

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 ordinateur⁵⁵. Cette étape d'analyse est comparable à ce que les chercheurs en résolution de problèmes nomment la *représentation du problème*.

⁵⁵ 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 résolveur⁵⁶ 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.

⁵⁶ 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 tuteur⁵⁷; 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 tutorat⁵⁸ 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

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

⁵⁸ 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.

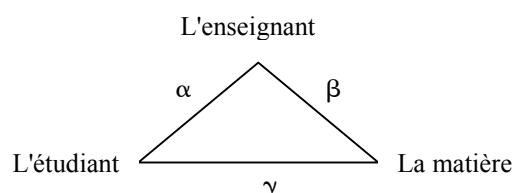
2.2 Echantillon

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 (α); la transmission de la matière (β) ou les étudiants l'apprenant (γ).

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'enseignant⁵⁹ 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;

⁵⁹ 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, ...) $\Rightarrow$ 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 réflexion⁶⁰.

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.

⁶⁰ 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 finale⁶¹ 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

⁶¹ 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 final⁶¹ (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.

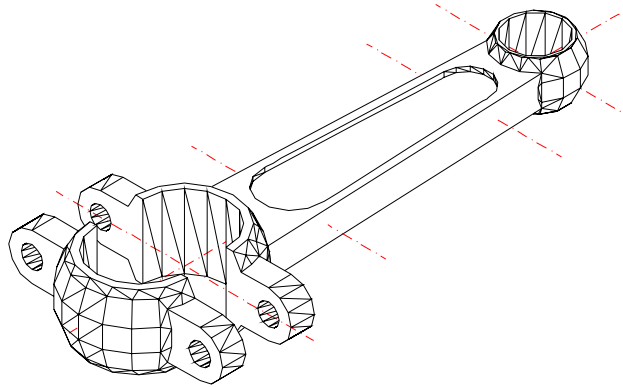


Figure 4 : Dessin 3D - bielle

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 modélisation⁶² 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

⁶² 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.

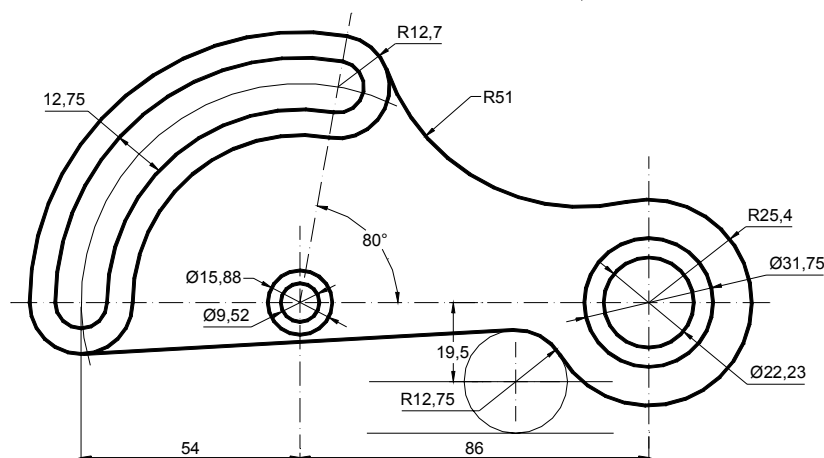


Figure 5 : Exemple de traits d'axe et de construction

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, DIST⁶³ (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.

⁶³ 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 tests⁶⁴ 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 paramétriques⁶⁵.

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

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

⁶⁵ 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.

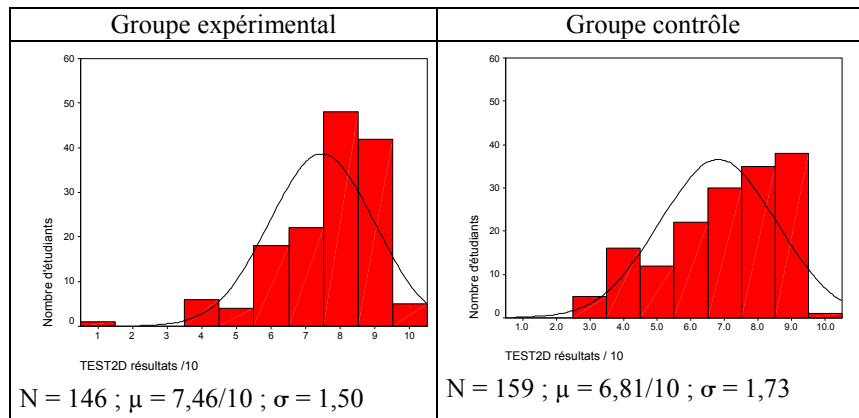


Figure 6 : Histogrammes "Test 2D"

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.

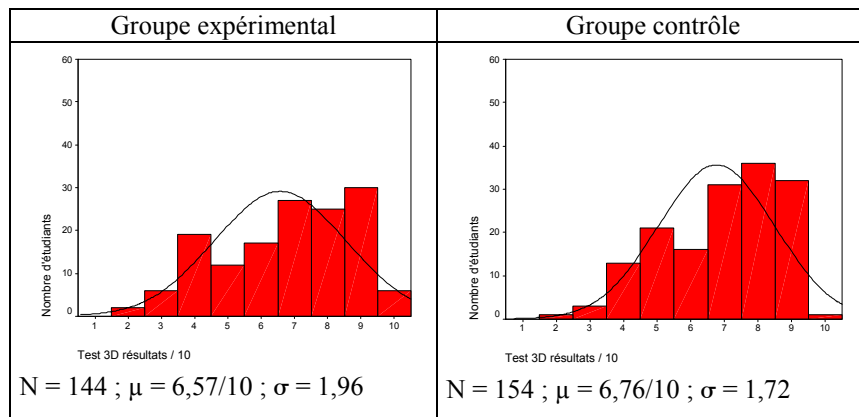


Figure 7 : Histogrammes "Test 3D"

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 ⁶⁶	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.

⁶⁶ 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).

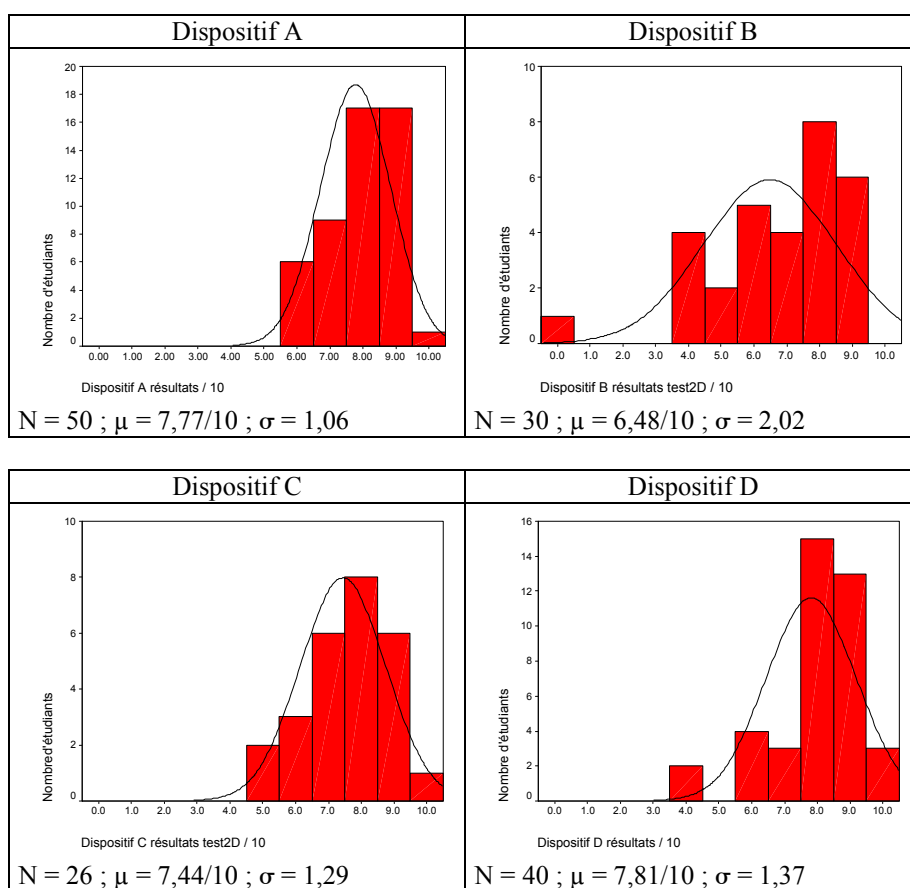


Figure 8 : Histogrammes des sous-groupes du groupe expérimental pour le test 2D

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.

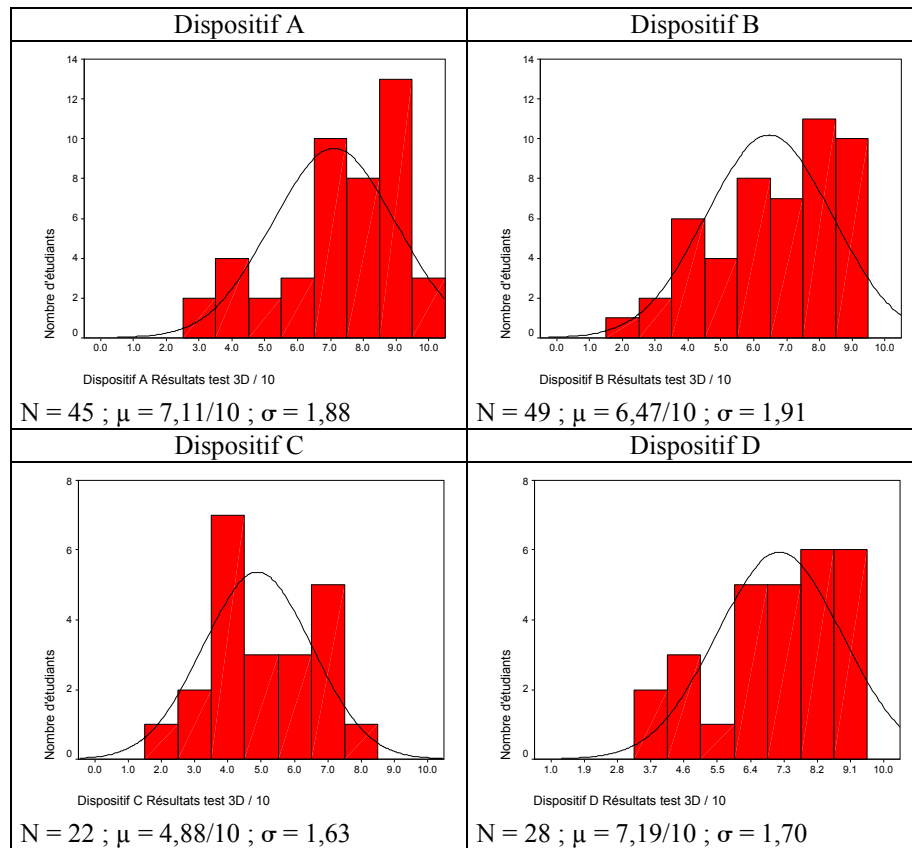


Figure 9 : Histogrammes des sous-groupes du groupe expérimental pour le test 3D

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.