingénieurs civils et que le rôle de ceux-ci, dans l'exercice de leur profession, ne se cantonnera pas à la manipulation, sans réflexion, d'un outil, aussi élaboré soit-il. Nous optons donc pour la deuxième alternative.

Enfin, nous avons pu observer "l'impatience" des étudiants à se lancer dans la représentation des dessins associés à leur projet, négligeant de ce fait la phase d'initiation proposée par les didacticiens. Le cadre de l'APProj ne pousse-t-il pas à cette contextualisation extrême, alors que l'acquisition de concepts de base pourrait encore se faire, sans conflit apparent, de manière plus traditionnelle ?

Finalement, comparant globalement les résultats des étudiants des deux années 2000-2001, 2001-2002 (réforme basée sur l'APProj) à ceux obtenus les années précédentes (avant réforme), nous observons des résultats significativement meilleurs hors du cadre APProj, c'est-à-dire durant les années précédant la réforme. Ceci va à l'encontre de certaines études effectuées sur l'impact de l'apprentissage par projets, selon lesquelles les résultats y seraient supérieurs. Dans une revue de littérature réalisée en 1993, Berkson compare 20 expériences menées sur l'efficacité

de l'APProj. Il relève 10 études affirmant que les étudiants obtiennent des résultats comparables à ceux des étudiants formés par des méthodes traditionnelles, 7 études affirmant une supériorité des résultats pour les étudiants en situation d'APProj et 3 seulement aboutissant à des résultats inférieurs (Berkson cité par Pochet, 1995). Ceci nous interpelle et nous émettons, à ce sujet, quelques commentaires.

Dans le cadre de l'APProj, nous avons beaucoup misé sur l'effet porteur des projets. Nous venons de voir que ce n'est pas dénué d'intérêt au niveau de la motivation, du transfert de connaissances et peut-être (sans mesure officielle) sur la durabilité des acquis. Mais le seul projet suffit-il ? Précédemment, nous avons observé que le choix de la tâche, aussi judicieux soit-il, semble ne pas suffire à mesurer une augmentation des performances des étudiants. Alors pourquoi, dans le cas de l'APProj, la tâche "projet" suffirait-elle ? Nous avons aussi observé que le seul travail de groupes ne pouvait non plus suffire. Ce travail de groupes est une des modalités "imposées" par l'APProj mais, contrairement à notre expérience précédente, les étudiants n'ont pas été obligés de se grouper pour le cours de DAO, cette collaboration étant surtout prévue pour la réalisation du projet. Les étudiants ont-ils travaillé seuls ? Ont-ils collaboré en cas de difficulté ? Nous le pensons mais ne pouvons l'affirmer. De plus, les modalités d'évaluation réalisées, si elles sont pratiquement identiques, impliquent un travail strictement individuel. Or, il se pourrait également que certains étudiants se soient, dans le projet, répartis les rôles et aient davantage focalisé sur l'apprentissage du DAO, alors que d'autres ont investi d'autres facettes du projet. Ainsi, le simple fait de mettre les étudiants en groupes de projets ne suffit pas. Encore, faut-il prévoir des activités et une gestion de ce groupe qui nécessitent la participation active de chacun, c'est ce que des méthodes comme celles de l'apprentissage coopératif proposent. Ce serait donc une piste supplémentaire à creuser. Enfin, si, ni le choix de la tâche, ni le travail de groupes ne suffisent, un autre facteur peut encore expliquer cette différence significative des résultats. Nous en avons déjà abordé brièvement la problématique, voyons finalement le rôle que tient l'enseignant dans le processus.

#### 4 Le rôle de l'enseignant

Nous avons souligné qu'une des conséquences de l'introduction des didacticiels dans le cours de DAO a été de libérer du temps pour l'enseignant. Nous avons vu l'intérêt que cela avait pour les étudiants. Mais qu'en est-il pour l'enseignant ?

Si d'une part, il peut consacrer du temps aux étudiants, pour aborder des problèmes cruciaux, tels que la méthodologie de représentation d'un dessin ou l'analyse de

celui-ci avant de le démarrer, notons que l'enseignant a beaucoup d'autres activités à gérer. Son rôle a changé (Annoot, 1994). Il est, non seulement enseignant, mais il a pour mission de faciliter l'apprentissage (Tardif, 1996), de *créer les bonnes conditions*, l'environnement et les ressources nécessaires (Gauthier, 2001). Dans le cas qui nous concerne, le temps libéré par une diminution des cours encadrés (cours magistraux et séances classiques de travaux pratiques) a été largement utilisé à créer les didacticiels et environnements de travail. Ceci nous a permis, à un niveau personnel, de développer de nouvelles compétences et acquérir de nouvelles connaissances; nous en faisons écho en exposant les qualités attendues d'un concepteur d'outils hypermédias (chapitre 3). Et de ce point de vue, nous sommes certainement un exemple d'enseignant devenu *apprenant*, conformément à ce qu'en pense Tardif (Tardif, 1996).

Monique Linard souligne également ce "caractère irremplaçable du formateur, en tant que concepteur de démarches, d'outils, de ressources, mais aussi, dans le soutien de la *motivation*" (Linard, 1990). Et de nouveau, nous retrouvons cette dimension émotionnelle, inattendue dans ce type de travail, et qui est une des responsabilités de l'enseignant, dont il n'a peut-être pas toujours conscience.

Mais revenons à nos expériences, au cours desquelles nous avons pu mettre en évidence deux attitudes intéressantes de l'enseignant, face à l'apprentissage du DAO : l'une est relative à sa manière d'intervenir auprès des étudiants, l'autre est directement liée à sa présence active.

Dans l'expérience mettant en jeu quatre dispositifs pédagogiques, variant par la manière de travailler des étudiants et le rôle tenu par l'enseignant, nous avons pu vérifier l'importance du type d'intervention de l'enseignant. En effet, les étudiants ayant suivi un dispositif durant lequel l'enseignant, plutôt que de répondre spontanément à leurs questions, les amène à synthétiser, de manière interactive, une démarche type de représentation de dessin, font preuve de meilleures performances, quant à la réalisation de leurs dessins. L'enseignant est considéré ici comme un *facilitateur de l'apprentissage*; il aide à construire une démarche et des connaissances, plutôt que de les diffuser de manière encyclopédique. Il discute, anime le débat, propose des questions de réflexion. Il assure ce que certains courants de recherche nomment un "compagnonnage cognitif" (Frenay & Bédard, sous presse).

Parallèlement, l'enseignant va aussi au-devant de certaines questions, en les provoquant. En effet, un des dangers de l'approche par auto-apprentissage pourrait être que l'enseignant ne repère pas à temps les étudiants qui adoptent une mauvaise

méthode de travail ou qui ont mal compris une nouvelle notion. C'est pourquoi, il est important qu'à certains moments-clés de l'apprentissage, il encadre les étudiants. L'enseignant se charge alors de rencontrer les étudiants. Il les interpelle, en leur posant des questions sur la compréhension des concepts, relance à la fois le débat et la motivation. Il veille à ce que les étudiants ne soient pas en attente et maintiennent un rythme de travail. Dans ce cas, il joue davantage un rôle de *guide*, de *tuteur*, ce qui confirme plusieurs études dont celles de Tardif, Fleury, ...etc. (Tardif, 1996; Fleury, 1993).

Enfin, si la présence de l'enseignant est indispensable, du moins au démarrage du processus d'apprentissage, elle doit progressivement faire place à une prise en main autonome de la part de l'étudiant. Le retrait progressif de l'enseignant est un phénomène que l'enseignant lui-même doit prévoir et organiser (Frenay & Bédard, sous presse). Nous avons pu démontrer la faisabilité de ce retrait en prévoyant, en conséquence, l'ensemble des ressources à disposition des étudiants (didacticiels et aides en ligne propres aux environnements, tutorats réguliers et ciblés sur la méthodologie, puis mode d'emploi d'un outil et aide en ligne officielle du logiciel, tutorats davantage ciblés sur la production des groupes que sur l'apprentissage du DAO).

Annoot rapporte que plusieurs catégories d'enseignants coexistent (Annoot, 1994). Si nous ne citons que les deux extrêmes, nous voyons qu'il y a les convaincus par le système - les "moteurs du changement" - et les réfractaires, craignant d'être remplacés par une machine. Nous pouvons rassurer les détracteurs de l'introduction d'outils d'auto-apprentissage dans l'enseignement. En effet, notre dernière expérience nous a permis de mettre en évidence l'importance du tutorat dans la relation pédagogique. Nous avons pu constater une augmentation significative des résultats des étudiants lorsqu'un tuteur les encadre. Lors des monitorats libres, les résultats sont, sans conteste, nettement inférieurs. Et pour cause, l'enseignant attend les questions des étudiants, qui attendent tacitement l'aide de l'enseignant !

Et cette boucle n'est pas une surprise, quand on tient compte des nombreuses études relatives à l'auto-apprentissage qui, la plupart, s'accordent à souligner que sans encadrement, sans tuteur, rien ne se passe. L'auto-apprentissage doit être guidé (Linard, 1990). C'est peut-être là son paradoxe ! Un minimum d'encadrement est nécessaire aux étudiants. Les quatre cours de restructuration et d'exposé des concepts globaux, dispensés dans le cadre de l'APProj, ne suffisent pas à garantir la réussite des étudiants. Un encadrement régulier et de synthèse est indispensable. Ceci confirme un résultat de D. Johnson et R. Johnson, pour qui il est nécessaire de mettre en place régulièrement une synthèse en groupe-classe complet (Johnson,

Johnson, 1991). L'autonomie totale n'est pas envisageable ici. Peut-être est-ce dû au type d'étudiants, leur manque de recul ou d'expérience, leur habitude à être très (voire trop) guidés durant leurs études secondaires, ... ? Et si, précédemment, nous avons parlé d'autonomie des étudiants, précisons que nous optons, plus précisément, pour une *autonomie tutorée*.

Pour mettre encore en évidence l'importance de la place de l'enseignant dans le processus d'apprentissage, citons le résultat inattendu de l'expérience méthodologique décrite au chapitre 5. Nous avons pu démontrer qu'une intervention particulière de l'enseignant a significativement apporté de l'aide aux étudiants. Parallèlement, nous n'avons pu démontrer une amélioration significative des résultats des étudiants travaillant en petits groupes, par rapport aux étudiants travaillant seuls. *En revanche, l'intervention de l'enseignant, combinée au travail de groupe, est UNE modalité significativement supérieure aux autres*. Cet effet croisé est d'autant plus une surprise qu'il intervient après une seule séance de travaux pratiques d'une durée relativement courte (1h30), durant laquelle l'enseignant intervient à propos de la méthodologie de travail.

Nous pouvons donc en conclure que les concepts élémentaires du DAO ont pu être abordés de manière autonome par les étudiants. Mais l'atteinte d'objectifs visant plutôt la méthodologie et les savoir-être nécessite une intervention bien ciblée de l'enseignant, qui est d'autant plus efficace que les étudiants sont par deux pour la recevoir et la discuter.

## Conclusion

---

Conscients de l'importance du Dessin Assisté dans la formation des ingénieurs, et des difficultés rencontrées par les débutants lors de son apprentissage (chapitre 1), nous avons posé une série de questions et émis quelques propositions, quant au dispositif pédagogique à adopter pour un tel enseignement.

Après avoir établi clairement les objectifs d'un cours de DAO (chapitre 1), après avoir passé en revue un ensemble de théories pédagogiques (chapitre 2) et quelques caractéristiques des outils d'aide à l'apprentissage actif et autonome (chapitre 3), nous avons testé plusieurs dispositifs. Le premier a consisté en l'introduction d'un didacticiel, permettant d'aborder les notions de base du dessin en deux dimensions, dès le démarrage du processus d'apprentissage (chapitre 4). La seconde expérience nous a permis de mettre en jeu, à la fois, le rôle de l'enseignant pour aborder des notions méthodologiques, et le travail par petits groupes de deux étudiants, lors de la phase initiale d'analyse d'un nouveau dessin à réaliser (chapitre 5). Enfin, la troisième expérience nous a conduits à intégrer le cours de DAO dans un contexte d'apprentissage par projets, permettant une introduction plus large d'outils d'auto-apprentissage et le tutorat de l'enseignant (chapitre 6).

Comme l'écrit Duggan, "[Engineering education needs to be seen] not as an end in itself, but as an integral part of much larger and wider system, and continuous in nature" (Duggan, 1995). Ne nous arrêtons donc pas aux conclusions mesurées ou observées que nous avons détaillées dans les chapitres précédents. Mais voyons ce que nous pourrions proposer pour l'avenir et dans une optique plus large que la seule période réservée à la formation initiale.

De ces théories pédagogiques et de nos expériences, pouvons-nous formuler "la" bonne méthode à adopter pour l'enseignement du DAO, garantissant à la fois l'intégration des connaissances transférables (contenus et méthodologie) et le développement de compétences nécessaires dans la vie professionnelle ?

"[...] Je crois que cette conception de "la" bonne méthode est, tout à la fois, dangereuse et impossible à mettre en place. Je crois plutôt à ce que Michel de Certeau nomme "l'occasion" : nous vivons des situations dans lesquelles

apparaissent des difficultés; nous faisons appel alors, tout à la fois, à notre mémoire et à notre jugement et nous tentons quelque chose en conscience de l'approximation dans laquelle nous sommes, mais bien décidés à répercuter cette approximation de la décision en examen avec celle des résultats obtenus" (Meirieu, 1996).

Nous avons donc émis et argumenté, sur base théorique et expérimentale, l'hypothèse d'une méthode de travail favorisant l'apprentissage du DAO. Celle-ci, présentée sous forme de proposition de nouveau dispositif pédagogique, permet de confirmer ou infirmer nos hypothèses de départ. La réforme, dite "de Bologne", à laquelle les institutions d'enseignement supérieur se préparent actuellement, devrait nous permettre de réorienter notre enseignement et de pouvoir tenir compte de ces propositions.

D'un point de vue global, nous proposons de recentrer le cours, entre la "décontextualisation classique" des premières années et la "contextualisation forte" d'aujourd'hui.

Pour être concret, nous proposerions de repartir d'un environnement tel que l'APProj, pour tous ses côtés positifs, qui vont du *sens à apprendre*, à la *motivation* à le faire, dans un contexte multidisciplinaire. Cet environnement de travail a, en effet, pu apporter la contextualisation qui manquait dans les dispositifs plus traditionnels. Et ceci confirme une de nos hypothèses, selon laquelle il est important de prévoir un contexte proche de la réalité professionnelle, donnant un sens aux apprentissages. Nous y voyons aussi l'intérêt majeur de ne pas considérer le DAO pour lui-même, mais bien pour tous les compléments qu'il peut apporter à d'autres disciplines.

Mais si l'APProj est un contexte très prometteur, en termes d'apprentissage qui a un sens, il nous semble occulter un autre phénomène. Nous avons souligné *l'absence de références théoriques* auprès des étudiants, qui sont capables de manipuler la plupart des concepts, sans en connaître les fondements. Nous pensons, par exemple, aux différents cours de géométrie et à l'infographie. Ceci nous est apparu un peu faible dans le cadre d'une formation scientifique, réputée solide, qu'est celle d'un futur ingénieur. A l'époque du "just in time", il ne semble peut-être pas opportun de charger les étudiants d'acquis "superflus". Mais est-ce réellement superflu que de comprendre le bien-fondé des choses ?

Nous sommes donc tentés de réintégrer, dans l'ensemble de la formation, des cours orientés vers les théories sous-jacentes au DAO. Quelques éléments de géométrie descriptive, par exemple, permettraient probablement de développer l'habileté à voir dans l'espace et à maîtriser les concepts de projection et perspective mais aussi de



résoudre pratiquement certains problèmes spatiaux présentés sur plan. Quelques cours de géométrie analytique donneraient une occasion de comprendre et manipuler les opérations mathématiques, à la base de toutes les opérations géométriques des logiciels de DAO. Leur connaissance facilite le choix d'opérations adéquates et leur réalisation concrète. Enfin, l'introduction de quelques concepts d'infographie permettrait, aux étudiants, de comprendre certains fondements des logiciels de DAO et d'en mieux apprécier l'interface conviviale qu'ils offrent aujourd'hui.

Nous avons également pu apprécier le *vaste éventail des notions abordées* par les étudiants, en un temps relativement court. Pour atteindre cela, nous avons mis en évidence l'importance du *fil conducteur* qui a permis une suite logique et progressive de l'apprentissage, sans perte de temps. Nous proposerions donc de continuer une approche complète du DAO, sur base d'un seul logiciel de référence, en supposant qu'il soit suffisamment ouvert pour permettre le développement d'outils adéquats.

Nous avons pu mettre en évidence la possibilité d'aborder aussi l'apprentissage, de manière plus *autonome*, puisque l'ensemble des concepts et de la pratique ont été acquis en auto-apprentissage, via l'utilisation de plusieurs didacticiels. Et l'on sait combien cette autonomie a d'importance, dans le curriculum professionnel de l'ingénieur qui devra continuer à se former régulièrement.

Nous proposons donc de continuer dans cette voie, et de soutenir l'apprentissage par l'emploi de didacticiels. Ceux-ci permettent d'aborder les notions de base de la discipline, de participer au développement de l'autonomie, de respecter le rythme de chacun et d'assurer une meilleure gestion du temps de l'enseignant. A l'observation d'étudiants issus d'autres programmes d'études, nous avons aussi pu mettre en évidence la possibilité d'utiliser les outils d'auto-apprentissage pour une *remise à niveau*, ces étudiants ayant rejoint leurs "collègues", sans retard significatif et avec un minimum d'investissement supplémentaire. Tout ceci confirme une hypothèse que nous avons formulée et selon laquelle il était, non seulement, possible, mais aussi bénéfique d'aborder les concepts de base, de manière plus autonome et à son propre rythme.

Mais grâce à nos expériences, nous avons aussi pu observer la faiblesse de certains dispositifs. Ainsi, nous avons pu confirmer que l'*autonomie totale* ne nous est pas apparue possible. Nous avons souligné ce fait comme paradoxal : l'autonomie doit être guidée, elle n'est pas innée et doit s'exercer. Mais est-ce vraiment une contradiction que de se former à l'autonomie, grâce à l'apport des autres ? Enseignants et autres étudiants n'ont-ils pas leur importance dans tous les processus d'apprentissage ? Pour Vygotsky, l'interaction sociale est non seulement un facteur

facilitant le développement de l'individu et ses apprentissages, mais elle est aussi une obligation dans le processus : on ne pourrait faire seul que ce que l'on aurait d'abord fait à plusieurs.

Une de nos hypothèses allait dans le sens d'un travail de groupes favorisant l'apprentissage. De ce point de vue, nous sommes obligés de nuancer nos propos. En effet, le seul fait de grouper les étudiants par deux, pour aborder les problèmes méthodologiques de la représentation de dessins, n'a pas été suffisant pour induire de meilleures performances. Néanmoins, nous avons pu mettre en évidence les avantages croisés d'un *apprentissage en groupes et d'un enseignant à la fois tuteur et "metteur en scène" des conditions d'apprentissage*. Le rôle du groupe n'est pas du tout négligeable, mais celui de l'enseignant y est nécessaire. Et nous rejoignons l'impact de l'asymétrie de l'interaction sociale, décrit par Vygotsky.

Concernant d'éventuels effets de groupes dans le processus d'APProj, nous ne pouvons, actuellement, tirer aucune conclusion, n'ayant pas proposé de dispositifs pédagogiques s'y rapportant. De ce point de vue, il serait intéressant de mettre en place une étude plus approfondie de l'impact du groupe (composé de six à huit étudiants) sur les performances en DAO. En cas de difficultés, les étudiants s'interrogent-ils mutuellement au sein d'un même groupe ? Peut-on observer une corrélation entre "réussir individuellement en DAO" et "tous les membres du groupe réussissent" ? C'est-à-dire, peut-on mesurer un quelconque effet favorable du groupe ?

En revanche, que les étudiants soient ou non groupés, nous avons souligné l'importance du rôle de l'enseignant, dans la phase de démarrage du processus d'apprentissage, lorsqu'il leur permet de déterminer un schéma méthodologique de représentation. Nous avons aussi pu confirmer le caractère non directif mais régulier du rôle de l'enseignant qui, durant la phase de travail individuel des étudiants, intervient en tant que *tuteur*. Conformément à ce rôle de guide, l'enseignant veille à ne pas fournir de réponses immédiates aux étudiants. Il a, pour mission, de les amener progressivement à construire des solutions, sur base de leurs erreurs et leurs acquis, ou de les orienter vers d'autres ressources, telles que aide en ligne, didacticiels, etc., dans un but avoué de future autonomie. Et nous soulignons, ici, la nécessité du retrait progressif de l'enseignant, favorisant davantage la prise d'initiative des étudiants, au fur et à mesure que se forge leur expérience (Frenay & Bédard, sous presse).

Selon la tâche (suffisamment complexe pour provoquer une confrontation des idées) et la bonne diffusion des consignes de travail, le groupe a été une aide à ne pas sous-

estimer. Mais, paradoxalement, en plus des bienfaits de la collaboration, nous avons pu observer un réel *besoin d'individualisation* de la part des étudiants. Sa prise en compte a été possible par les interventions du tuteur plus disponible, à l'écoute des étudiants et de leurs questions personnelles. Et de nouveau, nous soulignons l'importance du comportement de l'enseignant, ce qui confirme notre troisième hypothèse de travail.

Si les anciens cours magistraux ne sont plus d'actualité, dans un contexte de pédagogie plus active, force est de constater que les supprimer n'est pas une solution satisfaisante non plus. Quatre cours ont permis d'aborder succinctement les concepts généraux du DAO, mais un seul cours a pu être exploité pour la restructuration des connaissances des étudiants. Nous le déplorons, car ces cours de restructuration sont nécessaires pour fixer des acquis, mieux comprendre des erreurs ou se réorienter en cas de problème. Monique Linard soulignait déjà ce besoin, dans un article écrit en 2000 : "Il s'ensuit que deux moments particulièrement fragiles dans le parcours d'apprentissage sont à soutenir en priorité dans les conceptions de formation : d'abord le démarrage de l'activité naturelle pour lequel il faut rendre toutes les conditions, les ressources et les outils nécessaires immédiatement disponibles, explicites et faciles d'accès, *et ensuite la reprise des résultats de cette activité par un travail d'explicitation et passage au concept*" (Linard, 2000).

Nous proposons donc que des moments de *restructuration* soient prévus dans le parcours des étudiants. Ceux-ci pourraient être intégrés dans les cours magistraux de manière assez dirigée. L'enseignant pourrait opérer une remise à niveau collective, sur base des questions préalablement posées par les étudiants. Il pourrait aussi organiser quelques séances courtes, en groupes restreints (20 à 30 personnes, par exemple), durant lesquelles, outre les concepts de base du DAO et quelques notions plus théoriques, il proposerait des moments forts de discussion, de restructuration, des moments où il peut très vite remarquer l'étudiant faible ou celui qui prend une mauvaise direction. Quel que soit le choix des modalités pratiques, il serait intéressant de mesurer l'impact que pourrait avoir cette restructuration, sur les performances des étudiants.

Enfin, il reste un point sensible, un des "chevaux de bataille" de l'apprentissage par projets, que nous n'avons, effectivement, mis à l'épreuve d'aucune expérience. Que pouvons-nous dire à propos de la *durabilité des acquis* ? Si nous avons pu observer, de visu, un début de transfert de connaissances dans le cadre du cours de CAO, dispensé en troisième année de formation, qu'en sera-t-il plus tard ? Que maîtriseront encore les étudiants devenus professionnels ?

Le transfert est-il dépendant de la qualité des interactions entre les différents membres d'un groupe d'apprentissage (impact dû au groupe) ou sera-t-il supérieur lors d'un travail individuel, demandant peut-être davantage d'implication personnelle ? Pour Tardif et Meirieu, les tâches les plus susceptibles d'être transférées sont celles qui ont un sens, qui sont authentiques et suffisamment complexes, faisant appel à des connaissances de différentes catégories (Tardif & Meirieu, 1996). Qu'en est-il donc du transfert dans le cadre de l'APProj (impact dû à la nature de la tâche) ? L'apprentissage de base, effectué à l'aide de didacticiels, a-t-il aussi un impact significatif sur le transfert ? Le choix d'un fil conducteur, tel que nous l'avons proposé, favorise-t-il le transfert ou au contraire est-il un frein ? Le transfert est-il dépendant des aides disponibles dans les nouveaux logiciels ou est-il facilité par quelques heures de formation continue, basée sur les nouveaux logiciels à maîtriser (effets dus au dispositif ou aux outils) ? Enfin, tout simplement, le transfert est-il fonction des résultats obtenus par les étudiants durant leur formation initiale ?

D'après Frenay et Bédard (sous presse), il n'est pas possible de dissocier l'étude du transfert, des différents composants d'un dispositif pédagogique. Il ne serait donc pas possible d'imputer à la seule modalité du travail de groupes, du rôle de l'enseignant ou du choix de la tâche, ... la réussite du transfert. Quant à la mesure de la qualité du transfert, c'est une nouvelle recherche que nous proposerions à la suite de ce travail. *Sur base du dispositif pédagogique proposé, les étudiants seraient-ils capables de transférer l'ensemble de leurs acquis (connaissances et compétences) à une nouvelle tâche à réaliser à l'aide de nouveaux logiciels ?*

Nous concluons en proposant une réflexion sur l'exploitation de l'ensemble de nos outils et de nos observations, dans un processus d'apprentissage à distance, hors d'un milieu institutionnalisé. En effet, à une époque où la formation continue est un réel besoin, ne peut-on envisager de proposer une formation au DAO, à toute personne concernée par la conception technique et qui n'aurait pas eu l'opportunité de l'aborder durant ses études ? Quel serait le dispositif adéquat ?

Techniquement, la mise en réseau des outils est réalisable. De nouveaux logiciels d'aide existent dans ce but. Le problème se situerait davantage au niveau de l'encadrement des "étudiants" et aux moyens de restructuration que nous pourrions leur offrir. Car, du moins sur ces points, nous sommes formels : nous ne pouvons supprimer l'apport humain de l'enseignant, ni la nécessité de consacrer des moments de remise à niveau. Evidemment, certaines questions doivent trouver de nouvelles réponses, quant au rythme à tenir, à la profondeur de connaissances à atteindre, au rôle des projets, à la création d'un groupe d'utilisateurs, etc.

Quand et où un tuteur devrait-il intervenir ? Selon quelle modalité ? Peut-il interagir avec un seul étudiant, via des réseaux de communication médiatisés, ou serait-ce préférable, pour l'ensemble des étudiants, de se rassembler (effet du groupe) à des moments et lieux déterminés (impact de la présence et du rôle du tuteur) ? Les étudiants devraient-ils pouvoir échanger entre eux, via des groupes de discussion ou en classe réelle ? Les tâches proposées devraient-elles être complexes, au risque de décourager l'étudiant isolé, ou simples, au risque de manquer d'authenticité (impact de la nature de la tâche) ? Peut-on imposer un rythme, alors que les étudiants vivent dans des contextes sociaux probablement très différents (un travailleur actif aurait potentiellement, moins de temps à consacrer à sa formation continue qu'un chercheur d'emploi, s'engageant dans de nouvelles études pour valoriser son curriculum) ?

Il est loin le temps des premières machines à enseigner. Il est loin aussi le temps de l'individualisme exacerbé des étudiants. Les connaissances explosent, les outils évoluent, les distances diminuent. Etudiants et enseignants doivent donc impérativement s'adapter et s'unir pour relever de nouveaux défis. Et comme chaque fois, de nouvelles questions surgissent; mais, n'est-ce pas le propre des recherches traitant des sciences et des sciences humaines que de toujours s'interroger, pour évoluer en fonction des techniques et des hommes ?



## Annexes

---

### 1 Chronologie des expériences

Années	Caractéristiques des expériences	Référence
1993-1995	Premiers cours de DAO à l'UCL; Observations des difficultés des étudiants et des enseignants.	Chapitre 1
1995-1996 jusque 1999-2000	Didacticiel 2D utilisé lors de la première séance de travaux pratiques; Utilisation d'un syllabus.	Chapitre 4
1996-1997	Expérience méthodologique : 4 dispositifs pédagogiques pour la deuxième séance de travaux pratiques.	Chapitre 5
2000-2003	Apprentissage par projets; Didacticiels <i>First</i> , <i>2D</i> , <i>Circuit</i> , <i>3DS</i> , <i>3DV</i> ; Environnement <i>Animation</i> ; Monitorat/Tutorat; Syllabus en ligne.	Chapitre 6

### 2 Application de règles de géométrie descriptive

L'exemple de la Figure 22 où sont représentées les deux projections (profil et face) d'une pièce mécanique illustre la nécessité de pouvoir appliquer quelques règles élémentaires de géométrie descriptive. Pour la facilité de lecture, certaines coordonnées sont manquantes. C'est le cas, entre autres, d'un point particulier situé au bas de la pièce (marqué par un cercle rouge). Or il n'est pas question de dessiner "au hasard" cette partie du plan. Pour retrouver les coordonnées exactes (ou plutôt pour obliger le logiciel à les calculer très précisément), il convient de se représenter d'abord l'objet 3D correspondant, puis de comprendre l'aide qu'apporterait une troisième projection dans l'espace. En effet, en représentant partiellement la vue "du dessus", il est aisé d'effectuer quelques rabattements permettant de "construire" le point à problème, faisant ainsi appel aux outils de la géométrie descriptive (voir zoom sur la construction, Figure 23).

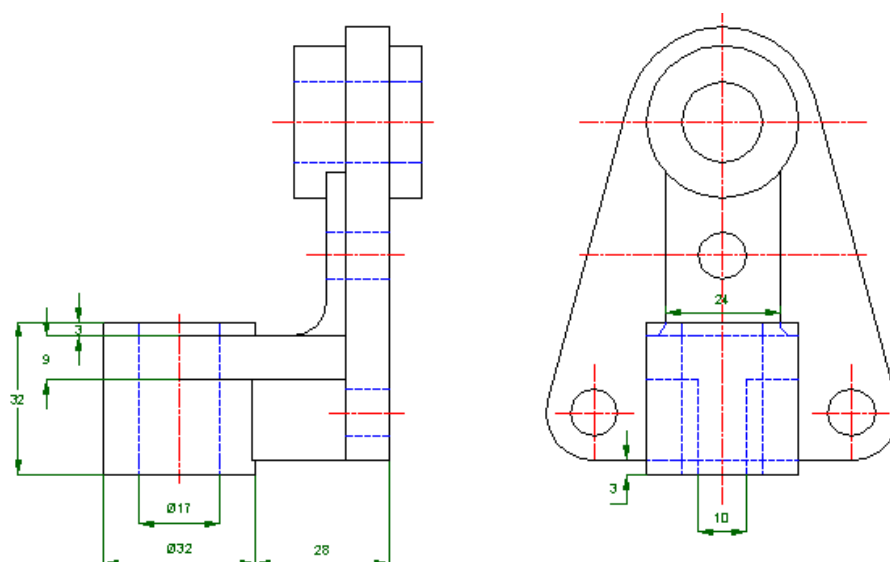


Figure 22 : Deux projections (profil et face) d'une pièce mécanique

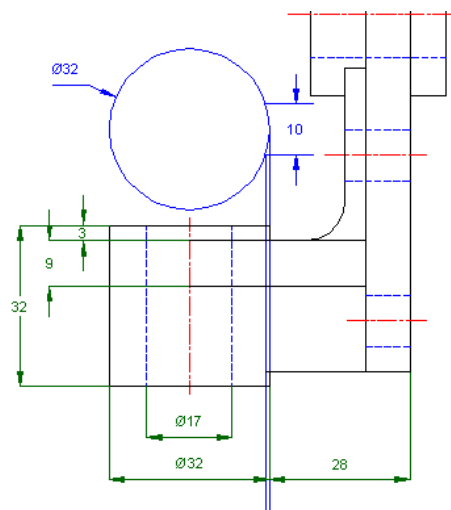


Figure 23 : Zoom sur la construction géométrique d'un point particulier



### 3 Le cours de DAO à l'UCL de 1993 à 1995

Globalement, le cours est divisé en cinq parties dont voici un bref aperçu.

Avant de parler de dessin assisté, il nous semble nécessaire de connaître quelques notions relatives au matériel employé et aux logiciels graphiques de base. Sont ainsi abordés quelques sujets tels que la technologie des écrans, les couleurs, les dispositifs d'entrée, l'intérêt de l'utilisation des bibliothèques graphiques, les bases des systèmes graphiques standard certifiés ISO : GKS<sup>80</sup> et PHIGS<sup>81</sup> etc.

Nous étudions ensuite le dessin en deux dimensions (2D) et commençons par énumérer les entités 2D de base et les transformations possibles de celles-ci. Nous insistons sur l'importance de la précision du dessin, en détaillant une série d'outils qui permettent de travailler très rigoureusement. Nous formulons quelques questions relatives à la gestion du dessin mais aucune méthodologie précise n'est mise en évidence, même si elle est évidemment sous-jacente. Ensuite, nous approfondissons, mathématiquement, les différentes opérations de transformation en deux dimensions. Pour cela, nous introduisons les concepts d'espace projectif et de coordonnées homogènes. Enfin, nous abordons les problèmes de visualisation de dessins à l'écran, en nous référant à l'exemple complexe, mais complet, de PHIGS.

Dans la troisième partie du cours, nous introduisons les notions élémentaires de géométrie descriptive. Une méthode de projection d'un objet de l'espace perpendiculairement à deux ou trois plans est une technique qui transpose aux plans toutes les informations qui permettent ensuite de constituer ou reconstituer l'objet avec précision. Selon la position de l'objet par rapport aux plans de projection, l'information sera directement lisible sur les plans ou pourra être retrouvée par quelques manipulations géométriques simples. Notons que les projections de Monge ne sont pas les seules, mais bien les plus usitées dans le secteur qui nous intéresse. Cette partie du cours présente donc les éléments de base de la géométrie de Monge et permet un passage entre l'apprentissage de la représentation en deux dimensions et celui de la représentation en trois dimensions.

Dans le quatrième chapitre du cours, nous généralisons le dessin deux dimensions (2D) au dessin trois dimensions (3D) en incluant les notions mathématiques nécessaires aux transformations d'un objet dans l'espace et à sa visualisation à l'écran. C'est ainsi que nous étudions, en plus des entités et opérations 3D, les

---

<sup>80</sup> Graphical Kernel System

<sup>81</sup> Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System

techniques de projection parallèle et perspective centrale, d'un point de vue graphique et analytique. Nous présentons les trois techniques de représentation de volumes (fils de fer, surfaces et solides) et terminons cette quatrième partie en décrivant les techniques générales de projection et visualisation en infographie, suivant le modèle de PHIGS.

Enfin, nous parlons brièvement du problème des échanges d'informations entre systèmes. Entre machines utilisant le même logiciel de DAO, l'utilisateur n'a pas à se préoccuper du problème de transfert. Il en va tout autrement lorsqu'on désire échanger des informations entre machines utilisant des logiciels de DAO différents. Dans ce cas, le transfert du dessin d'un système à l'autre n'est possible que par l'intermédiaire de fichiers particuliers (types IGES, DXF, ...) reprenant les caractéristiques du dessin et pouvant être lus et interprétés graphiquement par les deux systèmes (source et cible). De tels fichiers peuvent souvent être générés par les logiciels de DAO.

Tableau 7 : Déroulement du dispositif de 1993 à 1995

Semaine	Cours magistral (2h/sem.)	Travaux pratiques (1h30/sem.)
1	Introduction au DAO ; Matériel et logiciels graphiques; Technique des couleurs, des écrans, ...; L'exemple graphique de GKS et PHIGS; Introduction au dessin 2D : Entités et opérations de base; Exemples.	
2	Suite du dessin 2D : Entités et opérations de base; Exemples.	Réalisation pas à pas et dirigée d'un premier dessin 2D : notions de limites, couches, quelques entités de base et quelques opérations classiques de copie, coupure, ....
3	Géométrie analytique 2D : concepts de base.	Réalisation d'un dessin 2D de manière plus autonome : introduction d'entités 2D plus spécifiques au produit, outils d'auto-vérification, ...
4	Géométrie analytique 2D : concepts de base.	Réalisation d'un nouveau dessin 2D au choix parmi trois proposés.

5	Géométrie descriptive : concepts de base.	Poursuite du dessin choisi précédemment.
6	Introduction au dessin 3D (techniques fil de fer et surfaces) : Entités et opérations de base ; Projection parallèle ; Repères ; Exemples.	Exercices de géométrie analytique 2D.
7	Géométrie analytique 3D : concepts de base.	Réalisation pas à pas et dirigée d'un dessin 3D en termes de "surfaces" : repère, vues, entités et opérations 3D de base.
8	Géométrie analytique 3D : concepts de base.	Réalisation d'un dessin 3D "surfaces" de manière non dirigée.
9	Introduction au dessin 3D (technique des volumes) : Entités et opérations de base ; Opérations booléennes ; Arbres CGS ; Exemples.	Réalisation pas à pas et dirigée d'un dessin 3D en termes de "volumes" : entités et opérations de base.
10	La visualisation dans PHIGS; Le transfert d'informations.	Réalisation d'un dessin 3D "volumes" de manière non dirigée.
11		Exercices de géométrie analytique à 3 dimensions.
12		Réalisation de dessins 3D au choix (pièces mécaniques ou plans de bâtiment); Synthèse.
13	Remise des dessins 2D et 3D; interrogation orale individuelle (1/2 h.).	
Session juin	Examen écrit : géométrie analytique, géométrie descriptive, concepts DAO (durée : 3h30- 4h)	

Nous aurions pu réserver les premières séances de travaux pratiques au tracé de lignes, cercles, triangles élémentaires, .... Le manque de motivation que pourrait susciter ce type de travail nous a orientés vers un choix moins réducteur. Volontairement, le choix de la première pièce à réaliser en 2D s'est porté sur la représentation plane d'une bielle (Figure 3). Ceci a deux conséquences : la première est la nécessité pour l'assistant de guider pas à pas les étudiants, étant donné la complexité de la pièce à représenter, et la seconde conséquence est de donner très vite un sens à l'utilisation d'un tel outil, vu l'exigence de précision.

L'évaluation des objectifs a lieu en trois parties, à la fin du quadrimestre.

Les enseignants consultent tous les dessins réalisés par chaque étudiant durant le quadrimestre de cours. Ils donnent une appréciation globale du travail selon des critères généraux (structuration du dessin, exactitude des dimensions, présentation des vues, etc.).

Ensuite, selon un horaire établi, chaque enseignant interroge les étudiants oralement et individuellement, au rythme de deux étudiants, simultanément, par demi-heure. Les questions abordées peuvent aussi bien être relatives aux dessins réalisés par les étudiants qu'à d'autres dessins. L'utilisation des ordinateurs est possible. Quelques exemples de questions sont repris ci-dessous. Les quatre enseignants n'interrogent pas nécessairement les étudiants dont ils ont eu la charge d'encadrement. Il est important de souligner qu'à l'issue de l'évaluation et grâce aux critères clairement établis, on ne note pas de différence significative dans la moyenne des notes attribuées aux étudiants par les quatre examinateurs.

Enfin, un examen écrit est organisé durant la session de juin, afin d'évaluer les acquis des étudiants au niveau de la géométrie analytique, la géométrie descriptive et les divers concepts propres au DAO.

#### Evaluation orale de 1993 à 1995

Les quelques questions ci-dessous sont extraites d'une liste de questions mise à disposition des assistants, en vue d'interroger les étudiants lors de leur présentation orale. Ces questions sont aussi bien "théoriques" (basées sur la compréhension de concepts) que "pratiques" (demandant à l'étudiant un travail sur PC). Elles sont données ci-dessous, à titre d'exemples :

- Quel est le rôle des couches ? Comment effacer tous les éléments d'une même couche ?
- Créez et nommez des vues de profil, face, dessous et axonométriques de telle pièce 3D.
- La sélection d'un point du dessin à l'écran peut-elle se faire avec la souris ? Expliquez.
- Quelles opérations mathématiques se "cachent" derrière des opérations telles que "move, rotate, mirror" ?
- Comment coter tel objet 3D ?
- Vérifiez l'exactitude de tel dessin par rapport au plan fourni.

### Evaluation écrite de 1993 à 1999

Les trois questions ci-dessous sont extraites de questionnaires d'examens écrits, à titre d'exemples. Elles sont basées sur les cours de géométrie analytique, géométrie descriptive et quelques concepts d'infographie :

- On donne les deux projections d'une droite quelconque d.  
On désire faire passer par cette droite d un plan  $\alpha$  (contenant d) qui fait un angle de  $60^\circ$  avec le plan horizontal de projection.  
Spécifiez les étapes de la résolution et exécutez l'épure correspondante.

Pour la transformation plane de matrice  $T = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 8 \\ 0 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 6 \end{pmatrix}$

Déterminez les points fixes de la transformation;  
Déterminez la transformée de la droite d:  $x + y - 1 = 0$   
Reportez ces différents éléments sur un dessin.

- Quelles méthodes de représentation des solides peuvent être utilisées par des systèmes de DAO ?
- Comment PHIGS gère-t-il les fonctions de *panoramique* et *zoom* ?

## 4 Difficultés rencontrées lors des premiers cours de DAO

Nous décrivons<sup>82</sup>, ci-dessous, les difficultés rencontrées lors des premiers cours de DAO (de 1993 à 1995). Celles-ci sont classées par catégories de problèmes et ni dans l'ordre dans lequel elles sont apparues, ni par ordre d'importance.

Aucune méthodologie particulière n'a été adoptée pour rassembler ces difficultés. Il s'agit uniquement d'observations des étudiants, effectuées par les quatre assistants, durant les deux premières années du cours (de 1993 à 1995). Elles sont une compilation des observations "de visu" sur le terrain et des questions les plus fréquemment posées par les étudiants.

---

<sup>82</sup> Les difficultés rapportées dans le texte sont parfois décrites sur base des termes propres au logiciel AutoCAD de référence. Ceci a pour but de faciliter la compréhension des problèmes mais relève, généralement, d'une difficulté plus globale que la seule utilisation pratique d'une commande particulière.

#### 4.1 Dessin en deux et en trois dimensions

##### La précision du tracé

- Bon nombre d'étudiants (sans étude statistique rigoureuse, nous les évaluons à un étudiant sur trois) appréhendent difficilement la différence qu'il y a entre les coordonnées calculées d'un point et la représentation graphique de celui-ci (pixel) à l'écran. En effet, un pixel écran symbolise plusieurs points de coordonnées réelles, puisque la précision de calcul du logiciel est de l'ordre de  $10^{-14}$ , alors que la taille de la zone de travail, selon l'écran, est par exemple de l'ordre de 1000 x 800 points. C'est ainsi qu'après une opération de "zoom", les étudiants peuvent obtenir à l'écran un cercle et une tangente correcte devenus un polygone et une droite isolée. Ils doivent comprendre que le logiciel est toutefois capable de maîtriser un niveau de précision nettement supérieur et qu'ils peuvent le forcer à recalculer la visualisation des entités, en fonction des propriétés géométriques imposées. Il faut donc bien se fier à ce que le logiciel calcule et non à ce qu'il affiche à l'écran (Figure 24).

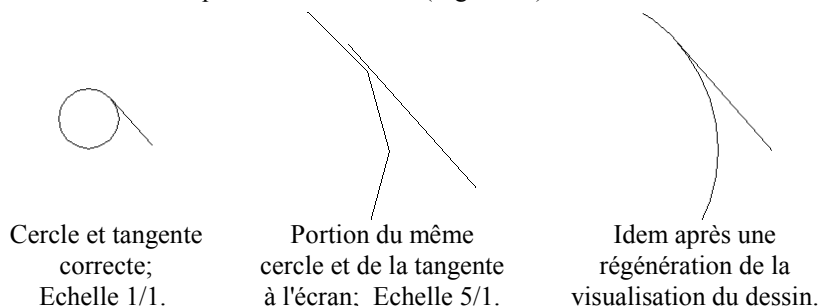
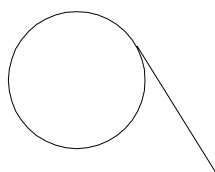


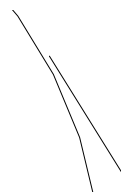
Figure 24 : Exemple de précision de visualisation

- Le niveau de précision du logiciel, dont nous venons de parler, oblige le dessinateur à utiliser les outils adéquats pour atteindre certains points du dessin. Ainsi, par exemple, une droite sera réellement tangente à un cercle si, lors de l'introduction du point tangent, l'outil "tan to" (tangent to) de calcul des coordonnées du point en question a bien été utilisé. Un exemple ci-dessous (Figure 25) montre le manque de précision d'une tangente dessinée "à main levée" et pas avec l'outil adéquat. Il faudra plusieurs erreurs visualisées par un zoom important, avant que les étudiants ne comprennent l'implication de cette négligence. En DAO, on ne travaille pas avec une simple latte et un gros crayon

pour approximer le tracé. Celui-ci doit être exact. Encore une fois, on ne se fie pas à ce que l'on voit à l'écran mais bien à ce que l'on calcule.



Tangente réalisée "à la main"  
c'est-à-dire sans les outils  
d'accrochage adéquats.



Point critique de tangence visualisé  
grâce à l'opération de "zoom".

Figure 25 : Exemple d'erreur par manque de précision de l'utilisateur

#### Le repère global et les repères locaux

Pour dessiner les faces qui composent un objet en trois dimensions, il faut d'abord dessiner leurs contours, avant de les transformer en faces réelles dans l'espace. Pour dessiner ces contours (des entités de type "polylignes 2D"), il faut nécessairement se placer dans le plan  $OXY$  du repère courant, comme pour se ramener au dessin en deux dimensions. Après le dessin d'une face dans le repère global de départ, comment, dans ces conditions, dessiner d'autres faces dans l'espace ? Ces faces sont à dessiner dans les plans  $OXZ$ ,  $OYZ$  ou d'autres plus quelconques encore. Il faut, à tout moment, utiliser de nouveaux repères, dont le plan  $OXY$  est chaque fois dans le plan de la face à dessiner. Toute la difficulté réside donc dans la définition de ces repères (dits "locaux"), tout au long de l'élaboration du dessin. Ce problème est crucial pour le bon déroulement de la suite des exercices et provoque quelques difficultés. En voici une liste non exhaustive et quelques conséquences observées.

- Le repère utilisé est de type "direct". Cette notion de "repère direct" est familière aux étudiants, mais pourtant loin d'être facile à utiliser. Qu'elle porte le nom de "règle du tire-bouchon", "règle de la main droite", "règle du tournevis", la règle qui consiste à déterminer le sens du repère est connue mais la difficulté subsiste. Encore un cas où le lien entre la théorie et la pratique d'utilisation n'est pas évident.
- Un nouveau repère local peut être défini de plusieurs manières, par rapport au repère défini précédemment :

- par la rotation du repère courant autour des axes principaux  $OX$ ,  $OY$  et/ou  $OZ$ . Le problème remarqué lors de cette étape est le sens de calcul des angles (repère direct : voir ci-dessus).
  - par la donnée de trois nouveaux points : l'origine du repère, un point dans la direction des  $X$  positifs et un point dans la direction des  $Y$  positifs (l'axe  $OZ$  est déduit). Le problème de l'orthogonalité des axes est ainsi résolu automatiquement par le logiciel qui adapte au mieux les données de l'utilisateur. Mais malgré cela, nous observons de nombreuses hésitations quant à la donnée de 3 points du nouveau plan.
- Dans le même ordre d'idées, si une face doit être tracée dans un nouveau plan, les étudiants perdent parfois beaucoup de temps à y positionner un repère bien "classique" (plan  $OXY$ , direction positive des  $Z$  vers le haut) alors qu'un autre plan, plus facile à déterminer parfois, suffirait mais est moins habituel (plan  $OXY$ , direction positive des  $Z$  vers le bas, par exemple).
  - Certains étudiants ont des difficultés à déplacer leur repère courant en deux ou trois étapes. Ils veulent trouver une solution de modification en une seule étape. Ce n'est pas toujours faisable (ou pas très facile) et ils ne voient pas toujours la décomposition du mouvement à appliquer (par exemple une rotation autour de l'axe  $OX$ , suivie d'une autre rotation autour de l'axe  $OY$ ).
  - Pour dessiner dans un plan parallèle au plan  $OXY$  courant, il est possible de définir une "élévation", c'est-à-dire définir une coordonnée  $Z$  automatique non nulle. L'erreur conséquente à cette opération est d'oublier de remettre cette élévation à 0 ( $Z = 0$ ) lorsque le travail dans le plan parallèle est terminé. En effet, lors d'un changement de repère, l'élévation n'est pas automatiquement remise à 0 et lorsqu'on croit travailler dans le plan  $OXY$  nouvellement défini, on est en réalité dans un autre plan qui lui est parallèle.
  - Dans le coin inférieur gauche de l'écran ou à l'origine du repère courant, AutoCAD® affiche une icône représentant les axes  $OX$  et  $OY$ . Différentes icônes existent ayant des significations bien précises dans le dessin. Si l'explication des différentes icônes des repères semble évidente, leur utilité reste peu considérée. En cas de problème lors de l'élaboration du dessin, peu d'étudiants observent les icônes (Figure 26 et Figure 27). Celles-ci sont pourtant un renseignement utile concernant le repère courant et la vue obtenue. Il faut toutefois avouer que les différences de représentation de ces icônes sont parfois subtiles. La Figure 26 en atteste.



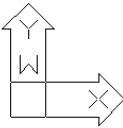
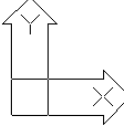
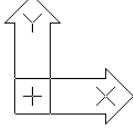
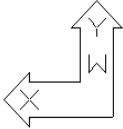

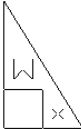
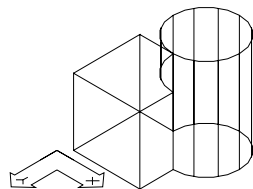
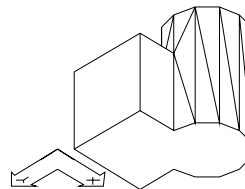
 <p>Icône du repère global WCS</p>	 <p>Icône d'un repère local UCS</p>	 <p>Icône d'un repère UCS placé en son point origine</p>
 <p>Icône du repère dont l'axe OZ est rentrant "dans l'écran" (repère direct)</p>	 <p>Icône indiquant que le vecteur de projection est dans un plan // à OXY</p>	 <p>Icône du mode Paper Space (monde "papier")</p>

Figure 26 : Icônes des repères propres à AutoCAD®

- Il faut être dans le plan OXY pour dessiner les contours de faces. Les étudiants interprètent cela comme étant "il faut que le plan OXY soit en plus dans le plan de l'écran". Ceci n'est pas nécessaire et même souvent dangereux. Des ambiguïtés peuvent surgir (Figure 28).

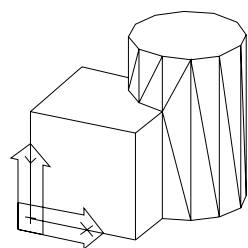


Sans tenir compte de l'icône du repère (pour lequel la direction positive de l'axe Z est rentrante) il semble que le vecteur de projection soit environ (2,1,1)

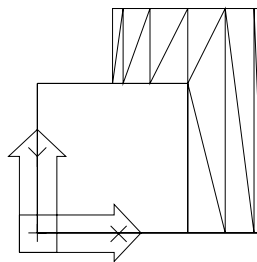


Après une opération de "vu et caché" et observation plus précise de l'icône du repère, on constate que le vecteur de projection vaut en réalité (-2,-1,-1). On regarde *sous* la pièce.

Figure 27 : Exemple de mauvaise interprétation de l'icône du repère



Dessin possible dans le plan OXY.  
Aucune ambiguïté.



Dessin possible dans le plan OXY.  
Ambiguïté due à la superposition de plusieurs points dans cette projection; Aucune garantie lors de la sélection de points via les outils d'accrochage.

Figure 28 : Plans de vue différents

- Pourquoi faut-il que le plan dans lequel on désire dessiner soit souvent le plan OXY, alors que, dans la plupart des cas, on voit toute la pièce ? Où sont les ambiguïtés ? Il est vrai que ce problème dépend directement des entités à dessiner. En effet, une ligne peut se dessiner dans l'espace à trois dimensions, puisqu'elle est déterminée par deux points dont on peut donner les trois coordonnées. Par exemple, une ligne du point (5,9,10) au point (18,23,7) est définie de manière univoque; le système de DAO peut donc la représenter. A l'inverse, un cercle est défini par la donnée d'un point centre (trois coordonnées) et d'un rayon (une valeur), mais pas par la donnée d'une "direction" à ce rayon. Il s'agit typiquement d'une entité qui, par défaut, se dessine donc dans le plan OXY courant. Avec un peu d'expérience (ou de bon sens géométrique), il est aisé de retrouver les entités nécessitant ou non un changement de repère.

### Les vues

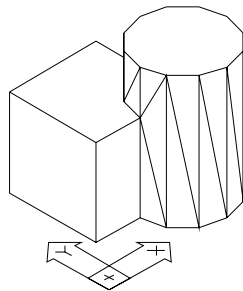
La modélisation d'un objet<sup>83</sup> en trois dimensions peut se faire de différentes manières, donnant des images plus ou moins réalistes et nécessitant des calculs plus ou moins complexes. On peut distinguer trois catégories de modèles de représentation : le modèle *fil de fer*, le modèle *surfactive* et le modèle *volumique*. Comme son nom l'indique, le modèle fil de fer ne représente que les arêtes des objets. Le modèle surfactive décrit l'objet par les faces qui le délimitent, tandis que

<sup>83</sup> Quand nous parlons d'objet, nous étendons la définition aussi bien à une pièce mécanique, un bâtiment, ... qu'à tout ce qui peut se représenter dans l'espace.

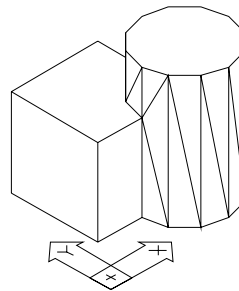
le modèle volumique décrit les objets en tant que solides. Dans le cadre du cours de DAO, nous étudions principalement les modèles surfaciques et volumiques, tous deux très utilisés par d'autres logiciels et comprenant chacun des avantages et des inconvénients, sur lesquels nous ne nous étendrons pas ici.

Les concepts de représentation (entités, opérations, ...) semblent poser peu de problèmes particuliers. En revanche, la visualisation des objets 3D apparaît plus complexe puisque la représentation d'un objet 3D à l'écran (plan 2D) fait référence à la notion de projection. Une bonne manipulation (et donc idéalement une compréhension suffisante) des notions de projection est indispensable. Et là, nous observons davantage de difficultés.

- Un logiciel tel qu'AutoCAD® travaille en projection parallèle lors de la phase de modélisation. D'un point de vue théorique, les étudiants sont capables de citer tous les éléments constituant une telle projection parallèle (le plan de projection, le vecteur directeur de la projection, l'objet à projeter). La définition mathématique de l'objet "vecteur" est déjà plus hasardeuse. Très peu y voient un représentant d'une classe d'équivalence. Dès lors, il leur est assez difficile de comprendre que le choix d'un autre vecteur directeur de la même classe produit exactement la même projection sur le plan. Les commentaires vont plutôt dans le sens d'une projection plus petite ou plus grande selon le représentant choisi dans la classe d'équivalence (Figure 29).



Vecteur de projection AB  
 $A = (0,0,0)$ ;  $B = (-1,-1,1)$



Vecteur de projection AB  
 $A = (-99,-99,99)$ ;  $B = (-100,-100,100)$

Figure 29 : Projections parallèles générées par deux vecteurs directeurs

- Par conséquent, la définition de plusieurs vues de l'objet dessiné dans différentes fenêtres devient un réel défi ! On y retrouve évidemment :

- des difficultés à définir les vecteurs de projection parallèle, même si finalement cela semble acquis au niveau théorique (voir ci-dessus);
  - la définition des plans principaux des objets mais plus rarement des vues axonométriques ou vue de l'arrière, vue de dessous, ...
- Dès que la notion de définition des repères locaux est introduite, nous observons un vaste mélange entre les concepts de repères locaux et vues. Pour voir un objet d'un autre point de vue, certains modifient d'abord le repère. Inversement, d'autres changent de vue, croyant qu'ils sont alors prêts à dessiner sur une face précise du dessin. Il n'en est pourtant rien, tant que le repère n'est pas bien placé. D'autres, enfin, se demandent pourquoi une modification du dessin se répercute dans toutes les vues et pourquoi il n'est pas possible de définir un repère localement à chaque vue (du moins dans cette version du logiciel).

Le problème est, dans ce cas, beaucoup plus intuitif que technique. Pour voir un objet sous un autre angle, faut-il changer de vue ou de repère? Voici l'exemple concret introduit pour aider à la compréhension. Volontairement simpliste, il a fait sourire. Et pourtant ....

"Une vue est la vision d'un objet depuis un point de l'espace quel que soit le repère. Supposons que le repère soit dans un coin de la salle. Regardez tel étudiant selon un certain point de vue; son voisin le regarde selon un autre point de vue. Si je change le repère, le voisin et moi-même continuons à voir cet étudiant de manière inchangée". *Rien ne change à l'écran si le repère est modifié* (exemple d'un bâtiment, Figure 31).

"Un repère est un système de coordonnées du dessin, quel que soit l'angle sous lequel on regarde l'objet dessiné. Si je coiffe l'étudiant d'un chapeau, à la fois son voisin et moi-même observons un changement de coiffure (le même changement vu différemment)". *Toutes les vues sont modifiées ensemble*.

"En modifiant les vues, le repère n'est pas affecté. Il suffit de penser qu'un autre voisin regarde, lui aussi, le changement du chapeau, indépendamment du repère." *Changer de vue n'implique donc pas un changement de repère* (Figure 32).

Pour appuyer encore les propos, nous voyons l'effet d'un changement de repère et d'un changement de vue sur un dessin. Voici le dessin de départ proposé aux

étudiants et sur lequel il leur est suggéré de s'entraîner à modifier les repères et les vues, pour en analyser les conséquences (Figure 30) :

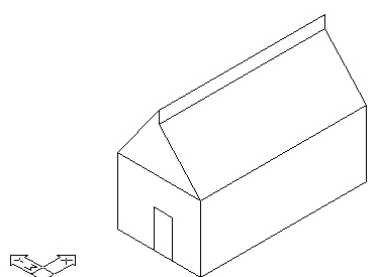


Figure 30 : Volume, repère et vue de départ

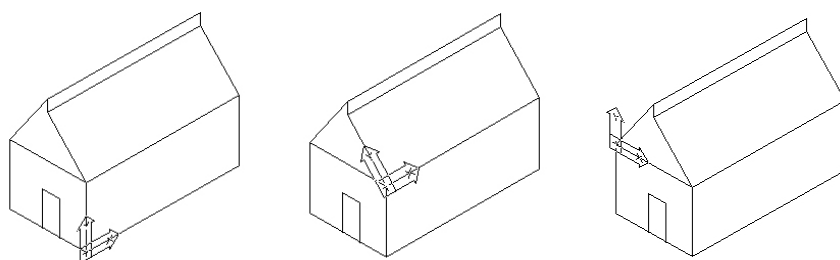


Figure 31 : Plusieurs repères donnés sous une même vue du volume

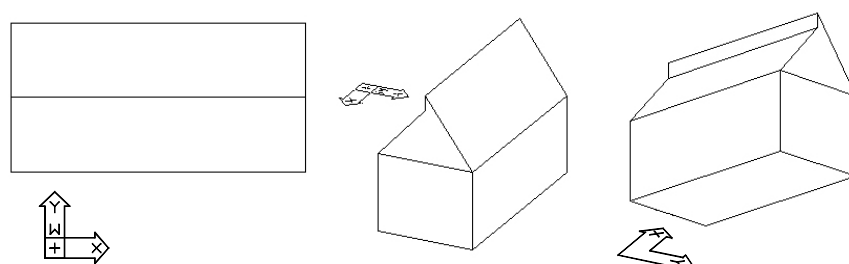


Figure 32 : Plusieurs vues du volume dans un même repère de coordonnées

- Définir de nouvelles vues au départ d'un repère local quelconque produit parfois des effets de bord fort déroutants tel que le "renversement" de l'objet pour conserver l'axe 0Z "vers le haut" (de l'écran). Pour éviter cet effet de bord (Figure 33), il convient de se rappeler l'importance de considérer le plan 0XY

du repère de départ (appelé World Coordinate System). Une bonne habitude est de le considérer comme étant parallèle au "sol", c'est-à-dire celui sur lequel est posé l'objet à dessiner. Il est bien plus difficile qu'on ne le pense de faire passer ce message aux étudiants, pour qui ce repère sert, d'abord, à dessiner une face de l'objet, quelle qu'elle soit, même latérale. Cette démarche s'explique probablement dans la mesure où l'écran est physiquement perpendiculaire au sol et pas parallèle à celui-ci (Figure 34). Ce problème est particulièrement crucial en architecture, dans le cas de la représentation graphique d'un bâtiment.

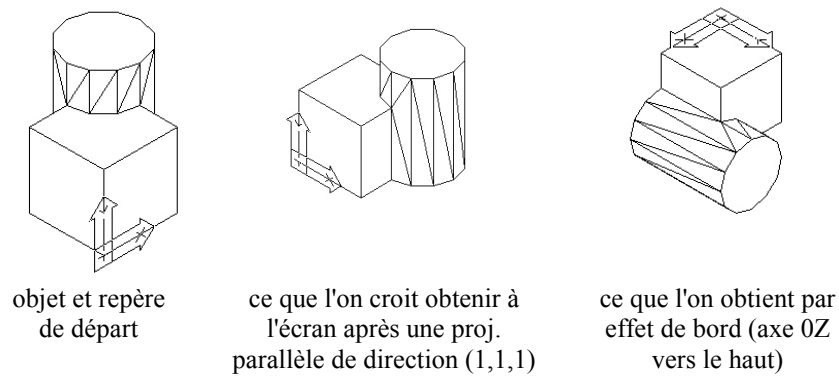


Figure 33 : Comportement de l'axe OZ

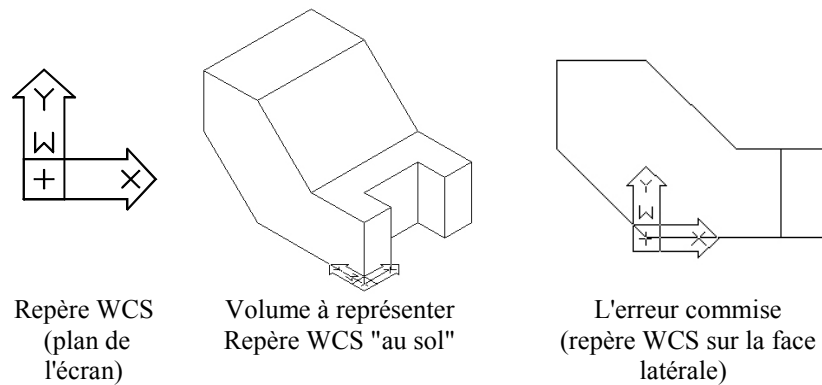
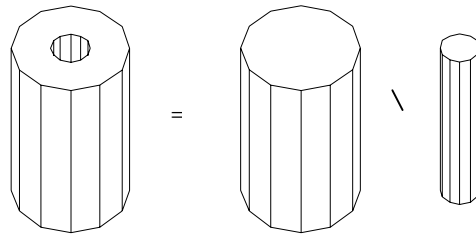


Figure 34 : Position du plan OXY du repère WCS

### Les opérations booléennes

Les opérations de base admises sur les solides sont au nombre de trois et font directement appel aux opérations booléennes (ensemblistes) classiques d'union, d'intersection et de soustraction.

- L'opération de soustraction est la plus utilisée dans l'exercice que nous proposons. Elle sert, entre autres, à percer des trous dans des volumes. Il suffit d'imaginer que l'on enlève de la matière à un volume plein. Bien qu'intuitif, ceci pose problème à beaucoup d'étudiants.



Or, quand nous demandons aux étudiants si, en termes d'ensembles (comme en arithmétique d'ailleurs),  $A \setminus B = B \setminus A$ , ils n'hésitent pas à répondre. La question est à la fois ridicule et la réponse triviale. Pourquoi alors ont-ils des difficultés à discerner les deux opérations de la Figure 35 ?

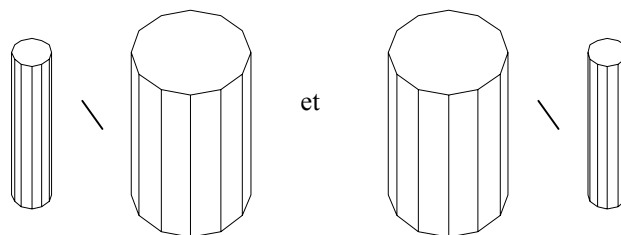


Figure 35 : Soustraction booléenne

- En termes d'ensembles de Venn, les étudiants ont déjà rencontré les trois opérations reprises au Tableau 8. Celles-ci ne semblent toutefois pas acquises par tout le monde. Certains étudiants voient difficilement comment les appliquer aux volumes.

### La lecture de plans

La lecture de plans pose aussi quelques problèmes, dans la mesure où la pièce proposée sur papier est parfois dessinée et cotée selon deux de ses trois plans principaux et doit être reconstruite en trois dimensions. Aucune vue axonométrique n'est jointe et la troisième vue principale doit être déduite.

Il faut donc d'abord être capable de lire ces deux projections et déduire mentalement le volume représenté (Figure 36). Cette première étape (dans l'ordre chronologique du dessin) est un sérieux obstacle à franchir pour bon nombre d'étudiants. Deux exemples simples :

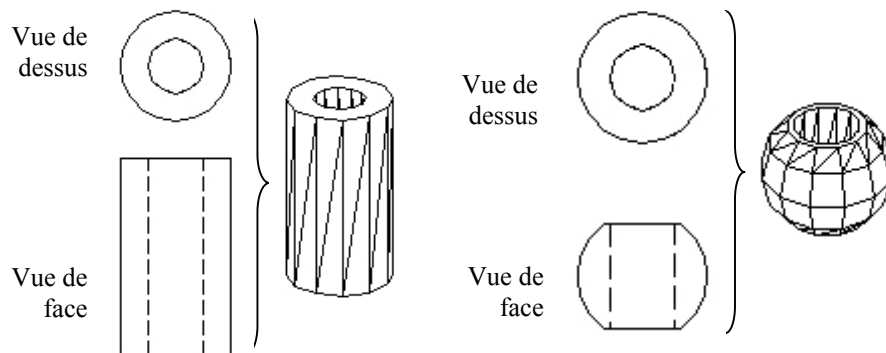
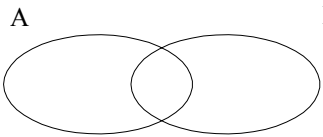
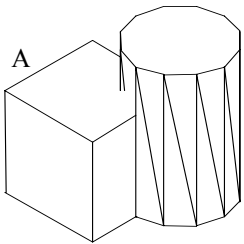
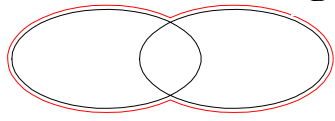
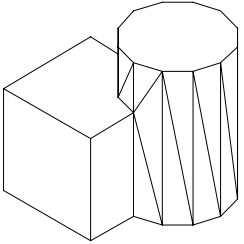
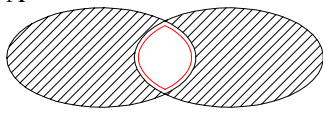

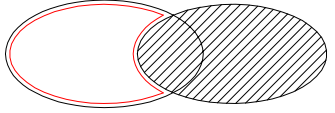
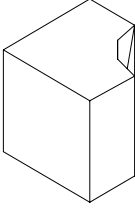


Figure 36 : Exemples de lecture de plans

Cette difficulté a été observée mais n'a fait l'objet d'aucune recherche particulière. Il serait toutefois intéressant de pouvoir déterminer si elle provient d'un manque de représentation spatiale, d'un manque d'expérience ou si, tout modestement, cette capacité à se représenter un volume de l'espace est améliorée après un cours de dessin (assisté ou non). Nous n'avons pas approfondi la question dans le cadre de ce travail.



Tableau 8 : Opérations ensemblistes

En termes d'ensembles <sup>84</sup>	Opération booléenne	Exemple de deux volumes dans AutoCAD®
		
	$A \cup B$	
	$A \cap B$	
	$A \setminus B$	

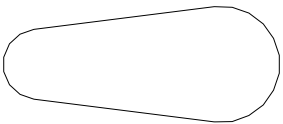

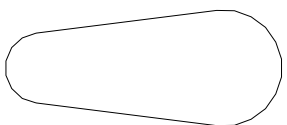
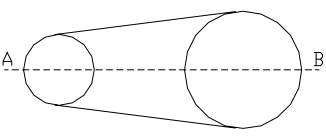
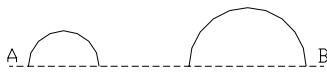
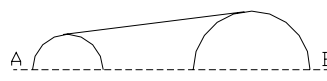
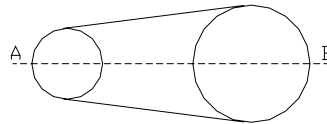
<sup>84</sup> Nous considérons la zone hachurée comme étant la zone "rejetée".

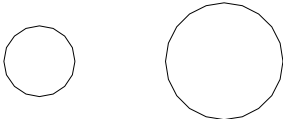
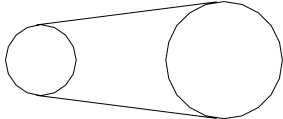
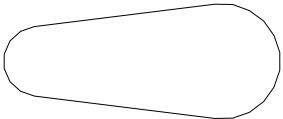
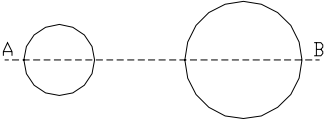
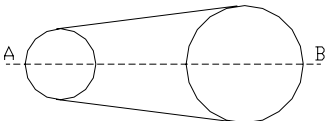
#### 4.2 Exercices de géométrie analytique

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.

- Une difficulté majeure ressort, tous groupes confondus : la manipulation et la compréhension des coordonnées homogènes et de l'espace projectif. Il est vrai que ce sont des notions mathématiques sans support intuitif dans l'espace courant et les étudiants de première année sont bien peu familiarisés avec la notion d'infini. Celle-ci est pourtant nécessaire, même dans les cas concrets qui nous occupent, puisque nous parlons de perspective centrale et de points de fuite.
- Le second problème rencontré par les deux séances d'exercices de géométrie analytique est leur caractère "détaché" du contexte. Elles sont considérées, par les étudiants, comme rébarbatives, car elles ne semblent pas utiles à la compréhension des concepts de dessin assisté.
- Enfin, citons un exemple concret d'erreur liée à l'utilisation de la géométrie analytique. La non-commutativité de l'opération de rotation dans l'espace, bien que connue d'un point de vue théorique et largement explicitée dans les cours, engendre malgré tout quelques erreurs de manipulation pratique.

## 5 Conséquences de l'analyse d'un nouveau dessin

A dessiner :	Une analyse possible :
	<p data-bbox="805 660 1251 817">L'utilisateur calcule, par des méthodes mathématiques appropriées, les points d'intersection entre les arcs et les tangentes (pas trivial). Il dessine ensuite 2 arcs...</p>  <p data-bbox="805 952 1021 974">... puis 2 tangentes.</p> 
 <p data-bbox="349 1467 510 1512">Axe AB donné</p>	<p data-bbox="805 1153 1251 1254">L'utilisateur souhaite exploiter l'axe de symétrie AB. Il dessine donc 2 arcs de cercles.</p>  <p data-bbox="805 1344 1173 1377">Il dessine la tangente à ces 2 arcs.</p>  <p data-bbox="805 1467 1251 1568">Puis il effectue une opération classique de "miroir" autour de l'axe défini par les points A et B.</p> 

Une meilleure analyse :	Conséquences :
<p>L'utilisateur dessine 2 cercles.</p>  <p>Il dessine ensuite les 2 tangentes avec les outils appropriés fournis par le système de DAO.</p>  <p>Il coupe les arcs de cercles inutiles aux points exacts d'intersection cercles-tangentes, calculés par l'ordinateur.</p> 	<p>Dans le premier cas, l'utilisateur ne profite pas de la grande capacité de calcul de l'ordinateur. Il prend de gros risques d'erreurs en calculant séparément les points de tangence droites-cercles.</p>
<p>L'axe AB est bien, mathématiquement parlant, un axe de symétrie de la pièce à réaliser. Mais ici, on ne peut en tirer profit. L'utilisateur dessine donc 2 cercles</p>  <p>Puis il dessine 2 tangentes (ou 1 tangente + une opération de "miroir" justifiée).</p> 	<p>Dans le premier cas, l'utilisateur a dessiné, en 4 opérations, 6 entités distinctes au lieu de 4 (comme dans le deuxième cas).</p> <p>De plus, il n'est pas plus aisé de dessiner des arcs de cercles que des cercles entiers.</p> <p>Enfin, conceptuellement, nous avons dans le premier cas, non pas 2 cercles, mais bien 4 arcs de cercles.</p>

## 6 Exemples de didacticiels issus des sites WEB

Exemples de réalisations, à l'aide des didacticiels de ArchiCAD  
(Sur [http://www.graphisoft.com/products/archicad/online\\_demos.html](http://www.graphisoft.com/products/archicad/online_demos.html))

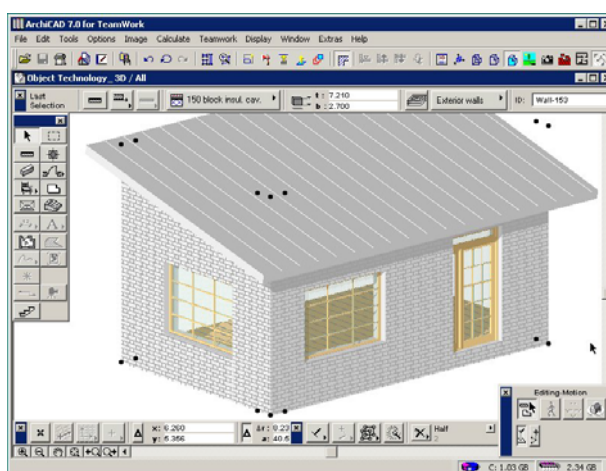


Figure 37 : Dessin à réaliser à l'aide d'un didacticiel d'ArchiCAD (vue extérieure)



Figure 38 : idem (vue intérieure)

## Exemple de didacticiel fourni avec le logiciel EDWIN

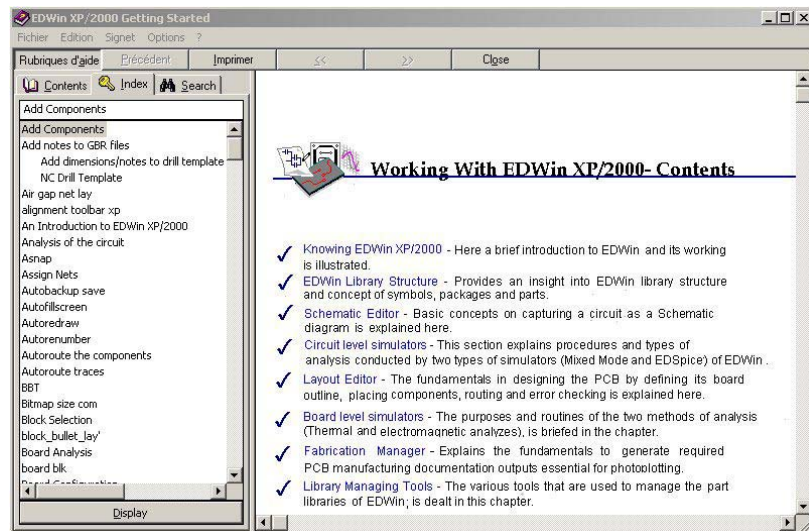


Figure 39 : Exemple d'une page d'aide du logiciel EDWIN

Exemple de schéma à reproduire à l'aide du didacticiel d'une école technique française (<http://perso.wanadoo.fr/louis.buades/Schema32.pdf>)

Structure à reproduire :

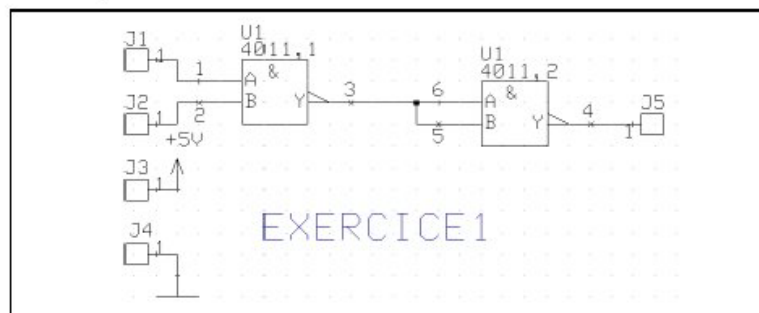


Figure 40 : Schéma à représenter

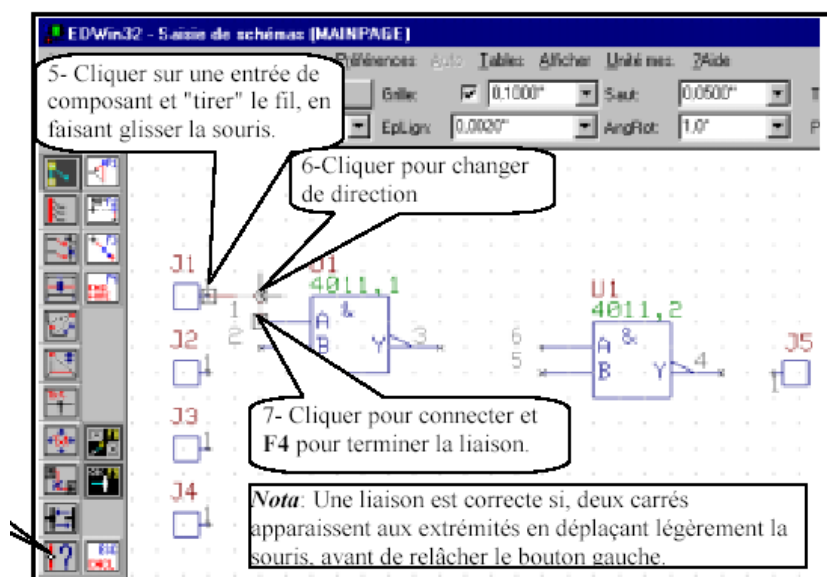


Figure 41 : Page du didacticiel écrit par l'enseignant de cette école

## 7 Mise en œuvre du dispositif pédagogique de 1995 à 2000

L'introduction du didacticiel et les leçons tirées de l'expérience des deux années précédentes impliquent quelques remaniements du dispositif pédagogique complet, tant au niveau des cours et des travaux pratiques que de l'évaluation des acquis. Le dispositif décrit ci-dessous débute l'année académique 1995-1996. Il se poursuivra jusqu'à l'année académique 1999-2000.

### 7.1 Cours et travaux pratiques

Le cours magistral subit quelques modifications d'organisation plutôt que de contenu. Il est toutefois important de noter que chaque cours est revu et amélioré en fonction des remarques des étudiants des années précédentes. La nouveauté est la mise à disposition d'un syllabus<sup>85</sup>. Celui-ci n'est pas la reproduction, in extenso, du cours magistral mais bien un complément d'information, un fil conducteur.

<sup>85</sup> Lejeune, M., Johnson, D., Tourpe, A., (1995), *Dessin Assisté par Ordinateur*, Notes de cours, FSA-UCL.

Il est divisé en cinq chapitres inspirés directement du déroulement du cours et d'une annexe :

- Le matériel et le logiciel : écran, souris, technique des couleurs, logiciels graphiques, ...;
- Le dessin en deux dimensions : entités de base, géométrie analytique 2D, exemple de PHIGS;
- La géométrie descriptive : opérations de base (Monge);
- Le dessin en trois dimensions: entités de base, géométrie analytique 3D, visualisation, exemple de PHIGS;
- Le transfert des informations : fichiers de type IGES, DXF, ....
- Annexe : Description des commandes d'AutoCAD;

Les travaux pratiques associés au cours de DAO connaissent plusieurs modifications même si, globalement, les objectifs et les contenus restent semblables par rapport à ceux des années précédentes (chapitre 1). Ces modifications sont principalement centrées sur l'utilisation du didacticiel lors de la première séance, la méthodologie du DAO davantage développée, et les tests.

Tableau 9 : Déroulement du cours de DAO de 1995 à 2000

Semaine	Cours magistral (2h)	Travaux pratiques (1h30)
1	Introduction au DAO ; Matériel et logiciels graphiques ; Technique des couleurs, des écrans, ... ; L'exemple graphique de GKS et PHIGS. Introduction au dessin 2D : Entités et opérations de base ; Exemples ;	
2	Suite du dessin 2D : Entités et opérations de base ; Exemples ;	Réalisation pas à pas d'un premier dessin 2D à l'aide du didacticiel : notions de limites, couches, quelques entités de base 2D et quelques opérations classiques de copie, coupure, ....



3	Géométrie analytique 2D : concepts de base.	Réalisation d'un dessin 2D de manière autonome : introduction d'entités 2D plus spécifiques au produit, outils d'auto-vérification, ... Restructuration des acquis par l'enseignant.
4	Géométrie descriptive : concepts de base (représentation du point, de la droite, du plan, intersections, parallèles, perpendiculaires).	Réalisation d'un nouveau dessin 2D au choix parmi trois proposés.
5	Introduction au dessin 3D (techniques fil de fer et surfaces) : Entités et opérations de base ; Projection parallèle ; Repères ; Exemples.	Exercices de géométrie analytique à 2 dimensions.
6	Introduction au dessin 3D (technique des volumes) : Entités et opérations de base ; Opérations booléennes ; Arbres CGS ; Exemples.	Test 2D : réalisation individuelle d'un dessin 2D comptant pour la note finale du cours
7	La visualisation dans PHIGS. Les transferts d'informations.	Manipulation des repères, vues et points de vue sur un dessin-exemple fourni aux étudiants (voir Figure 30).
8	Géométrie descriptive (rabattement, rotation, problèmes classiques).	Réalisation pas à pas et dirigée d'un dessin 3D en termes de "surfaces" : entités et opérations de base.
9	Géométrie analytique 3D : concepts de base.	Réalisation pas à pas et dirigée d'un dessin 3D en termes de "volumes" : entités et opérations de base.
10	Géométrie analytique 3D : concepts de base.	Réalisation d'un dessin 3D "volumes" de manière non dirigée.
11		Réalisation de dessins au choix (pièces mécaniques ou plans de bâtiment); Synthèse.
12		Exercices de géométrie analytique 3D

13		Test 3D : réalisation individuelle d'un dessin 3D comptant pour la note finale du cours.
Session juin	Examen écrit : géométrie analytique, géométrie descriptive, concepts DAO (3h30- 4h)	

## 7.2 Evaluation

La méthode d'évaluation adoptée précédemment est apparue trop lourde, tant pour les enseignants (contrôle trop rapide et superficiel de l'ensemble des dessins remis; examen oral et examen écrit pour 300 étudiants) que pour les étudiants (remise de tous les dessins 2D et 3D pour la dernière semaine du quadrimestre; surcharge des salles didactiques). Nous optons donc pour une évaluation plus "diluée" dans le courant du quadrimestre. C'est ainsi que nous organisons un test "2D" à la cinquième semaine de travaux pratiques, un test "3D" à la douzième semaine et un examen écrit en fin de quadrimestre.

Le premier test consiste en la réalisation individuelle, sur PC, d'un dessin 2D, en maximum 1h30. Celui-ci se fait sans l'aide de l'enseignant. L'étudiant dispose du syllabus, du didacticiel et de l'aide en ligne. Le second test a lieu dans les mêmes conditions, pour la réalisation d'un dessin 3D. L'examen écrit, quant à lui, reste inchangé et se déroule durant la session d'examens.

## 8 Description du premier didacticiel 2D

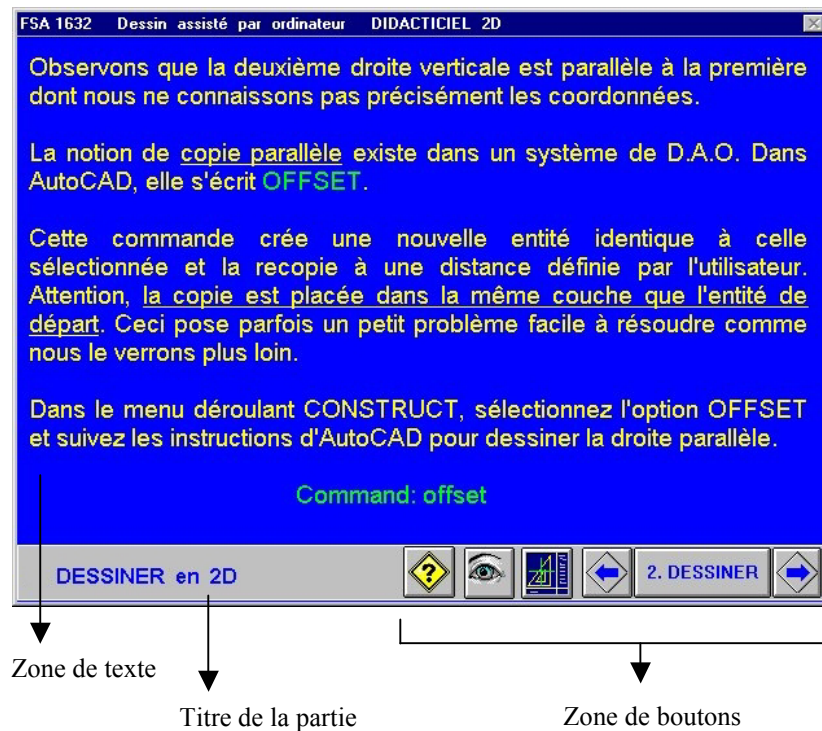


Figure 42: Une page du didacticiel 2D



permettant l'accès à une aide en ligne, constituée des commandes usuelles du logiciel AutoCAD®. Ce bouton est toujours accessible;



permettant de retourner à la table des matières de la partie "Dessiner en 2D". Ce bouton est toujours accessible;



permettant de passer respectivement à la page précédente / suivante. Ces boutons sont toujours accessibles hormis aux première et dernière pages;



permettant d'afficher à l'écran le dessin final à réaliser. Ce bouton est toujours accessible;



permettant d'afficher le dessin en cours de réalisation et tel que l'étudiant doit l'avoir déjà représenté parallèlement sur AutoCAD®. Le bouton est accessible quand l'étape présentée implique une modification du dessin.

Figure 43 : Zone de boutons

Dans le menu déroulant CONSTRUCT, sélectionnez l'option OFFSET et suivez les instructions d'AutoCAD pour dessiner la droite parallèle.

Command: offset

Hypermot (ou mot vert) lié au déroulement de la commande

Figure 44 : Premier type d'hypermot

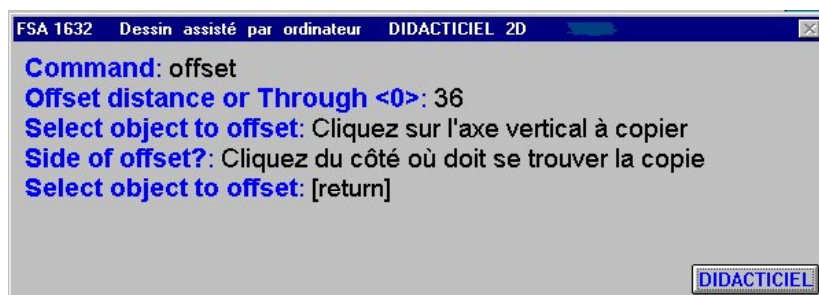


Figure 45 : La commande à introduire dans AutoCAD®, associée au premier type d'hypermot où sont écrites, en bleu, les informations données par AutoCAD® à la ligne de commandes et en noir, ce que l'utilisateur doit lui-même y introduire).

La notion de copie parallèle existe dans un système de D.A.O. Dans AutoCAD, elle s'écrit **OFFSET**.

Hypermot lié à l'aide en ligne

Figure 46 : Deuxième type d'hypermot

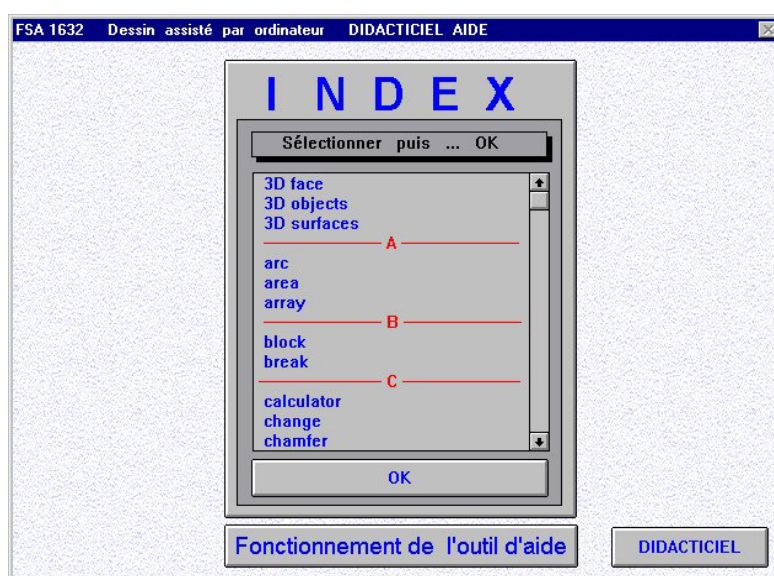


Figure 47 : Table des matières de l'aide en ligne constituée d'hypermot

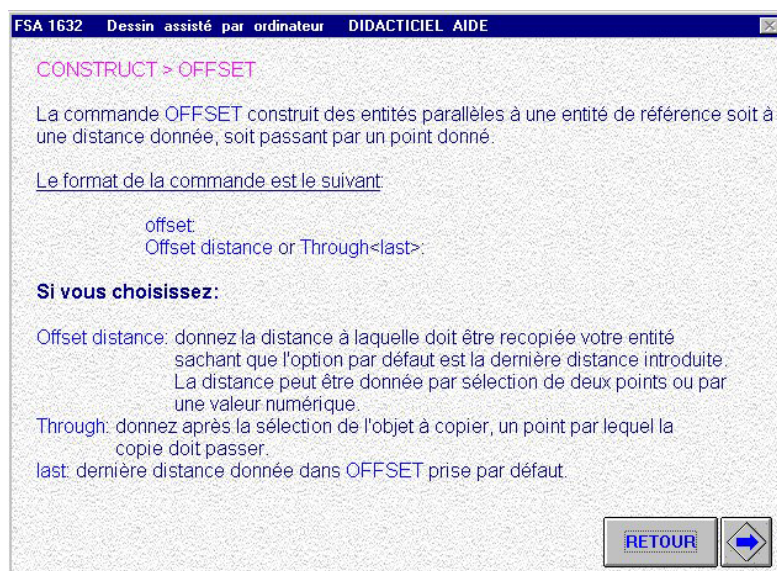


Figure 48 : Première page relative à la commande OFFSET dans l'aide en ligne

## 9 Etude statistique de l'expérience méthodologique

Données relatives aux dispositifs pédagogiques :

Tableau 10 : Variables des dispositifs

Variables	Valeurs	Interprétation
<b>netud</b>	1 0	Nombre d'étudiants travaillant par machine: - l'étudiant travaille seul sur sa machine; - l'étudiant travaille avec un voisin sur une seule et même machine.
<b>anal</b>	1 0	Rôle de l'enseignant concernant l'analyse du dessin lors de la deuxième séance d'exercices: - il résume une démarche d'analyse en début de séance; - il intervient ponctuellement en cours de séance.

Pour faciliter la compréhension, voici l'équivalent entre les noms des différents dispositifs et les variables décrites ci-dessus :

	<b>netud</b>	<b>anal</b>
<b>Dispositif A</b>	1	1
<b>Dispositif B</b>	1	0
<b>Dispositif C</b>	0	0
<b>Dispositif D</b>	0	1

Données relatives à la représentation du problème :

Pour démarrer, il apparaît important d'insister sur la définition de limites judicieuses. Deux variables, dont voici les valeurs possibles et l'interprétation, nous permettent de mesurer la qualité de la définition des limites :

Tableau 11 : Variables de *limites*

<b>Variables</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Interprétation</b>
<b>lim</b>	0	si les limites ne sont pas redéfinies par l'étudiant;
	1	si les limites sont redéfinies et adéquates par rapport au dessin;
	2	si les limites sont redéfinies mais non adéquates (carrées, trop grandes ou trop petites, "rectangle debout" ...);
<b>hlim</b>	0	si le dessin est correctement représenté dans les limites définies;
	1	si le dessin est représenté hors des limites définies.

Quatre variables, dont voici les valeurs possibles et l'interprétation, nous permettent de mesurer la qualité de la définition et de l'utilisation des couches :

Tableau 12 : Variables de *couches*

<b>Variables</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Interprétation</b>
<b>cch</b>	#	indiquant le nombre de couches définies. Par rapport aux dessins proposés un maximum de 5 couches sont généralement nécessaires (pièce mécanique, lignes de construction, lignes cachées, axes de la pièce, cotations);

<b>ncch</b>	1	si les noms utilisés pour les couches sont significatifs de leur contenu;
	0	si certaines couches portent des noms inadéquats ("layer1", "rouge", ...).
<b>vdch</b>	1	si certaines couches sont inutilement définies et vides;
	0	si, au contraire, toutes les couches sont utilisées.
<b>dsch</b>	1	si tous les éléments représentés sont dans les couches ad hoc;
	0	si certains éléments figurent dans des couches non adéquates.

Deux variables, dont voici les valeurs possibles, nous permettent de mesurer la qualité d'utilisation des traits d'axes, de construction et de profil :

Tableau 13 : Variable des *constructions et axes*

<b>Variables</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Interprétation</b>
<b>lclp</b>	1	si la gestion des lignes de construction et lignes de rappel est satisfaisante (ni trop, ni trop peu, selon le dessin à réaliser);
	0	sinon (cas d'un canevas de lignes de construction ou d'aucune ligne de construction, alors que minimum deux profils sont à aligner).
<b>lcax</b>	1	si les lignes de construction sont bien distinctes des axes de la pièce;
	0	sinon.

Deux variables binaires décrivent la présence ou non d'erreurs, lors de la lecture de plans et lors de la représentation des entités :

Tableau 14 : Variables de *précision*

<b>Variables</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Interprétation</b>
<b>ent</b>	1	si aucune erreur de lecture de plan n'est détectée;
	0	si au moins une erreur de lecture est détectée.
<b>prec</b>	1	si aucune erreur de précision (mauvaise coupure, non utilisation des outils d'accrochages adéquats, ...) n'est détectée;
	0	si au moins une erreur de ce type est détectée.



Les résultats globaux des tests de la séance, de la séance 5 et de la séance 12, sont décrits par les variables ci-dessous :

Tableau 15 : Variables des *notes globales 2D et 3D*

Variables	Valeurs	Interprétation
<b>seanc3</b>	#	note /10 appréciant le dessin 2D réalisé par l'étudiant en troisième semaine.
<b>test2D</b>	#	note /10 appréciant le dessin 2D réalisé par l'étudiant en cinquième semaine.
<b>test3D</b>	#	note /10 appréciant le dessin 3D réalisé par l'étudiant en dernière semaine.

Données relatives à la solution du problème :

Tableau 16 : Variables d'aides

Variables	Valeurs	Interprétation
<b>calc</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois utilisé sa calculatrice; l'étudiant ne l'a jamais utilisée;
<b>syll</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois utilisé son syllabus; l'étudiant ne l'a jamais utilisé;
<b>didac</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois utilisé le didacticiel; l'étudiant ne l'a jamais utilisé;
<b>notes</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois utilisé ses notes personnelles de cours; l'étudiant ne les a jamais utilisées;
<b>aide</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois utilisé l'aide en ligne; l'étudiant ne l'a jamais utilisée.

Tableau 17 : Variables des personnes ressources

Variables	Valeurs	Interprétation
<b>assis</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois demandé de l'aide auprès de l'assistant; l'étudiant ne lui a jamais fait appel;
<b>vois</b>	1 0	l'étudiant a au moins une fois fait appel à ses voisins; l'étudiants ne leur a jamais fait appel.

Données relatives à l'évaluation :

Tableau 18 : Variables d'auto-vérification

Variables	Valeurs	Interprétation
<b>dist</b>	1	l'étudiant a au moins une fois utilisé cet outil; l'étudiant ne l'a jamais utilisé;
	0	
<b>id-point</b>	1	l'étudiant a au moins une fois utilisé cet outil; l'étudiant ne l'a jamais utilisé;
	0	
<b>dim</b>	1	l'étudiant a au moins une fois utilisé cet outil; l'étudiant ne l'a jamais utilisé.
	0	

Test de normalité des données :

Tableau 19 : Valeurs des statistiques calculées

Variables	Valeur du $\chi^2$	N	p = <sup>(86)</sup>	Valeur du test de Kolmogorov-Smirnov	p =
<b>Groupe expérimental:</b>					
séance3	57.54	103	0.000	0.152	0.000
test2D	91.27	146	0.000	0.148	0.000
test3D	36.44	144	0.002	0.114	0.000
<b>Groupe contrôle :</b>					
test2D	76.95	159	0.000	0.131	0.000
test3D	75.87	154	0.000	0.153	0.000

<sup>86</sup> p = seuil de signification du test.

## 10 Environnements et didacticiels dans le cadre de l'APProj.

### L'environnement *FIRST*

Ci-dessous, on peut visualiser la page A4, telle qu'elle apparaît dès le chargement de *FIRST*

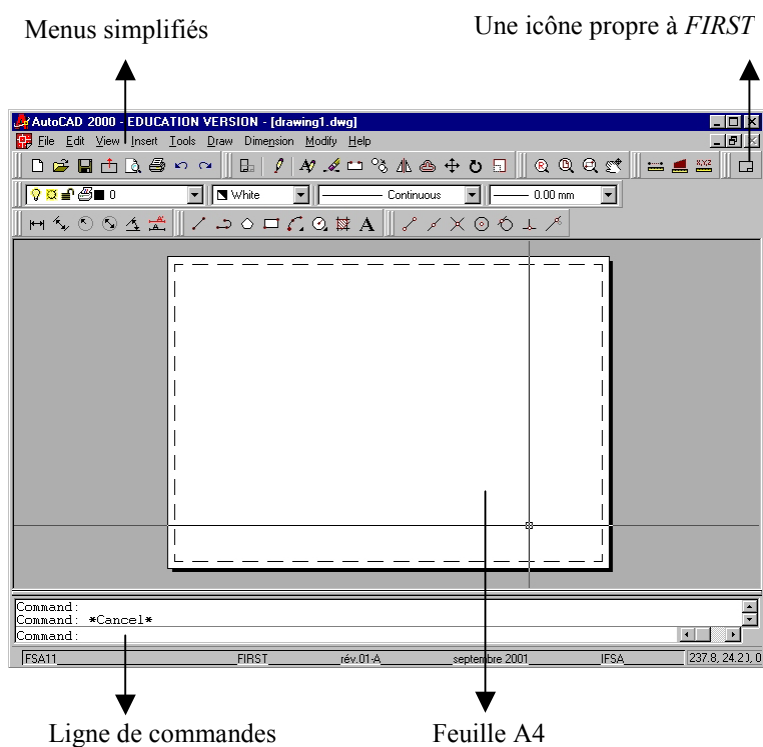
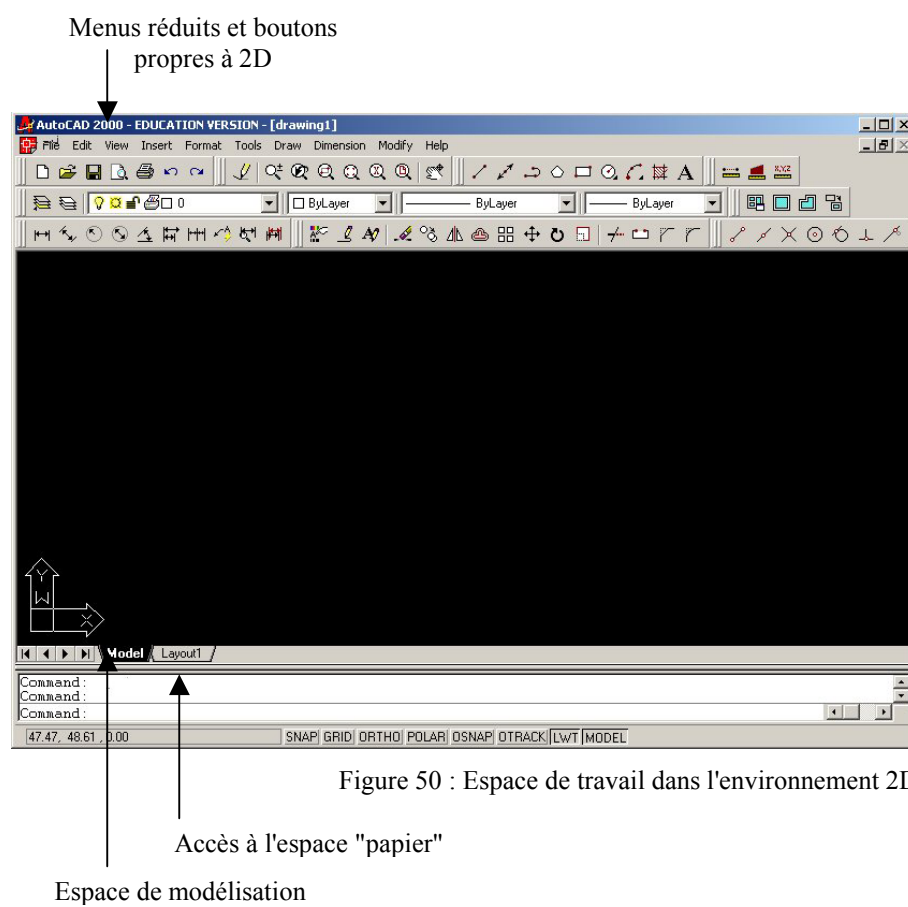


Figure 49 : Page de démarrage dans l'environnement *FIRST*

### Les environnements 2D, 3DS, 3V

Les environnements 2D, 3DS et 3DV sont semblables, aux menus près. Voici l'exemple de l'environnement 2D :



### L'environnement *ANIMATION*

Basé sur AutoCAD®, l'écran de *ANIMATION* se divise en quatre zones distinctes :

- les menus et icônes d'AutoCAD® devenus inaccessibles dans cette phase du travail
- la fenêtre graphique où vont d'abord s'assembler les différents corps et dans laquelle il sera possible de travailler les images du film;
- une fenêtre relative aux opérations principales de l'animation (sauvegarder, avancer, reculer image par image, ...);
- une zone, sous la fenêtre graphique, donnant accès à des opérations plus élaborées, telles que le changement de position de la caméra et de la cible, le long du parcours de leur système, les rendus réalistes d'images de qualités diverses, selon la taille des images choisie, les palettes de couleurs, l'intensité des lumières, etc., et la génération d'un film définitif de type vidéo.

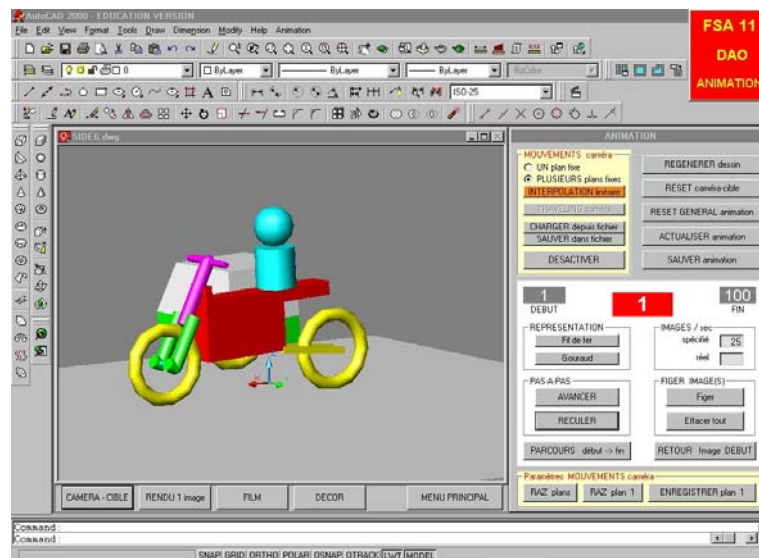


Figure 51 : L'environnement *ANIMATION* et un système multicorps 3D à animer.

Chronologie du dispositif

Tableau 20 : Déroulement du dispositif pédagogique pour le DAO dès 2000

<b>Trimestre 1 :</b>		
Semaines 1 à 6	(Dessin de conception)	
Semaine 7	Mise à disposition du "crayon électronique" (didacticiel et environnement <i>FIRST</i> )	Utilisation facultative Pas de cours magistral associé
Semaines 8 à 10		Monitorats libres
Semaine 11	Remise des rapports du premier projet trimestriel	Premiers dessins, réalisés avec <i>FIRST</i> , insérés dans les rapports (non évalués)

<b>Trimestre 2 :</b>		
Semaine 2	Eléments de base du dessin à deux dimensions (didacticiel et environnement <i>2D</i> )	Cours magistral Tutorat
Semaines 3 et 4		Tutorat
Début semaine 5	Eléments de base des schémas et circuits (didacticiel et environnement <i>CIRCUIT</i> )	Cours magistral Tutorat
Fin semaine 6	Remise des fichiers permettant l'impression des circuits	Tutorat
Semaines 7 et 8	Suite des dessins 2D	Tutorat
Semaine 9	Test 2D  Restructuration 2D et introduction 3D surfaces (didacticiel et environnement <i>3DS</i> )	Evaluation individuelle obligatoire Cours magistral
Semaine 11	Remise des rapports du second projet trimestriel Jury	Evaluation en groupe

<b>Trimestre 3 :</b>		
Semaine 1		Consultation individuelle facultative des tests 2D
Semaine 2	Eléments de base du dessin 3D volumes (didacticiel et environnement <i>3DV</i> )	Cours magistral Tutorat
Semaines 3 à 6		Tutorat
Semaine 7	Introduction aux éléments de l'animation (environnement <i>ANIMATION</i> )	Cours magistral Tutorat
Semaine 8		Tutorat
Semaine 9	Test 3D	Evaluation individuelle obligatoire
Semaine 10	Remise des films d'animation	Tutorat
Semaine 11	Remise du rapport du troisième projet trimestriel Jury	Evaluation en groupe
		Consultation individuelle et facultative des tests 3D





## Bibliographie

---

- Annoot, E., (1994), *Pratiques d'autoformation à travers l'utilisation de didacticiels, le cas des centres de formation d'apprentis*, ATER., IUT, Université du Havre, d'après sa thèse publiée en 1994 : *Les formateurs face aux NTF, l'exemple des enseignants des CFA*, sous la direction du professeur A. Kokosowski, Université de Rouen.
- Aubé, M., (1996), *Sur l'autoroute électronique, les voyages formeront-ils la jeunesse ?* Vie pédagogique, n° 98, MEQ, Montréal.
- Ball, M.J., Hannah, K.J., (1984). *Using computers in nursing*. Appleton Century crofts.
- Barbey, G., (1971), *L'enseignement assisté par ordinateur*, Collection E3, Casterman, Tournai, Belgique.
- Baron G.L., Baudé J., de la Passardière B., (1993), *Hypermédia et apprentissage*, actes des 2<sup>èmes</sup> journées scientifiques, Lille, mars 1993, EPI, CUEPP, INRP.
- Barrows H. S. (1992). *The tutorial process*. Springfield, IL: Southern Illinois University School of Medicine.
- Bédard, D., Tardif, J. et Meilleur (1996). *Evolution of student reasoning on a two-year basis in a problem based learning curriculum in medicine*, Resources in Education, 11, pp. 1-31.
- Boudon, P., Pousin, F. (1988). *Figures de la conception architecturale*. Les pratiques de l'espace, Dunod, p. 11.
- Bourgeois, E., Nizet, J., (1997), *Apprentissage et formation des adultes*, PUF, Paris.
- Bourgeois, E., Frenay, M., Bentein, K., Galand, B. (2003), *Aperçu historique des théories de l'apprentissage*, UCL, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Louvain-la-Neuve.
- Brush, (1997), *The effects on student achievement and attitudes when using integrated learning systems with cooperative pairs*, Education Technology Research and Development, 45(1), pp. 51-64.
- Caro, S., Bétrancourt, M., (1988), *Ergonomie des documents techniques informatisés : expériences et recommandations sur l'utilisation des organisateurs paralinguistiques*, in Tricot et Rouet, *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, Hermès, Paris.
- Carré, P., Moisan, A., Poisson, D., (1997). *L'autoformation*, PUF, Paris.

- Charlier, B., Daele, A., Docq, F., lebrun, M., Lusalusa, S., Peeters, R., Deschryver, N., (1999), *"Tuteurs en ligne" : quels rôles, quelle formation ?* Deuxièmes Entretiens internationaux du CNED sur l'enseignement à distance, Poitiers.
- Chevalier, P., (2000), Deuxième colloque mondial de l'Autoformation, Paris, Juin 2000.
- Choplin, H., Galisson, A., Lemarchand, S., (1998), *Hypermédia et pédagogie : comment promouvoir l'activité de l'élève ?*, Paris, in Rouet et de la Passardière.
- Cloutier, R., (1992). *La santé assistée par ordinateur*, Québec, 12 (1).
- Cohen, E. G. (1994). *Restructuring the classroom : Condition for productive small groups*. Review of Educational Research, 64(1), pp. 1-35.
- Collau, G., Gurtner, J.L., Coen, P.F., (1998), *Conception et utilisation d'un système hypermédia pour l'enseignement universitaire*, Université de Fribourg, in Rouet et de la Passardière.
- Conklin, J., (1987) *Hypertext: An Introduction and Survey*. IEEE Computer, vol. 20, n°9, pp. 17-41.
- Delièvre B., Depover, C., (2001), *Apports d'une modalité de tutorat proactive ou réactive sur l'utilisation des aides dans un hypermédia de formation à distance*, in De Vries, Pernin et Peyrin.
- Déro, M., Fenouillet, F., (2001), *EIAO / Logiprof : étude d'un dispositif d'apprentissages en ligne en formation diplômante à distance*. Actes des secondes journées IUFM – Trigone –Gerico, IUFM Nord Pas-de-Calais – Centre d'Arras, mai 2001.
- De Theux, M.N., Jacqmot, C., Milgrom, E., Raucent, B., sous la direction de Fraysse, B., (à paraître), *Professionnalisation des ingénieurs*, INSA, Toulouse.
- De Volder, M.L., Schmidt, H.G., (1982). *Tutor : Inhoudsdeskundige of procesbegeleider ?* In H.G. Schmidt Ed., *Probleemgestuurd onderwijs*. Harlingen, The Netherlands : Stichting voor onderzoek van het onderwijs.
- De Vries E., Pernin J-Ph., Peyrin J.P., (2001), *Hypermédiat et apprentissages*, actes du 5<sup>ème</sup> colloque, Grenoble, avril 2001, INRP et EPI.
- Dieuzeide, H., (1994). *Les nouvelles technologies*, Nathan pédagogie, Paris.
- Dillenbourg, P., Eurelings, A., Hakkarainen, K., (2001), *Pourquoi s'engager dans les technologies éducatives ?* Proceedings of the European Conference on Computer Supported Collaborative Learning, Maastricht, The Netherlands.
- Dubeau, A. (1999). *Analyse d'une démarche de résolution de problèmes chez des étudiants de deuxième année du baccalauréat en ingénierie civile*. Mémoire de maîtrise. Université de Sherbrooke. Sherbrooke. Canada.
- Dubois, M., Tajariol, F., (2001), *Représentation multimodale de l'information et apprentissage*, in De Vries, Pernin et Peyrin.
- Dubois, M., Vial, I., Bollon, T., (1998). *Conception multimodale : quelques orientations possibles*, Grenoble, in Rouet, de la Passardière

- Dubreuil, C., Leblanc, H., Simoneau, I., (1995). *Perceptions de l'auto-efficacité* In A.R.C. (Ed): Actes du 7<sup>ème</sup> colloque de l'A.R.C. – Sciences, technologie et communication, Montréal.
- Dufresne, A., (2001), *Modèles et outils pour définir le soutien dans les environnements hypermédias d'apprentissage*, Université de Montréal, in De Vries, Peyrin et Pernin.
- Duggan, T., (1995), *Engineering education in the context of lifelong learning*. Australian Journal of engineering education, vol 6, n° 1.
- Dwyer, D., (1994), *Apple classrooms of tomorrow : what we've learned*, Educational leadership, 51(7).
- Field, A., (2003), *Discovering statistics using SPSS for Windows*, SAGE publications, London.
- Fleury, M., (1993), *L'enseignement assisté par ordinateur : que faut-il en penser ?* Faculté des Sciences de l'Education, Université Laval.
- Foss, C.L., (1989) *Detecting lost users*
- Frenay, M. (1998). *Favoriser un apprentissage de qualité*. In M. Frenay, B; Noël, P. Parmentier & M. Romainville. *L'étudiant-apprenant*. Bruxelles : De Boeck, pp. 111-128.
- Frenay, M., Bédard, D., (sous presse), *Des dispositifs de formation universitaire s'inscrivant dans la perspective d'un apprentissage et d'un enseignement contextualisés pour favoriser la construction de connaissances et leur transfert*. Université catholique de Louvain, Belgique et Université de Sherbrooke, Canada.
- Frenay, M. Bourgeois, E. (1998). *Using Case Studies to Structure Didactical Interactions*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association, San Diego (CA), April 1998.
- Frey, K., (1988), *Auswirkungen der Computerbenutzung im Bildungswesen : Ein Ueberblick über den heutigen Stand des empirischen Wissens*, ETH Zürich.
- Gagné, R.M., Wagner, W., Rojas, A., (1981), *Planning and authoring computer-assisted instruction lessons*, Educational Technology 21(9).
- Gauthier, P., (2001), *L'état de l'art de l'autoformation et des nouvelles technologies éducatives pour des entreprises cognitives*, Travaux réalisés dans le cadre d'un DESS Ingénierie de Formation de l'Université de ROUEN et du CNED, janvier 2001.
- Grabe, C., Grabe, M., (1996). *Integrating technology for meaningful learning*.
- Grégoire, R., Bracewell, R., Laferrière, T., (1996). *L'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication à l'apprentissage des élèves du primaire et du secondaire : revue documentaire*. Université Laval et Université McGill.

- Hannafin, M.J., Land, S., Oliver, K., (1999), *Open learning environnements : foundations, methods and models*, in Reigeluth C.M., *Instructional design theories and models*, Vol 2, *A new paradigm of instructional theory*, Mahwah, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associated, n° 7, pp 115-140.
- Hannafin, M.J., Peck, K.L. (1988), *The design development and evaluation of instructional software*, McMillan publishing company, New York.
- Hargis, J., (2000), *The self-regulated learner advantage : learning science on the Internet*, University of north Florida, Electronic Journal of Science Education, vol 4, n° 4, juin 2000.
- Houziau, M.O., (1972), *Vers l'enseignement assisté par ordinateur*, Collection Sup, PUF, France.
- Jacquinet, G., (1997), *Nouveaux écrans du savoir ou nouveaux écrans aux savoirs*, in Collectif, *Apprendre avec le multimédia : où en est-on*, Pédagogie Retz, Paris.
- Jay, T.B., (1983), *The cognitive approach to computer courseware design and evaluation*, Educational Technology 32(1).
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., (1979), *Conflict in the classroom : Controversy and learning*. Review of Educational Research, 49, pp. 51-69.
- Johnson, D.W., Maruyama, G., Jonson, R.T., Nelson, D., Skon, L., (1981), *Effects of cooperative, competitive and individualistic goal structures on achievement : a meta-analysis*. Psychological bulletin, 89, pp. 47-62.
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., (1991), *Learning together and alone : cooperation, competition and individualization*, 3ème édition, Englewood Cliffs, NJ: prentice Hall.
- Knight, P., Yorke, M., (2003), *Assessment, Learning and Employability*, The Society for Research in Higher Education and the Open University Press, Buckingham.
- Kulik, J.A., Kulik, C.L., Cohen, P.A., (1980). *Effectiveness of Computer-based teaching : A meta-analysis of findings*. Review of Educational Research, 50 (4), 525-544.
- Laferrière, T., (1997), *Réaliser la mission éducative, celle de libérer l'humain, avec les NTIC*. Conférence d'ouverture du 15<sup>ème</sup> colloque de l'AQUOPS.
- Land, S.M., Hannafin, M.J. (1997). *Patterns of understanding with open-ended learning environnement: a qualitative study*, Educational Technology, Research and Development, vol. 45, n° 2, pp. 47-73.
- Lebrun, M., (1999), *Des technologies pour enseigner et apprendre, Perspectives en éducation*, De Boeck Université, Bruxelles, Belgique.
- Lebrun, M., (2002), *Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre : Quelle place pour les TIC dans l'éducation ?*, Perspectives en éducation et formation, De Boeck Université, Bruxelles, Belgique.

- Lebrun, M., Laloux, A., (1996), *Les ressources technologiques auxiliaires des méthodes pédagogiques dans la problématique des grands groupes. Bonne conscience ou facteur d'efficacité ?* IPM, UCL, Louvain-la-Neuve.
- Lebrun, M., Vigano R., (1996). *De l'"Educationnel Technology" à la technologie pour l'éducation*, Les Cahiers de la recherche en éducation, Université de Sherbrooke, vol. 2, n. 2.
- Lemaître, D., (2000), *La pédagogie de projet dans la formation des ingénieurs : conceptions et enjeux*, Ensietia, Brest.
- Lewis, S., O'Brien, G., George, J., (1998), *Using the construction of a science education web site as a focus of a directed study course in undergraduate elementary science education*. Florida International University and Miami-Dade County Public Schools, Electronic Journal of Science Education, vol 3, n° 2.
- Linard, M., (1990), *Des machines et des hommes, apprendre avec les nouvelles technologies*, Paris, Editions universitaires.
- Linard, M., (2000), *L'autonomie de l'apprenant et les TIC* dans Actes Réseaux humains/Réseaux technologiques, présence à distance, OAVUP, Université de Poitiers, Maison des Sciences de l'Homme et de la Société, 24 Juin 2000 - CRDP Poitiers, pp. 41-49.
- Lou, Y., Abrami, P.C., d'Apollonia, S., (2001), *Small group and individual learning with technology : A meta-analysis*, Review of Educational Research, vol. 71, n° 3, pp. 449-521.
- Ludi, J.C., (1989). *La perspective "pas à pas" : Manuel de construction graphique de l'espace et tracé des ombres*. Les pratiques de l'espace, Dunod, Paris.
- Martegani, Denis, Huynen (1976), *Pédagogie de l'enseignement supérieur. Innovations dans le programme et dans le processus d'enseignement*. European Association for research and Development in Higher Education, actes du congrès, volume 2, p. 560, Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Mayer, R.E., (1999), *Designing instruction for constructivist learning*, in Reigeluth C.M., *Instructional design theories and models*, Vol 2, *A new paradigm of instructional theory*, Mahwah, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associated, n° 7, pp 141-159.
- Mayo E., (1933), *The humans problems of an industrial civilization*, McMillan.
- McKee (1997), W., *Microprocessor technology by Computer-Aided Learning*, Global Journal of Engineering Education, Vol 1, n°2, Australia.
- Meirieu, P., (1984). *Outils pour apprendre en groupe. Vol. 2, Apprendre en groupe ?*. Lyon: Chronique Sociale.
- Meirieu, P., (1996), *Les méthodes en pédagogie; Entretien avec Philippe Meirieu*, Sciences humaines, hors série n°12, février/mars 1996, pp 22-24.

- Monteil, J.M., (1996), *L'élève peut puiser dans les ressources sociales du groupe; Entretien avec Jean-Marc Monteil*, Sciences humaines, hors série n°12, février/mars 1996, p. 386.
- Moust, J., Schmidt, H., De Volder, M., Bélien, J., De Grave, W., (1986), *Effects of verbal participation in small-group discussion and learning*, in Richardson, J., Eyskens, M., Piper, D., *Student learning : Research in education and cognitive psychology*, Guilford, UK : Society for Research into Higher Education, pp 147-155.
- Naymark, (1999), *Guide du multimédia en formation : bilan critique et prospectif : impact des technologies de la formation et de la communication (TIC), formation ouverte et à distance, nouveau rôle des formateurs*, Retz, Paris.
- Palincsar, A.S., Brown, A.L. (1984). *Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities*. Cognition and Instruction, vol. 1, n° 2, pp. 117-175.
- Perrenoud, P., (1999), *Apprendre à l'école à travers des projets : pourquoi ? comment ?*, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève.
- Perrenoud, P., (2003), *Mettre les démarches de projet au service du développement de compétences ?* Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève.
- Piaget, J. (1969), *Logique et connaissance scientifique*, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard, Paris.
- Pochet, B. (1995), *Le "Problem based learning", une révolution ou un progrès attendu ?* Revue française de Pédagogie, n°111, pp 95 à 107.
- Poissant, H. (1995). *Les problèmes et leurs stratégies de résolution*. Vie Pédagogique, 92, pp. 39-42.
- Qin, Z., Johnson, D.W., Johnson, R.T., (1995), *Cooperative versus competitive efforts and problem solving*, Review of Educational Research, vol. 65, n° 2, pp. 129-143.
- Quinrand, P., (1985), *La CAO en architecture*. Traité des nouvelles technologies, Hermès, Paris, p.59.
- Redon, M., (1996). *Autoformation : quels outils pour l'apprentissage*, CNEAO, Actes du colloque : Outils multimedia et stratégies d'apprentissage du Français Langue Etrangère, Université de Paris VI et Paris VII.
- Roegiers, X., (2000), *Une pédagogie de l'intégration. Compétences et intégration des acquis dans l'enseignement*, De Boeck Université, Bruxelles.
- Romainville, M., Donnay, J., (1999), *L'apprentissage par problèmes*, Service de pédagogie universitaire, Réseau, n°44, mars 1999.
- Rouet, J.F., (1997), *Le lecteur face à l'hypertexte*, in Collectif, *Apprendre avec le multimédia : où en est-on*, Pédagogie Retz, Paris.

- Rouet, J.F., de la Passardière, B., (1998), *Hypermédias et apprentissages*, Actes du 4<sup>ème</sup> colloque, Poitiers, octobre 1998.
- Ruano-Borbalan, J.C., (1998), "Eduquer et former", Editions Sciences humaines, Auxerre, France, p. 7.
- Schmidt, H., (1994), *Resolving inconsistencies in tutor expertise research : lack of structure causes students to seek tutor guidance*. Academic Medicine, 69, pp. 656-662.
- Schmidt, H., Moust, J., (2000), *Factors affecting small-group tutorial learning : A review of research*, extrait du livre *Problem-based learning : a research perspective on learning interactions*, Edited by Dorothy H. Evensen e.a. ; [foreword by Howard Barrows], Mahwah (N.J.): Erlbaum, Lawrence, Associates.
- Schmidt, H., Van der Arend, A., Moust, J., Kokx, I., Boon, L., (1993), *Influence of tutor's subject-matter expertise on student effort and achievement in problem-based learning*. Academic Medicine, 68, pp. 784-791.
- Schoenfeld, A.H. (1987). *What's all the fuss about metacognition?* In A.H. Schoenfeld (dir.) *Cognitive science and mathematics education*, Hillsdale, NJ: Erlbaum, Lawrence, pp. 189-215.
- Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical problem solving*. Orlando, FL: Academic Press.
- Scott, N., Stone, B., (1998), *A flexible Web-based tutorial system for engineering, maths and science subjects*. Global Journal of Engineering Education, vol 2, n° 1, Australia.
- Séjourné, A., (2001), *Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves : le cas de "Labdoc Son et Vibrations"*, Thèse en sciences de l'éducation de l'Université Lumière, Lyon 2.
- Springer, L., Stanne, M.E., Donovan, S.S., (1999), *Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering and technology : a meta-analysis*. Review of Educational Research, vol. 69, n°1, pp. 21-51.
- Swanson, D., Stalenhoef-Halling, B., Van der Vleuten, C., (1990), *Effects of tutor characteristics on test performance of students in a problem-based curriculum*. In W. Bender, R. Hiemstra, A. Scherpbier, R. Zwierstra (Eds.), *Teaching and assessing clinical competence*, Groningen, the Netherlands: Boekwerk Publications, pp 129-133.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., Cooper, M., (1990), *Cognitive load as a factor In the structuring of technical material*, Journal of experimental psychology, vol. 119, n°2.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique: l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal: Éditions Logiques.

- Tardif, J. (1996). *Une condition incontournable aux promesses des NTIC en apprentissage : une pédagogie rigoureuse*. Conférence d'ouverture du 14<sup>ème</sup> colloque de l'AQUOPS.
- Tardif, J., Meirieu, P., (1996). *Stratégies pour favoriser le transfert des connaissances*. Vie Pédagogique, 98, 4 -7.
- Tourpe, A., Dubeau, A., Frenay, A., Lejeune, M.. (1999). *L'apprentissage du Dessin Assisté par Ordinateur en 1<sup>ère</sup> année de formation d'ingénieurs : effets de dispositifs pédagogiques pour démarrer la réalisation de dessins*, Res Academica, vol. 17, n<sup>os</sup> 1 et 2, pp. 59-76, Montréal.
- Tourpe, A., Frenay, M., Lejeune, M., (2002) *L'apprentissage "autonome" du Dessin Assisté par Ordinateur en 1<sup>ère</sup> année de formation d'ingénieurs : recherche d'une méthodologie adaptée*, communication lors du 19<sup>ème</sup> colloque de l'AIPU, Louvain-la-Neuve.
- Tricot, A., (1993). *Stratégies de navigation et stratégies d'apprentissage : pour l'approche expérimentale d'un problème cognitif*.
- Tricot, A., (1995). *Modélisation des processus cognitifs impliqués par la navigation dans les hypermédias*. Thèse de l'université de Provence en Psychologie cognitive.
- Tricot, A., Bastien, C., (1996). *La conception d'hypermédias pour l'apprentissage : structurer des connaissances rationnellement ou fonctionnellement ?* In E. Bruillard, J.M. Baldner et G.L. Baron Eds., *Hypermédias et apprentissages 3*. Paris, Presses de l'INRP.
- Tricot, A., Rufino, A., (1998). *L'interactivité au service des apprentissages : effets des modalités d'interaction vs effets du scénario d'interaction*. In C. Meunier et G. Jacquinet Eds., *Revue des sciences de l'éducation (Canada)*, numéro spécial, nov. 98.
- Tricot, A., Pierre-Demarcy, C., El Boussaghini, R., (1998), *Définitions d'aide en fonction des types d'apprentissages dans des environnements hypermédias*, in Rouet et de la passardière.
- Van Dam, A., (1988), *A hypertext '87 Keynote address*, Communications of the ACM, 31(7), juillet 88.
- Wankat, (1999), *An Analysis of the Articles in the Journal of Engineering Education*. *Journal of Engineering Education*, vol 88 no 1.
- Webb, (1983), *Predicting learning from student interactions, defining the interaction variable*, Educational Psychologist, 18.
- Webb, (1991), *Task related verbal interaction and mathematics learning in small groups*, Journal of research in mathematics education, 22.
- Zywno, M., Brimley, W., White, W., (2000), *Effective integration of multimedia courseware in engineering education at Ryerson Polytechnic University*, Global Journal of Engineering Education, Vol 4, n<sup>o</sup> 1, Australia.



## Table des matières

---

Avant-propos .....	3
Introduction .....	7
Chapitre 1 : Pratiques d'enseignement du DAO .....	13
1    Dessin classique ou dessin assisté .....	13
2    Le dessin et les ingénieurs .....	19
3    Objectifs d'un enseignement du DAO .....	20
3.1    Objectif général .....	20
3.2    Objectif de contenus propres à la discipline .....	21
3.3    Objectifs mathématiques .....	23
3.4    Objectifs techniques .....	25
3.5    Objectifs méthodologiques et de savoir-être .....	25
3.6    Objectifs de communication .....	28
3.7    Deux hypothèses supplémentaires .....	28
4    L'enseignement du DAO à l'UCL .....	31
4.1    Objectifs du cours .....	31
4.2    Mise en œuvre du dispositif pédagogique .....	32
4.3    Analyse des difficultés rencontrées .....	33
5    L'enseignement du DAO hors UCL .....	37
5.1    Analyse de l'existant sur le réseau Internet .....	37
5.2    Analyse de l'existant dans les formations diplômantes .....	40
6    Questions de recherche .....	42
7    Conclusion .....	47
Chapitre 2 : Dispositifs pédagogiques de méthodes actives .....	51
1    Introduction .....	52
2    Le travail en groupe .....	55
2.1    Conditions d'efficacité .....	55
2.2    Impacts du travail en groupe .....	59
3    L'apprentissage par projets .....	62
3.1    Intérêt du projet .....	62
3.2    Impacts de l'apprentissage par projets (APProj) .....	65
4    Conclusion .....	66
Chapitre 3 : Outils technologiques favorisant l'apprentissage autonome .....	69
1    Les "machines à enseigner" .....	69

2	Aide technologique à la formation .....	74
3	Impacts de l'enseignement assisté .....	76
3.1	Auprès des étudiants.....	77
3.2	Auprès des enseignants.....	79
3.3	A propos des contenus enseignés .....	82
4	Développement d'un outil d'aide .....	83
4.1	Qualités générales du concepteur .....	83
4.2	Qualités générales d'un didacticiel .....	86
5	Conclusion.....	92
Chapitre 4 : Développement et mise à l'épreuve d'un didacticiel 2D.....		97
1	Scénario proposé .....	97
2	Réalisation du didacticiel .....	100
2.1	Présentation générale du didacticiel .....	101
2.2	Conception d'une page.....	102
2.3	Aides.....	102
2.4	Auto-vérification .....	103
3	Observations des étudiants par les enseignants .....	103
3.1	Lors de la première séance de travaux pratiques .....	104
3.2	Lors des séances suivantes .....	108
3.3	A propos de l'évaluation .....	108
4	Réactions des étudiants face aux didacticiels.....	109
4.1	Du point de vue de la présentation .....	110
4.2	Du point de vue des contenus .....	110
4.3	Du point de vue de la méthodologie .....	111
5	Conclusion.....	113
Chapitre 5 : Rôle de l'enseignant et de l'apprentissage en groupes.....		117
1	Revue critique de la littérature .....	117
2	Méthodologie de la recherche .....	120
2.1	Question-problème .....	120
2.2	Echantillon.....	121
2.3	Dispositif expérimental .....	121
2.4	Déroulement de l'expérience .....	124
3	Mesure des variables .....	130
3.1	Variables relatives aux quatre dispositifs pédagogiques .....	130
3.2	Mesure de la qualité des dessins .....	131
4	Effets observés des différents dispositifs pédagogiques.....	137
4.1	Caractéristiques de l'échantillon .....	138
4.2	Impact des dispositifs pédagogiques sur les tests 2D et 3D.....	138
4.3	Impact des dispositifs pédagogiques sur le groupe expérimental .....	140
5	Conclusion.....	149

Chapitre 6 : Auto-apprentissage tutoré dans un contexte d'APPProj	151
1 Les grandes lignes du nouveau projet pédagogique	151
1.1 Les principes pédagogiques	152
1.2 Les dispositifs pédagogiques	154
2 Le DAO dans le contexte de la réforme : les choix pédagogiques	155
2.1 Du point de vue du dispositif pédagogique	157
2.2 Du point de vue des contenus	159
3 Outils et environnements	160
3.1 Le "crayon électronique"	160
3.2 Deux dimensions et éléments de CAO	163
3.3 Trois dimensions et images de synthèse	170
4 Développement technique des didacticiels et environnements	177
5 L'organisation de l'enseignement	179
6 Evaluation des connaissances	182
7 Impact du dispositif pédagogique	183
7.1 Caractéristiques des populations	183
7.2 Comparaison globale des deux groupes 2000-2001 et 2001-2002	184
7.3 Impact du tutorat	185
7.4 Impact du projet sur les résultats globaux	188
8 Conclusion	189
Discussion	191
1 Les outils d'aide à l'apprentissage autonome	191
1.1 L'utilisation de didacticiels	192
1.2 La qualité des didacticiels	194
2 Le travail en groupe	196
3 La nature de la tâche	198
4 Le rôle de l'enseignant	203
Conclusion	207
Annexes	215
1 Chronologie des expériences	215
2 Application de règles de géométrie descriptive	215
3 Le cours de DAO à l'UCL de 1993 à 1995	217
4 Difficultés rencontrées lors des premiers cours de DAO	221
4.1 Dessin en deux et en trois dimensions	222
4.2 Exercices de géométrie analytique	234
5 Conséquences de l'analyse d'un nouveau dessin	235
6 Exemples de didacticiels issus des sites WEB	237
7 Mise en œuvre du dispositif pédagogique de 1995 à 2000	239
7.1 Cours et travaux pratiques	239
7.2 Evaluation	242

---

8	Description du premier didacticiel 2D .....	243
9	Etude statistique de l'expérience méthodologique.....	246
10	Environnements et didacticiels dans le cadre de l'APProj.....	251
	Bibliographie .....	257
	Table des matières .....	265