

MARIE-CLAIRE RIBEIRO PÓLA

GDVISU@L
UNE APPROCHE INTERACTIVE
POUR UN MEILLEUR APPRENTISSAGE DE LA
GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

Thèse
présentée
à la faculté des études supérieures
de l'Université Laval
pour l'obtention
du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D)

Département des études sur l'enseignement et l'apprentissage
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

NOVEMBRE 2000

© Marie-Claire Ribeiro Póla, 2000



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*

Our file *Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-56844-X

Canada

Résumé

La présente recherche nous a permis de concevoir, de développer et d'évaluer un système d'apprentissage multimédia interactif. Le système a été bâti pour faciliter l'apprentissage de la géométrie descriptive, domaine dans lequel les étudiants ont des difficultés de visualisation spatiale. L'approche pédagogique privilégiée a été le constructivisme. Les activités et les exercices ont été créés de façon à ce que l'étudiant puisse manipuler des images pour construire ses concepts. Le système fonctionne sur Internet et invite l'étudiant à découvrir, à jouer, à résoudre des énigmes, à revoir ses erreurs. Tout ce que l'étudiant fait est enregistré sur le serveur, ce qui permet au professeur de faire un diagnostic et une évaluation de l'étudiant. Le système a été évalué par un groupe d'étudiants, par des experts en géométrie descriptive et en technologie éducative. Un modèle d'analyse qualitative a été adopté pour permettre le recueil et l'analyse des données générées par ces individus. Les résultats obtenus indiquent que le but de la recherche a été atteint.

RÉSUMÉ

La présente recherche, de type développement, nous a permis de concevoir, de développer et d'évaluer un système d'apprentissage multimédia interactif qui fonctionne sur Internet, sur la géométrie descriptive, discipline de base dans les cours d'architecture et de génie.

L'approche pédagogique adoptée a été le constructivisme. L'étudiant suit un cheminement proposé par le système dans lequel il peut manipuler des images, observer des animations, répondre à des questions et, quand il fait une erreur, recevoir des objets d'interventions : indices en forme de texte ou à travers des images ou des animations. Le guidage est également fait à distance par un professeur via Internet. Le système a été conçu de façon à faciliter la visualisation spatiale, une des grandes difficultés rencontrées par les étudiants dans la compréhension de la géométrie descriptive. Les activités et les exercices ont un cadre ludique et représentent des défis pour l'étudiant.

L'évaluation du système a été faite auprès d'un groupe d'étudiants brésiliens, avec qui nous avons analysé systématiquement l'impact d'un tel environnement. Un modèle d'analyse qualitatif a été adopté pour permettre le recueil et l'analyse des données générées par les étudiants sous forme d'entrevues semi-structurées. Les apprenants ont exprimé leur appréciation en faisant ressortir des éléments reliés à leur perception du système, aux types d'activités, aux aspects techniques du système : interactivité, interfaces, contrôle, navigation, encadrement, etc. Le système a été aussi évalué par des experts en géométrie descriptive et par des experts en technologie éducative. Les premiers ont donné leur avis sur les aspects pédagogiques, l'organisation du contenu, l'approche adoptée, la façon d'utiliser le système, etc. Les seconds ont donné leur opinion sur les aspects de la médiatisation comme l'interactivité, la navigation, le contrôle, organisation des interfaces.

D'une façon générale, les opinions des étudiants et des experts ont été favorables et la qualité du système a été reconnue. Nous pensons que nous avons réussi à concevoir un système d'apprentissage multimédia qui facilite la visualisation spatiale de l'étudiant et conséquemment l'apprentissage de la géométrie descriptive.

REMERCIEMENTS

Au moment de faire les remerciements, j'ai revu en mémoire comme dans un film, toutes les étapes et les situations par lesquelles je suis passé à partir du moment où je me suis décidé à faire le doctorat. Dans ce film, la troupe est grande. Les personnages principaux sont des personnes très importantes, mais il y a un groupe nombreux de « coadjuvantes » qui ont joué des rôles non moins importants. Ils ont eu tous un rôle significatif et ils ont laissé dans ma mémoire un souvenir très fort. Peut-être qu'il me sera impossible de tous les nommer, mais je veux que tous ceux qui ont participé à ma vie pendant mes années de doctorat, que je considère être une aventure fantastique, puissent recevoir mes tendres remerciements spécialement:

À Monsieur Philippe Marton, mon directeur de thèse, pour la précieuse direction et aussi par le fait de ne pas avoir été seulement un directeur, mais un ami, qui m'a appuyé dans les moments difficiles.

À Monsieur Jean Dionne, mon codirecteur de thèse, par ses suggestions et critiques toujours pertinentes et qui ont été essentielles dans le cheminement de la recherche dans toutes les étapes.

À Mme Margot Kaszap, ma conseillère dans l'analyse qualitative de la recherche, pour son attention et sa précieuse collaboration. Avec son aide j'ai pu donner un sens à un tas de données collectées, qui en principe semblaient un vrai « casse-tête ». Sa vision pointue et ses idées très claires m'ont beaucoup aidée. Je la remercie aussi pour son amitié.

À Monsieur Jacques Besançon (in memoriam), mon premier professeur à l'Université Laval, qui m'a donné une grande confiance en disant que je pourrais faire un bon travail de recherche, en se basant seulement sur mes « résumés critiques » des Conférences en Didactique, alors que je ne savais à peine exprimer mes idées en français. Que mes remerciements puissent atteindre son esprit, où il se trouve.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior), organisme brésilien qui a financé mes études, en spécial à Mme Gláucia Gusmão, mon lien avec l'institution.

À l'Université de Londrina que m'a libérée du travail pour faire ce doctorat.

Au professeur Darcy Nampo, de l'Université de Londrina, qui m'a aidée dans l'élaboration du projet pour obtenir la bourse et aussi à faire les corrections finales dans la thèse.

Au professeur Sueli Maimone Ramos, de l'Université de Londrina, pour la révision du français à la fin de ma thèse. Je la remercie de sa disponibilité à m'aider, même en étant très occupée. Les personnes très occupées comme elle le sont justement parce qu'elles se dédient beaucoup à leur travail et sont toujours disponibles à aider ceux qui en ont besoin. Je la remercie aussi de son amitié.

Au professeur Bernard Joseph Louis Gardes, du Département de Chimie, qui m'a aidée beaucoup dans les premiers contacts avec l'Université Laval.

À mes collègues du Département de Mathématiques de l'Université de Londrina, qui m'ont stimulée à faire le doctorat ou bien qui ont assumé mon travail pour que je puisse le réaliser. Je remercie tout spécialement Denise T. Moreira, Regina Corio de Buriasco, Luciana G. S. Souza, Marcia d'Amico Machado, Maria Bernadete Barison, José Marques Mendonça, Paulo Arakawa.

À mes étudiants de tous les temps, qui ont réveillé en moi le désir de découvrir une meilleure façon de les aider à apprendre. Pour représenter tous les étudiants qui sont déjà passés par mes cours, je cite Marcio Augusto Otoboni et Érika Lóis, qui sont maintenant mes grands amis.

Aux membres du GRAIM (Groupe de recherche sur l'apprentissage interactif multimédiatisé), Roland Sasseville, Christian Charette, Bruno Poulin, Christian Dumont, pour l'amitié et pour tous les dépannages qu'ils m'ont donnés quand j'avais des problèmes. Je remercie aussi Madame Louise Rouleau, secrétaire du département des Études sur l'enseignement et l'apprentissage.

Aux professeurs du Département de Dessin de l'Universidade Federal de Juiz de Fora, qui n'ont pas mesuré leurs efforts pour que nous puissions faire l'évaluation du système d'apprentissage multimédia interactif, GDVisu@l auprès des étudiants de cette université. Dans un moment où tout paraissait perdu, ces amis nous ont donné un coup de main et nous avons pu continuer la recherche dans une étape très importante comme l'évaluation du système. Je remercie tout spécialement les professeurs Regina Kopke, Romir S. Souza Filho et José Aravena-Reys.

Aux équipes du Gênesis (le programme brésilien d'appui aux jeunes entrepreneurs dans le domaine de la production de logiciels) de Juiz de Fora et de Londrina, qui ont eu la

gentillesse de mettre à notre disposition les ordinateurs et les locaux pour que nous puissions faire l'évaluation du système [GDVisu@l](#) avec les étudiants. Je remercie spécialement Eliana (de Juiz de Fora) et le professeur Cleusa Rocha Asanome (de Londrina).

Aux amis du doctorat et aux autres étudiants de la Faculté de Sciences de l'Éducation, qui étaient comme moi, toujours très occupés et préoccupés avec leur recherche, mais qui avaient toujours un mot de support, une suggestion pour nous aider quand le travail ne semblait pas marcher. C'était bon de partager avec eux notre angoisse et de vibrer avec ceux qui finissaient leur recherche avec succès. C'était bon de connaître des gens de différents cours et cultures. Il était grand le nombre d'amis faits sur ces 4 années et ça serait difficile de tous les nommer. Je mentionne spécialement Lyse Roy, Mônica Cividini, Elizabeth Roney, Karen Hammond, Chantal Lebrun...

À mes amis brésiliens qui vivent ou ont vécu au Québec dans le même période que moi. Ils ont représenté un peu de mon pays, avec leur chaleur humaine, leur solidarité, leur support. Ensemble, nous avons formé une grande famille qui est dispersée maintenant. Ensemble nous avons appris à aimer la ville qui nous a accueillie et nous avons beaucoup adopté leurs habitudes comme « pique-niquer », ce que nous avons appelé gentiment «manger des sandwiches assis sur la pelouse». Je me souviendrai toujours de nos party brésiliens où à chaque fois plus de Québécois ont adhéré. Il y avait un grand nombre d'amis, mais je veux me souvenir spécialement de Célia Anchieta, Paulo et Denise Barbosa, Francisco et Jeanne Loiola, José et Rosangela Camapum, Paulo et Christina Duprat, Fernando Marques e Marta.

Aux amis Québécois que je remercie pour l'affection qu'ils nous ont consacrée, pour la gentillesse de nous accueillir dans leur communauté, de façon à ce que nous puissions nous sentir «chez nous ». Ceux qui ont déjà habité dans un pays étranger savent ce que veut dire être accepté dans une communauté. Je remercie de tout mon cœur l'amitié de Jeanne et Keith, de Julienne Turcotte, de Catherine de Cabarus et Gabrielle Roberge.

À Victoria Bolullo Marton, tendrement appelé Vicky, épouse de mon directeur de thèse je remercie pour son amitié et pour m'avoir donné l'occasion de développer un travail auprès de ses élèves du primaire. Grâce à Vicky, à son support, à ses invitations pour sortir un peu de ma routine de travail, pour me distraire un peu, je ne suis pas tombée dans un terrible stress dans les moments plus difficiles. Le dynamisme, la joie de vivre et le sourire constant, rendent Vicky une personne très spéciale.

À Jeanne, Ingrid, Cathy, Édith et Michelle, que je remercie pour la précieuse révision des mes textes de français à plusieurs occasions.

Aux experts en Géométrie descriptive et en technologie éducative qui ont analysé le [GDVisu@l](#) et qui ont donné des suggestions précieuses pour son amélioration.

À Paulo Pavel, avec qui j'ai développé le système [GDVisu@l](#), que je remercie pour l'amitié et la patience infinie à m'enseigner pour utiliser les logiciels en les mettant le plus à profit

dans le développement d'un outil pour l'enseignement et apprentissage de la géométrie descriptive. Je pense que nous avons réussi à faire un outil qui donne le goût à l'étudiant à apprendre une discipline considérée difficile et ardue. Sa grande compétence dans le domaine de l'informatique, une connaissance approfondie de la géométrie et des logiciels graphiques, alliées à la façon bien organisée de travailler, ont contribué de façon décisive pour que nous puissions mener à terme la difficile tâche de développer d'évaluer le système GDVisu@I.

À mes enfants, Vinícius, Giovana, Murilo et Ramiro, mes compagnons dans cette aventure, dans les bons et les mauvais moments, je les remercie de tout mon cœur. C'était difficile d'étudier et de prendre soin d'eux durant toutes ces années, mais je suis sûre qu'il aurait été beaucoup plus difficile d'être loin d'eux. Je sais que cette expérience a été très bonne pour nous et que les choses que nous avons apprises, les souvenirs que nous avons gardés, seront dans nos mémoires et nous accompagneront pour le reste de nos vies.

À mon mari Pola, que je remercie pour le support, même à distance et pour le sacrifice qu'il a fait de vivre pendant tout ce temps loin des gens que nous aimons le plus: nos enfants. Je le remercie aussi pour comprendre que ma vie professionnelle est importante pour moi et je suis certaine que je ne pouvais pas concilier la vie de mère, d'épouse, et de professionnelle sans son support et sa collaboration.

À mes parents Jorge (in memoriam) et Cida, qui ont développé dans l'esprit de leurs enfants, l'amour pour la culture, pour l'éducation, la responsabilité dans tout ce qu'on décide d'entreprendre. J'espère pouvoir inculquer à mes enfants la même « garra » comme on dit en portugais pour définir l'esprit de lutte pour atteindre des objectifs de vie.

Finalement, je veux remercier Dieu, sans le support et l'appui de qui je n'aurais jamais mené à terme une telle entreprise. Je suis sûre qu'Il avait une raison, quand Il a rendu possible pour moi de faire ce doctorat. J'ai appris sur ces années beaucoup plus que de développer et d'évaluer un multimédia. J'ai appris à vivre, j'ai appris à connaître les gens, à accepter les différences et les limitations, les miennes et celles des autres. J'ai appris à utiliser les talents qu'Il m'a donné et maintenant je veux utiliser ces talents pour aider les autres à développer les leurs. Je suis certaine qu'Il placera sur mon chemin les opportunités de le faire.

TABLE DE MATIÈRES

	<u>Page</u>
Résumé.....	i
Remerciements.....	ii
Table de matières.....	vi
Liste de tableaux.....	ix
Liste de figures.....	x
Introduction.....	1
Chapitre 1	
1. Problématique.....	4
1.1. Origine du problème	4
1.2. Le contenu d'étude : la géométrie descriptive	7
1.3. Les compétences et habiletés qu'il faut développer	8
1.4. Les difficultés pour enseigner et apprendre la géométrie descriptive	9
1.4.1. Difficultés par rapport à l'enseignement de la géométrie descriptive.....	10
1.4.1.1. Difficultés liées à la structure de l'enseignement brésilien	10
1.4.1.2. Difficultés de caractère philosophique	11
1.4.1.3. Difficultés du professeur pour enseigner la géométrie descriptive.....	11
1.4.1.4. Difficultés d'origine pratique.....	14
1.4.2. Difficultés par rapport à l'apprentissage de la géométrie descriptive	14
1.4.2.1. L'apprenant n'aime pas la géométrie descriptive	15
1.4.2.2. L'apprenant ne s'intéresse pas à apprendre la géométrie descriptive...	15
1.4.2.3. La difficulté d'apprendre à cause de l'approche pédagogique.....	16
1.4.3. Délimitation du problème et questions de recherche	17
1.5. Cadre théorique	17
1.5.1. La théorie Piagétienne.....	18
1.5.1.1. Les périodes de développement	19
1.5.1.2. La perception et la représentation de l'espace	22
1.5.1.3. Espace projectif	24

1.5.1.4. Le dessin technique – un exemple d’application des habiletés spatiales	26
1.5.2. Le modèle de Van Hiele	31
1.5.2.1. Les niveaux de pensée géométrique.....	32
1.5.2.2. Les phases d'apprentissage	33
1.5.3. Le choix d’un approche constructiviste	34
1.5.4. Vers la concrétisation de la théorie dans un système d’apprentissage multimédia interactif (SAMII)	37
1.5.4.1. Motivation	37
1.5.4.2. Le rythme individuel	38
1.5.4.3. La perception sélective	39
1.5.4.4. L’organisation des messages	41
1.5.4.5. La structuration du contenu	41
1.5.4.6. La stratégie de l’organisation des ressources	42
1.5.4.7. La réalisation d’activités variées	42
1.5.4.8. Le choix des méthodes pédagogiques	42
1.5.4.9. La participation active et l’interaction	46
1.5.4.10. Le guidage	47
1.5.4.11. La connaissance immédiate des résultats	48
1.5.4.12. L’application des connaissances et l’articulation avec les contacts humains	50
1.5.5. Le moyen pédagogique de diffusion	51
1.5.5.1. Les différentes possibilités	51
1.5.5.2. Le choix de moyens.....	54
1.5.6. Questions et hypothèse de recherche	54
5.6.1. Les choix	55

Chapitre II

2. <u>GDVisu@l</u> - l’outil pédagogique	56
2.1. De la problématique à la méthodologie	56
2.1.1. Aspects pédagogiques	57
2.1.2. Aspects opérationnels	58
2.1.3. Aspects techniques	58
2.2. Les phases de production du système <u>GDVisu@l</u>	59
2.2.1. Planification	60
2.2.1.1. Population cible	60
2.2.1.2. Définition du contenu	60
2.2.1.3. Définition des objectifs et structuration du contenu	61
2.2.2. Conception	71
2.2.2.1. Stratégie d’enseignement/apprentissage	71
2.2.2.2. Intégration pédagogique	79
2.2.2.3. Design du système	80
2.2.3. Le développement	85
2.2.3.1. L’interaction avec le système	86

2.2.3.2. Description du système	105
Chapitre 3	
3. Évaluation	129
3.1. La mise à l'essai	129
3.2. L'évaluation.....	130
3.2.1. Les experts en technologie éducative	131
3.2.2. Les experts en géométrie descriptive	131
3.2.3. Les étudiants	132
3.3. L'analyse quantitative	135
3.3.1. Les données	136
3.3.2. Analyse des données	138
3.3.3. Interprétation des résultats des tests.....	139
3.3.4. Conclusions de l'analyse quantitative	141
3.3.5. Commentaires sur des aspects particuliers à chaque groupe.....	141
3.4. Analyse qualitative	142
3.4.1. La méthode utilisée	142
3.4.2. Analyse des entrevues des différents groupes.....	146
3.4.2.1. Enseignement de la géométrie en général – les problèmes et les implications	146
3.4.2.2. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects pédagogiques.....	152
3.4.2.3. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects techniques	171
3.4.2.4. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects opérationnels	188
3.4.2.5. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects affectifs	199
3.4.2.6. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects particuliers à chaque groupe	205
3.4.2.7. Quelques éléments supplémentaires d'appréciation	224
Conclusion	229
Références bibliographiques	244
Bibliographie	259
Annexe 1	260
Annexe 2	273
Annexe 3	295
Annexe 4	302

LISTE DE TABLEAUX

	Page
2.1. Phases du processus de la production d'un Système d'apprentissage multimédia interactif	59
2.2. Formulaire F1 du module sur les Épures	63
2.3. Formulaire F2 du module sur les Épures	65
2.4. Formulaire F3 pour une activité de la situation 3, sur les Épures	66
2.5. Formulaire F4 avec un exercice sur épure	67
2.6. Formulaire F4 avec deux exercices sur épure	68
2.7. Fonctions et tâches de chacun dans la production de <u>GDVisu@1</u>	72
3.1. Notes de pré-test et post-test	137
3.2. Multivariate Tests ^b	139
3.3. Matrices.....	145
3.4. Suggestions pour améliorer le système du point de vue pédagogique.....	170
3.5. Suggestions pour améliorer le système du point de vue de la technologie éducative.....	185

LISTE DE FIGURES

	Page
2.1. Interface d'un exercice sur l'épure d'un objet.....	69
2.1. Objet correspondant à l'épure représenté	69
2.3. Schéma de la structure générale du système GDVisu@i	70
2.4. Exemples de matériel iconographique fixe	74
2.5. Exemple d'objet fixe avec point de vue variable par manipulation directe	75
2.6. Quatre positions du plan qui contient un triangle, obtenues par la manipulation directe du point P.	76
2.7. Construction d'une épure par manipulation indirecte	76
2.8. Exemple de jeu des cadres. Objets en perspective et leurs respectives épures	77
2.9. Images du vidéo sur les notions intuitives de projections.....	78
2.10. Exemple d'animation Quick Time	78
2.11. Exemple d'animation par séquence d'images capturées et traitées visuellement à posteriori.....	79
2.12. Schéma de l'interaction étudiant/système	85
2.13. Page d'accueil du système	86
2.14. Façons de s'inscrire pour utiliser le système GDVisu@i	87
2.15. Fiche d'inscription d'étudiant	88
2.16. Connexion d'étudiant déjà inscrit	88
2.17. Cadres de l'interface de l'étudiant	89
2.18. Barre de contrôle de l'étudiant	90
2.19. Index du système, plan général de navigation : le savoir à enseigner.....	91
2.20. Plan de navigation de la situation d'apprentissage 1 « Perception visuelle »	92
2.21. Légende du plan du navigation des situations d'apprentissage	92
2.22. Un exercice ouvert dans le cadre 2 de l'interface	93
2.23. Catalogue de polyèdres pour manipuler, ouvert dans une fenêtre auxiliaire	94
2.24. Exemple de support théorique qui s'ouvre par une fenêtre auxiliaire	95
2.25. Boîte de dialogue pour demander l'intervention d'un professeur « online »	96
2.26. Boîte pour envoyer un message au professeur	97
2.27. Tableau du bord du professeur	99
2.28. Accueil de la situation d'apprentissage.	100
2.29. Description détaillée de la situation ou activité.	101
2.30. L'historique de l'étudiant	102

2.31. Affichage des données d'inscription de l'étudiant	103
2.32. Édition de commentaires à l'historique de l'étudiant	104
2.33. Test pour le niveau 1 (reconnaissance)	107
2.34. Test pour le niveau 2	108
2.35. Test pour le niveau 3	109
2.36. Polyèdre que l'étudiant peut manipuler	110
2.37. Image initiale à l'écran.....	112
2.38. Image d'un écran intermédiaire	112
2.39. Écran initial.....	113
2.40. Interface intermédiaire avec une réussite (avec le signe vert) et une erreur (avec le signe rouge), avec l'objet d'intervention.....	114
2.41. Trouver la paire d'objets géométriques qui ensemble forment un cube.....	115
2.42. Un écran intermédiaire, avec trois réussites et un échec.	115
2.43. L'écran initial.	116
2.44. L'écran intermédiaire, avec trois réussites et un échec.	117
2.45. Découvrir quelle photo a été prise à chaque point de vue	118
2.46. Interface de l'exercice 6, avec une réussite et un autre élément sélectionné	119
2.47. Images du vidéo sur des notions intuitives de projection d'ombres portées	120
2.48. Séquence d'images de l'animation sur les projections.....	120
2.49. Variation de la grandeur de la projection en fonction de l'inclinaison du plan qui contient la figure par rapport au plan de projection.....	121
2.50. Des objets ayant la même projection dans le plan horizontal.....	122
2.51. Objets d'intervention de l'exercice sur le nombre de projections pour bien représenter un objet	123
2.52. Séquence d'images d'une animation sur l'épure d'un plan	125
2.53. Fiche remplie avec les caractéristiques des plans.....	126
2.54. Interface initiale du jeu de patience	127
2.55. Interface du jeu de patience avec un score partiel.....	127
2.56. L'interface finale du jeu	128
3.1. Résultats obtenus	140
3.2. Schéma des éléments pour faire l'analyse qualitative.	143
3.3. Schéma d'analyse qualitative.....	147
3.4. Comparaison entre le total d'équipement utilisé et ceux qui ont présenté des problèmes, par ville.....	188
3.5. Activités préférées selon les étudiants et les experts	191
3.6. Sentiments par rapport au système	205

INTRODUCTION

Dans l'ère de l'Internet et des logiciels graphiques puissants, la perception et la visualisation spatiale sont de plus en plus importantes dans la formation des architectes et des ingénieurs. Ces habiletés sont définies comme la capacité d'opérer mentalement, soit de percevoir, de représenter et/ou de transformer des objets spatiaux. Il faut développer ces habiletés notamment chez les étudiants en architecture et en génie. L'enseignement de la géométrie, plus spécialement de la géométrie descriptive, est une des matières permettant d'y parvenir. Comme professeur de cette discipline depuis plusieurs années, nous avons une certaine connaissance des difficultés rencontrées par les étudiants et nous avons décidé de bâtir un système d'apprentissage multimédia interactif (SAMI) pour profiter des principales caractéristiques de la technologie: la possibilité de manipuler, d'utiliser différents médias qui facilitent la visualisation mais aussi l'exploitation de l'interactivité qui permet à l'étudiant d'être son propre agent d'apprentissage.

Ce que nous voulons montrer dans ce travail, c'est qu'il est possible de bâtir un système d'apprentissage multimédia en géométrie descriptive selon une approche constructiviste, dans lequel l'étudiant peut construire ses connaissances d'une façon ludique et amusante, à travers des activités qui représentent des défis. Pour nous, le processus suivi par l'étudiant pendant qu'il utilise le système est très important. Un feed-back immédiat suggère à l'étudiant de nouvelles pistes pour réussir les exercices et, lorsque ce n'est pas suffisant, il y a encore la possibilité d'établir un contact avec un professeur virtuel, car le système fonctionne sur internet.

Cette recherche est le résultat d'un travail pluridisciplinaire et en collaboration avec Paulo Pavel qui faisait son doctorat en Informatique à l'Université du Maine (France) et qui a développé avec nous le système technique répondant à nos besoins pédagogiques (voir annexe 1 de cette thèse).

Le chapitre 1 traite de l'origine du problème, décrit l'objet d'étude, soit la géométrie descriptive, précise quelles sont les habiletés et compétences que doivent avoir les étudiants dans cette discipline, analyse les difficultés qu'ils rencontrent dans leur apprentissage, analyse l'état de la littérature sur ces difficultés et examine les solutions à ces problèmes. À partir de ces données, les questions de recherche et l'hypothèse de travail sont présentées et nous proposons un système d'apprentissage, le GDVisu@l, bâti selon des facteurs pédagogiques bien précis.

Le chapitre 2 présente les aspects pédagogiques, opérationnels et techniques qui ont été pris en compte pendant les étapes de développement du système. Une description détaillée de la méthodologie utilisée dans la production du système est présentée.

Le chapitre 3 traite de l'évaluation formelle et complexe qui a été prévue dans la méthodologie de production du système, laquelle respecte les étapes d'une recherche de développement. La méthode de recueil et d'analyse des données ainsi que l'impact que le système a provoqué chez les individus qui l'ont évalué y est décrite.

En conclusion, nous porterons un regard critique sur notre recherche, sur la méthodologie utilisée, sur ce qu'elle peut apporter à l'éducation et à l'enseignement d'une façon générale et nous proposerons quelques pistes pour de nouvelles recherches.

À la fin, nous présentons quatre annexes. La première explique comment s'est développé le travail collaboratif avec Paulo Pavel. L'annexe 2 montre les formulaires utilisés dans l'étape de planification et de conception du système. Dans l'annexe 3, nous présentons les

instruments utilisés dans l'évaluation du système. L'annexe 4 est un échantillon des données récoltées auprès des étudiants et experts qui ont évalué le système.

Avec ce travail écrit, nous joignons un Cédérom comportant des exemples de médiatisations réalisés dans le système [GDVisu@l](#).

CHAPITRE 1

1. PROBLÉMATIQUE

Ce chapitre nous permettra d'énoncer l'origine du problème, de parler un peu de l'objet d'étude, la géométrie descriptive, de préciser quelles sont les habiletés et les compétences que doivent avoir les étudiants de cette discipline et d'analyser les difficultés qu'ils rencontrent dans leur apprentissage. Un cadre théorique basé sur le constructivisme essaiera d'expliquer les raisons de ces difficultés et des recherches dans un domaine très proche de la géométrie descriptive seront analysées dans le but de profiter de ces résultats dans la production d'un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif (SAMI) qui sera utilisé pour l'éducation à distance de la géométrie descriptive. Ce système, appelé GDVisu@t!, sera produit en accord avec des fondements et des facteurs pédagogiques bien précis.

1.1. Origine du problème

Actuellement, nous sommes dans notre quatrième phase par rapport à l'enseignement/apprentissage de la géométrie descriptive. La première, nous l'avons vécue comme étudiante au baccalauréat en Mathématique, où nous avons eu beaucoup de

difficultés à apprendre la discipline, alors jugée très abstraite, car nous n'étions pas capable de voir dans l'espace les objets représentés dans le plan, sous forme d'épures. La méthode utilisée par le professeur était très traditionnelle, il en exposait les contenus (théorie et dessins) au tableau noir, lesquels étaient complètement schématisés pour qu'on puisse les mémoriser. Nous avons réussi sans jamais savoir son utilité dans le cours de Mathématique ou même dans celui de Génie civil que nous avons fait ensuite. Ceci nous amène à conclure que notre expérience comme étudiant de géométrie descriptive n'était pas bonne. Étudier la géométrie descriptive ne nous a apporté aucun plaisir, alors que nous pensons que le plaisir d'apprendre est très important. La motivation doit exister, qu'elle vienne du simple plaisir d'apprendre, ou de la compréhension de l'utilité de la discipline abordée pour notre vie professionnelle future. Il faut trouver un « sens » à l'apprentissage pour consentir les efforts nécessaires à cet apprentissage.

La deuxième phase, nous l'avons vécue comme professeur de géométrie descriptive au début de notre carrière professionnelle, où nous répétions pour les étudiants ce que nous avons appris et de la même façon que nous l'avons appris. Nous sentions chez les étudiants les mêmes difficultés que nous avons ressenties pour comprendre les concepts de base de la géométrie descriptive. Nous pouvions sentir le manque d'intérêt des étudiants pour cette discipline qu'ils disaient « très abstraite » et « sans utilité ». À un moment donné, à cause de circonstances particulières, nous avons dû changer notre façon d'enseigner et c'est là qu'a commencé la troisième phase de l'expérience.

Le cours de géométrie descriptive était offert par le département de Mathématique aux étudiants d'architecture à l'université où nous enseignons et le nombre d'étudiants qui échouaient était élevé. Orientée par les professeurs du département d'architecture, qui nous avaient montré les applications pratiques de la géométrie descriptive dans l'architecture nous avons changé complètement notre façon d'enseigner la discipline. Nous avons élaboré une méthodologie complètement différente de celle que nous avons utilisée avant et avec laquelle nous avons appris. Au lieu de donner les contenus tous prêts aux étudiants, nous avons créé des situations où ils pouvaient découvrir à travers le travail en groupe, les propriétés des plans, des droites, des points, etc. Les étudiants sont devenus

« constructeurs » de leur propre connaissance. À la place d'« imaginer » des objets dans l'espace à partir des épures, ils utilisaient des matériels concrets pour comprendre ce qui se passe dans l'espace avant de représenter les objets dans le plan à travers les épures. Nous avons créé des jeux où les étudiants devaient utiliser les propriétés découvertes sur les plans et les droites. Nous avons observé qu'enseignant d'une façon ludique, l'apprentissage était plus rapide et plus efficace que lorsque les étudiants étaient obligés de mémoriser les contenus. Un autre élément qui a été introduit est l'aspect pratique de la discipline dans l'architecture, notamment dans la construction de maquettes. Les étudiants ont pu alors faire des maquettes techniquement parfaites et non plus par essai et erreur comme avant.

Dans cette phase, nous pouvons noter que le même savoir à enseigner des phases précédentes a subi une réorganisation pour avoir plus de sens. Au lieu de commencer par les éléments abstraits comme le point, la droite, nous avons commencé par la manipulation des solides, en observant les propriétés des éléments qui les composent pour arriver aux éléments plus abstraits. Les situations d'apprentissage ont été complètement changées par rapport à l'enseignement traditionnel des phases précédentes. Les étudiants ont commencé à avoir une meilleure vision spatiale et conséquemment une meilleure réussite dans la discipline « géométrie descriptive » et dans les disciplines de projet où ils devaient représenter dans le plan leurs idées, pour ensuite les réaliser dans l'espace tridimensionnel.

Malgré les bons résultats obtenus, à un moment donné nous avons commencé à sentir une certaine insatisfaction par rapport à l'utilisation du matériel concret, car nous ne pouvions tout concrétiser, tout manipuler, bouger, voir selon plusieurs perspectives pour que les étudiants puissent bien comprendre certains sujets. La recherche des meilleures solutions pour rendre la visualisation plus facile à l'étudiant, nous a amené à la quatrième et actuelle phase, qui comporte l'utilisation de l'ordinateur.

Au début, nous avons pensé utiliser la vidéo pour observer des animations faites par ordinateur qui puissent montrer les transformations des projections quand l'objet change de position par rapport aux plans de projection. Puis nous avons découvert le multimédia, qui en plus de viabiliser l'utilisation de l'image, du mouvement, offre la possibilité

d'interaction entre l'étudiant et le système, ce qui pouvait alors donner suite au processus de construction de la connaissance des situations d'apprentissage de la phase antérieure. La possibilité d'utiliser des objets virtuels qu'on puisse « manipuler » semblait résoudre le problème de rendre concrètes certaines situations dans lesquelles il est important que l'étudiant voit l'objet de différents points de vue pour qu'il puisse avoir une vision d'ensemble de celui-ci et aussi comprendre les rapports entre leurs éléments.

Avant d'aller plus loin dans la description des compétences et habiletés que doivent acquérir les étudiants, nous proposons un bref regard sur la discipline à laquelle ces compétences et habiletés sont rattachées : la géométrie descriptive.

1.2. Le contenu d'étude : la géométrie descriptive

La géométrie descriptive est une branche de la géométrie qui permet la représentation de l'espace tridimensionnel en deux dimensions, à travers les projections. Elle a ses origines dans la stéréotomie, science traditionnelle de la coupe des pierres et des bois employés dans la construction de bâtiments (Sakarovitch, 1991).

Comme méthode, la géométrie descriptive a été créée par Gaspar Monge, un ingénieur militaire français à la fin du XVIII^e siècle. Personne ne pouvait mieux que Monge décrire les objectifs de cette discipline. Comme on le verra ensuite par une citation faite lors de la présentation du programme de l'ouvrage "Géométrie descriptive" (Monge, 1799, p. 2), elle a été créée comme objet d'enseignement.

«Cet art a deux objets principaux. Le premier est de représenter avec exactitude, sur des dessins qui n'ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois, et qui sont susceptibles de définition rigoureuse. Sous ce point de vue, c'est une langue nécessaire à l'homme de génie qui conçoit un projet, à ceux qui doivent en diriger l'exécution, et enfin aux artistes qui doivent eux-mêmes en exécuter les différentes parties. Le second objet de la géométrie descriptive est de déduire de la description exacte des corps tout ce qui suit nécessaire de leurs formes et de leurs positions respectives. Dans ce sens, c'est un moyen de rechercher la vérité; elle offre des exemples perpétuels du passage du connu à l'inconnu; et parce qu'elle est toujours appliquée à des objets susceptibles de la plus grande évidence, il est nécessaire de la faire entrer dans le plan d'une

éducation nationale. Elle est non seulement propre à exercer les facultés intellectuelles d'un grand peuple, et à contribuer par-là au perfectionnement de l'espèce humaine, mais encore elle est indispensable à tous les ouvriers dont le but est de donner aux corps certaines formes déterminées; et c'est principalement parce que les méthodes de cet art ont été jusqu'ici trop peu répandues, ou même presque entièrement négligées, que les progrès de notre industrie ont été lents».

Comme l'a dit Monge, la géométrie descriptive a principalement pour but de représenter les corps de manière à pouvoir par la suite les exécuter (dans le sens de réaliser, fabriquer, construire). On représente un corps lorsqu'au moyen d'une certaine combinaison de lignes et de points, on parvient à exprimer toutes ses dimensions. Pour exécuter le corps que l'on a représenté, il faut déduire les dimensions de ce corps, et reporter ces dimensions sur la matière dont il doit être composé.

La géométrie descriptive est une discipline de base pour les cours techniques comme par exemple le génie et l'architecture. La compréhension de ses concepts est fondamentale pour que les ingénieurs et les architectes puissent représenter leurs idées sous forme de projets et aussi visualiser une œuvre, un objet et une machine au moyen de ces projets.

1. 3. Les compétences et habiletés qu'il faut développer

Avant tout il faut préciser quelles habiletés et compétences on veut développer chez les étudiants de géométrie descriptive. Selon Moreto (1999, p.51):

« D'une façon générale on associe le terme habileté au « savoir-faire » quelque chose de spécifique. Cela veut dire qu'il sera toujours associé à une action physique ou mentale qu'indique une capacité acquise pour quelqu'un. On utilise le terme compétence associée à la structure résultant du développement harmonique d'un ensemble d'habiletés qui caractérisent une fonction spécifique. Dans ce sens, la compétence est toujours associée à une fonction, à une profession ».

Comme nous l'avons dit déjà, la géométrie descriptive est une discipline de base pour les ingénieurs et architectes. Pour que ces professionnels soient considérés « compétents » il faut qu'ils développent certaines habiletés, reliées à certains groupes de savoirs. Parmi ces

habiletés il y a la « lecture » et « l'exécution » d'un dessin. Quand on parle de lecture d'un dessin on se rapporte au fait que le dessin est un langage graphique avec tout un ensemble de codes et de normes, une morphologie et une syntaxe. L'alphabet du dessin, aussi bien que celui de la géométrie descriptive, est constitué du point, de la droite et du plan. Avec ces éléments et les combinaisons entre eux, on peut représenter les idées qui peuvent donner origine aux figures, objets, enfin à tout ce qui existe, a existé ou sera encore construit.

Pour bien savoir lire ou exécuter un dessin, il faut que l'étudiant maîtrise bien les opérations spatiales, ce qui n'est pas toujours évident. D'une façon générale, les étudiants ont beaucoup de difficulté à apprendre la géométrie descriptive et les professeurs ont beaucoup de difficulté à l'enseigner; nous verrons dans ce qui suit quelques raisons concernant ces difficultés.

1.4. Les difficultés à enseigner et apprendre la géométrie descriptive

Les difficultés à apprendre la géométrie descriptive se présentent actuellement à l'échelle mondiale. D'une certaine façon, elles sont dues au manque de développement de la visualisation spatiale des étudiants au primaire et au secondaire. Plusieurs chercheurs travaillent sur le thème de la visualisation spatiale et plusieurs universités en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique, en Australie, au Japon, offrent des cours de rattrapage pour les étudiants qui débudent un programme en génie, en architecture et en dessin industriel (Field 1998, Saito et al. 1998, Sorby et Baartmans 1998, Sorby et Gorska 1998, Leopold et Muller 1998, Hayasaka et al. 1998, Abe et Yosida 1998, Nauk, 1998, Barr et al. 1998).

Les recherches effectuées sur l'enseignement du dessin technique, auprès des étudiants des cours techniques s'approchent de celles sur la géométrie descriptive, car les étudiants de ces disciplines ont plus ou moins les mêmes difficultés d'apprentissage, à savoir, difficulté à lire un dessin, à représenter en deux dimensions les objets de trois dimensions, à faire le développement de surfaces, etc. En général, les recherches sont basées sur la théorie opératoire de l'intelligence développée par Piaget même si les étudiants en question sont

déjà adultes. Il y a aussi quelques réflexions, des critiques et des nouvelles perspectives sur l'enseignement du dessin, qui ont été publiées à partir de présentations de ces travaux dans les congrès. Quelques résultats de recherches sur l'enseignement du dessin et plus particulièrement du dessin technique peuvent être rapportés à la géométrie descriptive. Examinons maintenant les difficultés dans l'enseignement et dans l'apprentissage de la géométrie descriptive et qui sont reliés à plusieurs facteurs.

1.4.1. Difficultés par rapport à l'enseignement de la géométrie descriptive.

Ces difficultés sont analysées dans un contexte brésilien et sont reliées à la structure de l'enseignement, à la philosophie de l'enseignement adopté dans la discipline, aux difficultés des professeurs à l'enseigner et à quelques éléments de caractère pratique.

1.4.1.1. Difficultés reliées à la structure de l'enseignement brésilien.

L'enseignement de la géométrie descriptive au Brésil est intégré dans l'enseignement du dessin, matière qui a cessé d'être obligatoire à partir de 1970 avec la Loi 5692/71 et qui a restructuré l'enseignement du primaire et secondaire. Aujourd'hui elle n'est enseignée que dans les cours techniques, ceux de génie, d'architecture, de mathématique, de dessin et dans quelques cours d'arts. Comme la géométrie descriptive est une branche de la géométrie, on suppose que l'apprenant a eu comme préalables les contenus élémentaires de géométrie euclidienne aussi bien que des notions de dessin géométrique. Cela n'est pas tout à fait vrai.

Castrucci (1981, p.32) dit que «L'enseignement de la géométrie est toujours laissé au deuxième plan, par rapport à l'algèbre, au primaire aussi bien qu'au secondaire». Généralement il est reporté à la fin de l'année et parfois, il n'y a pas suffisamment de temps pour l'enseigner de façon appropriée.

La situation du dessin géométrique est bien pire. Lopes et Almeida (1996, p.450) disent que « Actuellement on constate que l'enseignement du dessin au primaire et au secondaire n'est pas efficace. On peut noter que l'enseignement aussi bien que l'apprentissage est pire

à chaque année et, sauf quelques exceptions, le dessin comme discipline est enseigné seulement dans les écoles techniques ou dans les cours professionnalisants». Selon Kopke (1996, p.84) « Les exceptions sont les quelques écoles privées qui enseignent le dessin d'une façon confuse et en deuxième plan par rapport aux autres disciplines». Dans quelques écoles, le dessin est enseigné aux dernières années du primaire, mais il n'y a pas de continuité de cet enseignement au secondaire. Il y a plusieurs étudiants qui arrivent à l'université sans savoir utiliser les outils du dessin, tels le compas, les équerres,...

1.4.1.2. Difficultés de caractère philosophique.

L'enseignement de la géométrie en général et de la géométrie descriptive en particulier, est fait selon une approche très rationnelle, analytique et si l'apprenant n'est pas bien préparé pour utiliser le raisonnement (ce qui est commun dans un enseignement qui privilégie la mémorisation et la mécanisation d'opérations), il échouera généralement dans l'apprentissage de ces disciplines.

1.4.1.3. Difficultés du professeur à enseigner la géométrie descriptive

Le professeur est un élément d'extrême importance par rapport au succès ou à l'échec de l'étudiant pour apprendre la géométrie descriptive. Il ne doit pas seulement bien connaître le contenu, mais il doit aussi avoir de la perspicacité pour s'apercevoir des difficultés des étudiants et finalement utiliser des méthodes appropriées aux moments opportuns. Nous allons analyser chaque point séparément.

Si la géométrie n'est quelques fois pas bien enseignée au primaire et au secondaire parce que le professeur n'est pas bien préparé ou ne se sent pas confiant pour l'enseigner, qu'est-ce qu'on peut dire par rapport à la géométrie descriptive qui est un sujet beaucoup plus difficile que la géométrie euclidienne?

Ferreira et al. (1994, p. 377) ont effectué une recherche sur le profil de formation du professeur de dessin et ils ont constaté que «Par rapport aux questions structurales, il a été

évident que la formation du professeur de dessin est diversifiée (11,39% formé en Éducation Artistique, 30,37% en baccalauréat de dessin, 22,78% en architecture, 17,72% en génie civil, 7,59% en baccalauréat de mathématique, 1,26% en agronomie, 2,53% en génie mécanique, 1,26% en publicité, 1,16% en art décorative, 1,26 en génie minier, 1,26% en dessin industriel, 1,26% en génie naval) et segmentée parce que le focus d'abordage se limite presque toujours aux aspects qui ont un rapport spécifique avec son domaine d'intérêt».

L'idéal était que le professeur, en plus de bien connaître le contenu, aime la discipline pour pouvoir transmettre cet amour à ses élèves et aussi qu'il sache quand l'appliquer, en utilisant des exemples pratiques dans le contexte de l'apprenant.

Ferreira et al. (1994, p. 380) ont constaté dans leur recherche que 43,04% des professeurs de dessin ont une formation dans le domaine spécifique du dessin tandis que 49,35% viennent de domaines connexes et 7,59% sont d'autres domaines. Ils disent : « Il est facile de constater le pourquoi des difficultés pour planifier et préparer les cours, définir les contenus: la plupart des professeurs de dessin ont une formation qui ne privilégie pas les disciplines de nature pédagogique». Ils ne savent pas comment l'apprenant apprend et ne savent pas quoi faire quand ils ont des difficultés à apprendre.

Quand un apprenant arrive au niveau scolaire où il doit apprendre la géométrie descriptive, c'est-à-dire, aux cours techniques ou à l'université, il a déjà dépassé les périodes de développement mental au cœur desquelles il avait plus de facilité pour acquérir une vision spatiale et l'abstraction nécessaire à la compréhension des concepts de la géométrie descriptive.

Ces étapes antérieures ont été comme «brûlées» et les récupérer exige un grand effort du professeur ainsi que l'utilisation des méthodologies appropriées, comme nous allons voir par la suite.

Même si la géométrie descriptive est une discipline qui est à la base des projets qui servent à construire ou à fabriquer quelque chose, en général, elle est enseignée d'une façon très abstraite, ce qui rend difficile l'apprentissage pour beaucoup d'étudiants qui n'ont pas la capacité d'abstraire. L'utilisation des matériels concrets et d'autres matériels qui facilitent la visualisation pourraient vraisemblablement contribuer d'une façon positive à la compréhension des concepts élémentaires de la discipline. Vasconcelos (1996, p.401) dit que « Nul doute que les matériels concrets sont un outil puissant pour la compréhension spatiale, mais ils représentent seulement un des aspects du processus pédagogique. Leur potentiel peut être exploité ou pas dans la construction de la connaissance chez l'apprenant, dans leur raisonnement spatial en fonction de la pratique éducationnelle adoptée par l'enseignant».

Le professeur doit donner aux apprenants non seulement la possibilité de manipuler des objets, de construire des solides géométriques, mais aussi celle d'utiliser les ressources graphiques qui sont offertes par les ordinateurs pour construire des figures et les faire bouger (pour qu'elles puissent être vues de différentes perspectives), faire des projections, des sections et finalement construire des maquettes, ce qui est une des applications les plus intéressantes de la géométrie descriptive. L'utilisation de vidéos ou de multimédia peut faciliter la visualisation des opérations plus difficiles à comprendre dans les dessins à deux dimensions.

Vasconcelos (1996) a trouvé dans les Anais do Graphica 94, onze articles qui portent sur l'utilisation de l'ordinateur comme outil d'enseignement du dessin. Elle a constaté que ces articles réfèrent à deux approches différentes. La première traite l'ordinateur comme une nouvelle ressource d'enseignement qui permet la création de logiciels éducatifs. Selon les auteurs de ces articles, les logiciels éducatifs peuvent rendre meilleure la visualisation à trois dimensions et constituent un outil attractif et dynamique. Quelques auteurs croient que l'utilisation de l'ordinateur peut agir comme un élément de motivation et améliorer la qualité de l'enseignement du dessin. Cependant, Vasconcelos (1996, p. 403) remarque que l'utilisation de l'ordinateur tout simplement pour enseigner le dessin n'est pas une pratique permettant la production de la connaissance: «Si l'ordinateur est utilisé seulement pour

transmettre l'information, comme un nouvel outil de dessin, ou un nouvel outil technologique (pour remplacer le rétroprojecteur ou projecteur de diapositives), si l'enseignement se réalise d'une façon abstraite, éloigné du réel, alors on n'aura aucun progrès du côté éducationnel». La deuxième approche traite de l'utilisation de l'ordinateur comme support à une nouvelle méthode d'enseignement du dessin. Elle dit encore (p. 403) que «Le grand avantage d'utiliser l'ordinateur dans l'enseignement du dessin est relié à sa puissance pour résoudre des problèmes, des opérations planes et spatiales avec beaucoup de facilité, vitesse et précision par rapport aux mêmes opérations faites à la main dans les disciplines comme le dessin géométrique et la géométrie descriptive». L'apprenant n'a pas à faire des opérations graphiques manuelles. Le changement dans la façon de travailler a comme conséquence la nécessité de changer l'enseignement, non seulement en termes de contenu, mais aussi en termes de méthode didactique.

1. 4.1.4. Difficultés d'origine pratique.

Il s'agit ici du choix et de l'organisation des contenus de la géométrie et de la géométrie descriptive. L'absence d'activités scolaires dans le domaine la géométrie projective ou dans la représentation spatiale, peut être une des raisons des difficultés des apprenants quand ils doivent exploiter leurs capacités visuo-spatiales.

S'il est normal que la géométrie descriptive soit enseignée hors contexte, sans montrer aux apprenants ses applications, il faut reconnaître le manque d'intérêt de l'apprenant par rapport à la discipline, comme on verra par la suite.

1.4.2. Difficultés par rapport à l'apprentissage de la géométrie descriptive.

D'une façon générale, l'apprenant n'aime pas la géométrie descriptive ou il ne s'y intéresse pas. Nous allons analyser les deux cas séparément.

1.4.2.1. L'apprenant n'aime pas la géométrie descriptive.

Nous pouvons expliquer ce «n'aime pas la géométrie descriptive » par une réaction en chaîne: l'apprenant n'aime pas la géométrie descriptive parce qu'il ne comprend pas les explications du professeur; il ne comprend pas parce qu'il n'a pas développé une bonne vision spatiale; il n'a pas développé une bonne vision spatiale parce qu'il n'a pas vécu d'expériences appropriées au moment opportun dans lesquelles ce type de vision se développe chez l'enfant.

Vasconcelos (1996, p. 400) a révisé soixante articles du « Anais du 11^e Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico »¹, réalisé à Recife (Brésil) en 1994 et elle a trouvé trois articles concernant la vision spatiale. Elle souligne que les auteurs sont d'accord quand ils disent que « La capacité de vision spatiale est particulière à chaque individu, mais qu'elle peut être développée à travers en un processus d'apprentissage ». Nous allons revenir sur ce point dans le cadre théorique de ce travail.

1.4.2.2. L'apprenant n'est pas intéressé à apprendre la géométrie descriptive.

En général les apprenants entrent et sortent d'un cours de géométrie descriptive sans savoir à quoi elle sert. Lopes et Almeida (1996, p.452) disent :

«Actuellement, quand un étudiant commence un cours de génie, d'arts, d'architecture, il ne sait pas l'importance qu'aura le dessin pendant et après sa vie académique. En principe il pense que le dessin est seulement un cours de plus, qui n'apportera pas beaucoup de subsides dans le futur. Cette idée n'est pas tout à fait vraie et généralement elle est le résultat de sa mauvaise formation au primaire et au secondaire. Peu à peu il vient à

¹ Les « Simpósios Nacionais de Geometria Descritiva e Desenho Técnico » ont lieu à chaque deux ans et rassemblent des professeurs de dessin de tout le Brésil, de tous les niveaux (primaire, secondaire et universitaire) et rendent possibles d'amples discussions sur l'enseignement de cette discipline.

percevoir le dessin comme une discipline importante dans son cours et il comprend que sans la maîtrise de celle-ci, il pourrait avoir des problèmes dans sa vie professionnelle».

Dans la majorité des cas même le professeur ne connaît pas les applications pratiques de la géométrie descriptive dans le génie et dans l'architecture, notamment s'il a eu une formation dans un baccalauréat en Mathématiques par exemple. Ceci a comme effet le désintérêt ou l'indifférence de l'étudiant puisqu'il ne peut pas en voir l'utilité.

Avec le manque d'intérêt et les difficultés naturelles déjà citées, les cours de géométrie descriptive se déroulent lentement et le professeur n'a pas le temps d'arriver à la partie des applications pratiques, lesquelles pourraient contribuer à rendre le cours plus intéressant. Une méthodologie appropriée pourrait peut-être changer cette situation et cela est l'objet (ou un des objectifs) de cette recherche.

1.4.2.3. Les difficultés à apprendre occasionnées par l'approche pédagogique

Dina Van Hiele (1957, p.55) mentionne : «An example of a subject that frequently is tackled the wrong way at the modern secondary school is descriptive geometry. There the subject matter is mostly drilled into the pupils' head in the form of recipes». Cette phrase de Van Hiele traduit bien la réalité de l'enseignement traditionnel de la géométrie descriptive, dans lequel l'étudiant reste passif en recevant une série d'informations qu'il doit mémoriser, ainsi que l'énoncé des procédures qu'il doit suivre pour réussir un exercice. C'est plutôt une approche behavioriste qui prévaut dans le processus traditionnel de l'enseignement/apprentissage de la géométrie descriptive dans la plupart des cas. Nous pouvons dire à propos de notre propre expérience comme étudiant et comme professeur, que cette démarche n'est pas la plus satisfaisante. Cette situation amène fréquemment l'étudiant à l'insuccès. La réussite dépend de beaucoup d'efforts de sa part pour surmonter ses difficultés.

1.4.3. Délimitation du problème et questions de recherche

Comme on vient de voir, les difficultés pour enseigner et apprendre la géométrie descriptive sont reliées à plusieurs facteurs, d'origines différentes et difficiles à être résolues par une seule et simple action, ce qui nous amène aux questions initiales de recherche qui suivent :

- Comment résoudre les problèmes de manque de visualisation spatiale qui rendent difficile l'apprentissage de la géométrie descriptive?
- Quelle sorte de pédagogie utiliser pour rendre les étudiants actifs dans leur apprentissage pour leur permettre de développer ce système complexe de représentation?
- Quelle sorte d'outil pourra aider le professeur à rendre l'enseignement de la géométrie descriptive plus concret?
- Comment rendre l'apprentissage de la géométrie descriptive plus intéressante, agréable et efficace?

1.5. Cadre théorique

«Les élèves ne voient pas dans l'espace». Parzysz (1989, p.5) dit que c'est vraisemblablement la raison profonde de la difficulté des élèves à bien assimiler la géométrie de l'espace. On peut dire la même chose à propos de la difficulté des élèves à comprendre la géométrie descriptive, qui est une branche de la géométrie basée sur deux projections orthogonales coordonnées. Hawk (1962) dit qu'un ingénieur ou un technicien bien préparé doit être capable de lire un projet et de le comprendre. Il complète sa pensée en disant que cette compréhension dépend de la compréhension des concepts de base des projections orthogonales et que d'une façon générale les élèves ont peu de base sur ce sujet aussi bien que sur la géométrie descriptive avant de commencer un cours de génie ou d'architecture.

De ceci nous pouvons retenir deux raisons plausibles expliquant la difficulté à apprendre la géométrie descriptive: *le manque de vision spatiale et la difficulté à comprendre les règles*

et les conventions des projections. Dans les pages qui suivent, nous analyserons la difficulté de visualisation et ses conséquences sur l'apprentissage de la géométrie en général.

Si on essaie de trouver les racines des difficultés des élèves par rapport à la représentation graphique au niveau universitaire, on doit reculer jusqu'au début du développement de la capacité de la perception spatiale et de la représentation de l'espace chez l'enfant.

Pour atteindre ce but, nous allons revenir à la théorie proposée par Piaget sur le développement cognitif de l'enfant. Dans un premier temps, nous la considérerons dans ses aspects généraux pour ensuite nous attacher à ce qui concerne ce développement, plus spécifiquement à l'espace. Nous ferons également une révision du modèle proposé par les Van Hiele et résumé par Gutiérrez (1992) pour comprendre et organiser l'acquisition des habiletés de visualisation spatiale dans l'apprentissage de la géométrie. Ils ont proposé un modèle décrivant les cinq niveaux de pensée géométrique et les phases d'apprentissage par lesquelles passe un enfant quand il apprend la géométrie. En plus, nous analyserons quelques recherches menées auprès des étudiants de dessin technique qui utilisent presque les mêmes habiletés et capacités que les étudiants de géométrie descriptive et semblent avoir les mêmes difficultés que ceux-là. Finalement nous analyserons les facteurs pédagogiques qui pourront être pris en compte pendant la conception et le développement d'un outil qui pourra nous aider à répondre aux questions de recherche tout en respectant le cadre théorique en question.

1.5.1. La théorie Piagétienne

La théorie constructiviste a ses origines dans les travaux de Piaget et de ses collaborateurs de l'école de Genève. Selon cette théorie, l'individu construit sa propre connaissance. Nous allons analyser brièvement ce que propose Piaget en regard du développement cognitif de l'enfant dans un premier temps, pour ensuite analyser la façon dont celui-ci perçoit l'espace pour finalement être capable de le représenter. Nous allons porter une attention spéciale à l'espace projectif qui est à la base des concepts utilisés dans la géométrie descriptive.

1.5.1.1. Les périodes de développement

Evans (1977) dit que Piaget a constaté à partir de ses recherches, qu'au long du processus de développement, l'individu présente des structures cognitives qualitativement différentes. Piaget a distingué quatre périodes dans le développement intellectuel :

Période sensori-motrice (0 à 2 ans)

Dans cette période l'intégration de l'enfant avec son environnement est rattachée par des actions sensorielles telles que : voir, écouter et par des actions physiques telles que prendre, toucher, sucer, ... Piaget et Inhelder (1966b) disent qu'on peut décrire tout le fonctionnement de l'intelligence sensori-motrice sans qu'aucune des conduites observées ne nécessite l'emploi de l'image. L'enfant touche, saisit les objets et les volumes. Son appréhension de l'espace est encore sommaire, strictement sensorielle au sens le plus primitif.

Période préopératoire (2 à 7 ans)

Cette période peut-être divisée en deux stades, le pré-conceptuel et l'intuitif. Dans le premier stade, l'enfant apprend à parler et à construire des symboles. Il commence à distinguer les signifiants (les mots et les images qui représentent les faits ou les objets) des signifiés (événements absents de la perception auxquels se réfèrent ces mots et ces images). Pendant ce stade, l'enfant vit de plus en plus de représentations mentales du monde extérieur et de ses propres actions. La pensée de l'enfant est égocentrique, c'est-à-dire, qu'il ne raisonne qu'en fonction de son propre point de vue et ne peut se mettre à la place de quelqu'un d'autre. Il n'est pas capable non plus de formuler une série de règles permettant à un objet d'être inclus dans un ensemble donné.

Le stade intuitif va de 4 à 7 ans et prépare l'enfant à la période des opérations concrètes. Durant cette période, nommée préopératoire, on peut observer le premier grand

développement des images mentales, qui demeurent longtemps statiques en même temps que *reproductrices*². Les images du niveau préopératoire renforcent la pensée préopératoire et ses tendances propres de valorisation des états et de négligence des transformations. L'élève commence à concevoir un concept rudimentaire d'ensemble, mais à partir d'analogies et de perception plutôt que de considérations logiques ou relationnelles. Il est encore incapable d'admettre le phénomène de la conservation, c'est-à-dire, à savoir que des volumes liquides ou solides ou le nombre d'objets dans un ensemble restent invariables à travers des transformations d'aspects. Deux autres caractéristiques de ce stade sont l'irréversibilité et le centrage. L'irréversibilité est l'incapacité à envisager une série d'opérations inverses qui permettraient un retour à la situation de départ. Le centrage est le fait de centrer l'attention sur un aspect plus saillant d'un objet, au détriment d'autres aspects aussi importants.

Période des opérations concrètes (7 à 11 ans)

Les termes "opérations" et "concrètes" mettent en évidence les caractéristiques de cette phase du développement. L'enfant est passé des actions manifestes (période sensori-motrice) aux perceptions (préopératoire) pour arriver aux opérations intellectuelles. Il est maintenant capable de faire jouer la réversibilité, de décentrer, de se mettre à la place d'autrui et de conceptualiser des rapports de groupe.

Les opérations à ce moment se fondent directement sur les objets et c'est pour cela qu'elles sont appelées opérations concrètes. Ces opérations sont coordonnées en structures d'ensembles plus élémentaires. Piaget les a appelés « groupements ». Selon lui, les opérations peuvent être de deux types: opérations infra-logiques et opérations logique-

² Piaget et Inhelder (1966a) classent les images dans un premier temps en *reproductrices* et *anticipatrices*. Les images reproductrices évoquent des objets ou événements déjà connus et peuvent être *statiques*, lorsqu'elles portent sur un objet ou une configuration immobiles, *cinétiques*, lorsqu'elles évoquent figuralemment un mouvement, un changement de position ou finalement de *transformation*, lorsqu'elles évoquent figuralemment un changement de forme. Les images anticipatrices représentent par imagination figurale des événements non perçus antérieurement. Elles peuvent être classées comme cinétiques et de transformation.

mathématiques. *Les opérations concrètes de caractère infra-logique* forment la notion d'objet comme tel, par opposition à un ensemble d'objets. Elles se rapportent aux conservations physiques (conservation de la quantité de matière, de poids, de volume) et à la constitution de l'espace (conservation de la longueur, de la surface, du périmètre, des horizontales, des verticales, ...). Les opérations constitutives dans l'espace ont la particularité d'être suivies par des images mentales et peuvent se traduire par représentations figurées. Vers 7/8 ans débute une capacité d'anticipation imagée, qui permet la reconstitution des processus cinétiques ou la transformation et même la prévision des séquences nouvelles et simples. Chaque notion de conservation apparaît dans un moment précis du développement; les unes étant préalables aux autres. *Les opérations concrètes de caractère logique-mathématique* partent des objets et essaient de les rassembler en classes, de les ordonner, de les multiplier, etc, ...

La pensée opératoire consiste à coordonner les états et les transformations en concevant les états comme le résultat de certaines transformations et en même temps comme le point de départ de certaines autres transformations entre elles. Autrement dit, les états ne constituent que le point de départ de chacune des transformations, tandis que celles-ci fournissent la raison des propriétés des états successifs.

Période des opérations formelles (11 à 15 ans)

Cette période est surtout marquée par la découverte selon laquelle la réalité n'est qu'une partie de l'ensemble des possibilités. L'adolescent est capable de distinguer entre le réel et le possible. Son raisonnement est hypothétique et déductif; il part de l'examen d'un problème donné et il est capable de prévoir toutes les relations possibles et de faire une analyse logique sur la validité ou non de chaque hypothèse. L'adolescent manipule les données organisées pour les relier à la suite de façon logique. Il est aussi capable de manier l'analyse combinatoire pour résoudre un problème particulier.

La nouvelle structure mentale qui se constitue permet des progrès dans le domaine de la structuration de l'espace. L'adolescent devient apte à construire une métrique euclidienne

des surfaces et des volumes. C'est seulement à ce stade que la surface peut être conçue comme une infinité de lignes formant un continu sans lacunes. Il en va de même pour le volume. La conservation de l'espace occupant est une notion qui se construit à cette période. Le volume est conçu comme une infinité de surfaces indépendamment des seules lignes frontières.

1.5.1.2. La perception et la représentation de l'espace

Pour bien savoir lire un dessin, il faut que l'étudiant maîtrise bien les opérations spatiales. Cela nous reporte à un sujet très important étudié par Piaget et Inhelder (1948a) : la perception et la représentation de l'espace chez l'enfant. Selon lui, l'enfant commence à percevoir l'espace au long des deux premières années de son existence : pour cela le jeune enfant s'appuie exclusivement sur ce qu'il voit et les mouvements qu'il fait sans qu'il puisse se représenter ou imaginer ce que pourtant, il reconnaît.

Ce n'est qu'à partir de deux ans que commence la construction de l'espace représentatif, l'enfant s'imaginant mentalement ce qu'il connaît déjà au plan perceptif. Cette capacité se développe lentement et progressivement. Il est capable, par exemple de percevoir des formes géométriques telles que des cercles ou des carrés bien avant de pouvoir reconstruire ces mêmes formes en utilisant la pensée représentative.

C'est ainsi que, selon Piaget et Inhelder (1948a), l'espace représentatif se construit de façon progressive au cours de différents stades, ici résumés par Higele (1985, p. 124):

- « Au stade pré-opératoire (stade II), l'enfant se fonde sur l'image mentale, elle-même s'appuyant sur l'imitation. Il devient capable de reproduire un dessin en dehors de sa présence mais à ce niveau, il se base encore sur son intuition et ne possède pas la réversibilité qui lui permettrait d'imaginer ce que peut voir une personne placée en face de lui.

- Au stade concret, (stade III), la pensée va se libérer de la nécessité de l'image. L'enfant devient capable d'intérioriser ses actions et de passer de l'aspect figuratif à l'aspect opératif c'est-à-dire de se centrer sur les transformations à opérer.
- Au stade formel (stade IV), le raisonnement n'aura plus besoin de lien direct avec la réalité pour s'effectuer, le sujet raisonnant de façon indépendante de l'action. »

Selon Piaget (1948a) encore cité par Higele (1985, p.124), au cours de ces différents stades, trois grands espaces se construisent :

- L'espace topologique qui ne prend en compte que les rapports qualitatifs d'une figure particulière, à savoir les caractères de voisinage (la proximité des différents éléments perçus), d'enveloppement (impliquant la compréhension, par exemple que sur une droite, un point peut être entre deux autres), de séparation (même si deux éléments voisins s'interpénètrent, ils sont dissociés), de succession et enfin de continuité. Il ne permet qu'une analyse de proche en proche, seul l'aspect figuratif étant perçu. L'enfant de ce niveau ne prend pas en compte, au plan de la représentation, les caractères métriques et projectifs, alors qu'au plan perceptif, il les discrimine fort bien.
- L'espace projectif qui permet la coordination des points de vue : le sujet peut alors situer les objets les uns par rapport aux autres ou par rapport à soi. Apparaît ici la notion de droite (une ligne est une notion topologique alors que la droite nécessite un point de vue). La maîtrise de cet espace est nécessaire, en particulier pour réussir la mise dans le même plan d'éléments situés dans des plans différents.
- L'espace euclidien, basé sur la notion de distance qui aboutit à l'acquisition d'un système de coordonnées. L'enfant maîtrisant cet espace, considérera deux figures comme équivalentes uniquement du fait de leur égalité dimensionnelle. »

Il est clair qu'il ne peut y avoir mise en place de rapports euclidiens sans qu'il y ait aussi construction de rapports projectifs : ces deux espaces s'élaborent de façon parallèle au cours des divers stades. Dans l'espace projectif et l'espace euclidien, le problème est justement de situer les objets et leurs configurations les uns par rapport aux autres, selon des systèmes d'ensembles consistant, soit en projections ou perspectives, soit en

coordonnées. C'est pour cela que les structures projectives et euclidiennes sont plus complexes et d'élaboration plus tardive. Au plan de l'apprentissage du dessin technique (et on pourrait dire la même chose par rapport à l'apprentissage de la géométrie descriptive) il ne faut pas dissocier les aspects projectifs et euclidiens de la géométrie du dessin mais au contraire à montrer leur profonde interdépendance.

La géométrie descriptive est basée sur les projections des objets et pour bien la comprendre, il faut que l'étudiant ait bien construit l'espace projectif. Cet espace est aussi important pour la géométrie descriptive que nous allons l'étudier en détails.

1.5.1.3. Espace projectif

L'espace projectif débute psychologiquement lorsque l'objet ou sa figure cesse d'être envisagés simplement en eux-mêmes, pour être considérés relativement à un «point de vue»: point de vue du sujet comme tel, dans lequel cas intervient une relation de perspectives ou point de vue d'autres objets sur lesquels il se trouve projeté.

Voir un objet selon une perspective donnée, c'est le regarder d'un certain point de vue. Représenter cet objet par une image mentale ou représenter par un dessin c'est prendre conscience en même temps du point de vue sous lequel il est perçu et des transformations dues à l'intervention de ce point de vue. La représentation perspective implique une coordination opératoire entre l'objet et le sujet. Piaget et Inhelder (1948a) disent que ce n'est que vers le milieu du stade III, c'est-à-dire à partir de 9 ans environ, que les problèmes de perspectives sont tous résolus.

D'une façon générale la découverte de la perspective est donc due à un début de la différenciation et de la coordination réunie des points de vue et à une prise de conscience du rapport qui le relie au point de vue du sujet.

Les relations projectives élémentaires s'élaborent à partir des rapports topologiques initiaux, une fois ceux-ci groupés en fonction d'une coordination des points de vue. La

droite projective est une des notions les plus élémentaires dans la géométrie projective. Elle est la seule forme qui se conserve au cours des changements perspectifs. Cette notion, une fois construite sous la forme concrète, rend le sujet capable de concevoir les transformations perspectives liées aux divers points de vue sur l'objet, selon ses positions. C'est ainsi qu'une droite verticale, donc située en hauteur parallèlement au tableau visuel du sujet, est représentée par celui-ci comme diminuant de longueur lorsqu'elle est ensuite inclinée d'avant en arrière, donc l'enfant comprend qu'elle perd alors en hauteur, considérée de son point de vue, ce qu'elle gagne en profondeur. Le processus est interprété comme conduisant de façon continue au cas limite où sa longueur apparente se réduit à un point alors que la droite est en fin de compte, distribuée en profondeur, toujours du même point de vue.

La représentation projective qui suppose la construction de la forme des ombres est de nature exactement analogue à la représentation des perspectives. Dans le cas des ombres, c'est la lumière qui équivaut au point de vue de l'observateur, l'ombre étant en quelque sorte le négatif de ce point de vue de la source lumineuse, c'est-à-dire, constituant la région masquée par l'objet lui-même.

Nous avons parlé dans les paragraphes précédents de la construction de perspectives et projections en fonction des positions successives d'un seul objet à la fois (qu'il soit vu par l'enfant lui-même ou par une autre personne invoquée pour faciliter l'anticipation). Il faut analyser la question de positions relatives des objets à la fois les uns par rapport aux autres et chacun par rapport aux différents observateurs.

Ce n'est que dans la mesure où l'enfant est capable de coordonner son point de vue avec celui des autres, qu'il parvient simultanément à reconstituer celui des autres et à différencier le sien propre, qu'il dominera alors les rapports perspectifs élémentaires et réussira simultanément les problèmes de coordination d'ensembles, de perspectives relatives à un objet isolé et de projections des ombres portées. Autrement dit, le point de vue propre (source de perspectives simples) ne saurait donner lieu à une représentation véritable (c'est-à-dire anticipatrice et reconstitutive), que dans la mesure où il est

différencié des autres points de vue possibles et cette différenciation ne saurait elle-même s'effectuer qu'au sein d'une coordination d'ensemble: ce n'est donc qu'en parvenant à reconstituer le point de vue des autres observateurs que l'enfant découvrira le sien propre et c'est pourquoi la découverte de la perspective est aussi difficile à faire dans le cas du rapport entre les objets et soi-même qu'entre les mêmes objets et autrui.

La conclusion à laquelle nous arrivons ou à laquelle nous pouvons arriver, est qu'il n'existe pas de rapports projectifs isolés, puisque l'essence même de l'espace projectif est de chercher dans la coordination sensori-motrice, puis opératoire, des points de vue.

Au cours de l'élaboration de ces différents espaces, l'étudiant va pouvoir mettre en œuvre des capacités intellectuelles qu'il va appliquer à la résolution d'exercices de géométrie descriptive ou de dessin technique. Ces exercices consistent à construire une épure ou une vue, soit à partir d'une perspective, soit à partir de deux vues orthogonales.

Les recherches sur les difficultés d'apprentissage des étudiants de géométrie descriptive sont rares. Celles qui s'approchent le plus du thème portent sur l'enseignement du dessin technique, développées auprès des étudiants des cours techniques. Ceux-ci ont plus ou moins les mêmes difficultés d'apprentissage que ceux-là, à savoir, difficulté à lire un dessin, à représenter en deux dimensions les objets de trois dimensions, à faire le développement de surfaces, etc. En général les recherches sont basées sur la théorie opératoire de l'intelligence de Piaget même si les étudiants en question sont déjà adultes.

1.5.1.4. Le dessin technique – un exemple d'application des habiletés spatiales

Il s'agit ici d'une façon pratique de mettre en application les habiletés relatives au stade piagétien du développement de l'espace projectif.

Une des sources de difficultés des étudiants pour apprendre le dessin technique et on pourrait dire la géométrie descriptive aussi, est que toute une partie de l'enseignement du dessin a été négligée, à savoir celle qui porte sur l'apprentissage du langage graphique,

avec son code et ses normes, sa morphologie et sa syntaxe. La reconnaissance d'un certain nombre de signes, de règles et de normes que l'étudiant doit assimiler ne suffit pas. La lecture d'un dessin étant un langage, l'expression d'une pensée exige la mise en œuvre de capacités mentales diverses, concourant à des cheminements intellectuels d'analyse et de synthèse des cheminements.

Les recherches menées par Artaud et al. (1985) et par Zougari et al. (1985) montrent que certains étudiants semblent ne pas maîtriser les opérations nécessaires à l'apprentissage de la lecture du dessin. Il faut élaborer une méthodologie de lecture, car lire un dessin ne consiste pas à juxtaposer des vues partielles d'un même objet mais à concilier et coordonner des vues complètes prises sous des angles différents pour aboutir à une représentation d'ensemble de l'objet. Il est clair que la coordination des points de vue qui permet de concilier les différentes vues est de nature opératoire ce qui signifie que la présentation du système projectif du dessin technique et de la géométrie descriptive doit aussi avoir pour objectif de faire prendre conscience à l'étudiant des opérations et des transformations qui rendent possibles dans ces cas la coordination des points de vue et par cela, la construction d'une représentation mentale d'ensemble de l'objet.

La maîtrise des opérations spatiales constitue donc une condition nécessaire à la réussite de l'apprentissage de la lecture d'un dessin. Un apprentissage opératoire visant à créer cette condition est parfois nécessaire.

Blin et al. (1985) se demandent si la capacité de lire un dessin est une aptitude innée ou une capacité plus ou moins développée par la scolarité ou le milieu extérieur. Ils disent que ce n'est pas dans leurs intentions de répondre à cette question, mais qu'il est impossible de ne pas en tenir compte. Ils estiment que cette capacité est potentielle, mais qu'il convient de proposer aux étudiants une méthode rationnelle de construction indépendante des incertitudes de la vision dans l'espace. Il faut conscientiser l'étudiant de l'importance de cette étape dans le processus de formation. Plusieurs recherches ont été effectuées (Blin et al., 1985; Higele, 1985; Artaud et al. 1985) avec l'objectif de définir une méthodologie permettant aux étudiants d'aborder de façon progressive les difficultés de lecture d'un

dessin ou bien de construire ou de réactualiser les opérations qui leur font défaut. Voici les principes qui ont été pris en considération:

- **Se centrer sur l'étudiant** : L'étudiant et ses difficultés de raisonnement doivent être le centre des préoccupations pendant la conception de la méthodologie. L'étudiant doit participer de façon active à l'élaboration de son savoir. L'objectif est de lui faire acquérir une méthode de raisonnement. Il doit pouvoir tâtonner et tenter de découvrir seul la réponse. Ce qui importe, c'est qu'il prenne conscience du cheminement qui lui permet de passer de l'énoncé à la solution.
- **Diagnostic** : L'enseignement du dessin doit procéder à une évaluation de la maîtrise des opérations spatiales des étudiants, c'est-à-dire, faire un diagnostic préliminaire des capacités de l'étudiant, avant d'aborder le dessin. Grâce au diagnostic, nous pouvons avoir une meilleure connaissance du niveau et des possibilités réelles des étudiants et faire des hypothèses plus valides sur le rythme d'apprentissage par exemple. En effet, un étudiant maîtrisant bien les opérations projectives progressera sensiblement plus vite dans la compréhension du dessin et ne sera arrêté que par les problèmes de connaissance.
- **Maîtriser les opérations projectives** : Si nécessaire, faire procéder à l'acquisition de ces opérations spatiales. Pour aboutir à cela, l'étudiant doit manipuler des objets, les construire ou les reconstruire de toutes manières susceptibles de faire des opérations mentales, pour qu'il s'approprie peu à peu des propriétés de l'objet et de l'espace projectif et euclidien; en effet, l'apprentissage du dessin technique (et aussi de la géométrie descriptive) requiert la maîtrise de l'espace et sa représentation. L'étudiant doit apprendre à décentrer par rapport à sa perception immédiate pour se situer de manière abstraite en un point de vue donné. La maîtrise des opérations projectives est nécessaire à la coordination des différents points de vue, car elle permet à un individu de se déplacer mentalement dans l'espace et donc, par exemple, d'imaginer la vue de gauche d'une pièce présentée de face .
- **S'appuyer sur des acquis spontanés des étudiants** : Utiliser des photos d'objets familiers en utilisant le point de vue du photographe.

- **Difficultés progressives** : Conduire l'apprentissage d'une façon progressive, en débutant par la manipulation d'objets, peu à peu remplacés par les dessins, pouvant être des perspectives, puis généralement des vues suivant le principe des projections de façades de maisons.

Blin et al. (1985, p. 56) énoncent comme ceci l'objectif de leur recherche : « Définir une méthode fondée sur un cheminement par étapes, permettant aux élèves d'aborder de façon progressive les difficultés de lecture du dessin technique, méthode qui soit, à la fois un recours pour nos élèves qui ne maîtrisent pas encore certaines relations et opérations spatiales, et un processus d'acquisition raisonnée des savoirs indispensables à la compréhension des formes».

Bal et al. (1985) suggèrent que pour présenter la géométrie du dessin technique aux étudiants, il faille définir les conditions qui respectent aussi bien la logique de l'élève que la logique du contenu. La présentation doit porter à la fois, sur les relations, les actions, les invariants et variations systématiques qui en sont les conséquences au niveau :

- **de l'espace tridimensionnel** : notions de point de vue, de direction du regard, de relations observateur/objet, de changement de point de vue...
- **des relations entre l'espace tridimensionnel et l'espace graphique** : la vue comme expression de la projection sur le tableau visuel, le système des positions des vues comme expression des points de vue, la correspondance entre changements de vue et changement de points de vue et l'équivalence des invariants et des variations systématiques.
- **des actions possibles dans l'espace graphique et leurs propriétés.**

Cette présentation a pour objectif de permettre aux étudiants de se constituer une représentation interne de la géométrie du dessin technique, représentation qui est une des conditions de leur compétence. Il faut aussi que les étudiants soient capables d'opérer (au sens psychologique du terme) sur et à partir de cette représentation. Cela suppose au plan de l'apprentissage qu'ils soient confrontés à un ensemble d'activités portant notamment :

- sur le passage de l'espace tridimensionnel à l'espace graphique, ce qui permettra en particulier d'explorer les invariants et les variations systématiques des formes, dimensions et angles... (Ex.: observer les segments qui conservent leur vraie grandeur, dans les projections)
- sur les actions possibles dans l'espace graphique et leurs propriétés (Ex.: retrouver les dimensions invariantes d'une vue à l'autre ou à partir de vues définissant un objet, produire une autre vue...)
- sur le passage de l'espace graphique à l'espace tridimensionnel (Ex.: à partir du dessin d'une pièce, produire un objet réel de mêmes formes et dimensions par modelages, enlèvement de matière...)

Bal et al. (1985) proposent l'exemple d'une séquence de présentation de la géométrie du dessin technique :

- **Notion de point de vue** : c'est le point d'où on regarde l'objet.
- **Vues principales et points de vue privilégiés** : certains points de vue permettent d'obtenir plus d'information et une information plus pertinente que d'autres (par exemple quand on veut obtenir la VG d'une image, c'est-à-dire, sa vraie grandeur). Les vues principales sont les vues qui correspondent à ces points de vue privilégiés.
- **Les opérations**: les opérations dans l'espace tridimensionnel, dans l'espace graphique, les relations entre les deux espaces, les propriétés des opérations (invariants, variations, systématiques, etc).
- **Le nombre de vues d'un objet** : découvrir le nombre minimum de vues nécessaires pour représenter un dessin sans ambiguïté.

Artaud et al. (1985, p.191) résument bien les difficultés sur lesquelles il faut travailler pour que l'étudiant maîtrise bien la perception et la représentation des formes : « Pour aborder le dessin, posséder, de façon opératoire, la capacité de se déplacer mentalement dans l'espace et/ou de déplacer l'objet pour en saisir les propriétés, apparaît comme une condition indispensable. Il faut donc rendre les élèves capables de (re)construire un objet vu suivant deux dimensions apparentes. Or, la disparition de la troisième dimension lui enlève sa propriété de volume pour le transformer en une figure à deux dimensions, et par ailleurs, la

représentation mentale de l'objet ou sa construction matérielle requièrent la prise en compte des trois dimensions. Cette transformation mentale de l'objet-volume en un dessin-surface, ainsi que l'opération inverse, nous semble être la difficulté majeure des élèves, en même temps que le signe de la maîtrise des opérations spatiales ».

1.5.2. Le modèle de Van Hiele

« Est-ce que c'est possible d'utiliser la didactique comme un chemin de présentation de matériel, pour développer la pensée visuelle de l'enfant vers la pensée abstraite dans un processus continu? » C'est une des questions que s'est posée Dina Van Hiele (1957, p.8) quand elle a effectué sa recherche sur la didactique de la géométrie. Elle disait que la pensée abstraite était nécessaire pour que l'élève puisse avoir une pensée logique en géométrie. Les niveaux plus élémentaires de pensée sont reliés à la perception sensorielle et elle recommandait l'utilisation de matériels concrets et des activités où l'élève peut plier et couper des papiers, construire des maquettes pour développer sa perception spatiale et former des structures visuelles géométriques. Cependant elle dit que la seule utilisation de matériel concret n'oblige pas la formation de structures visuelles géométriques. Toute l'activité développée pour les élèves doit être suivie de discussion sur les idées véhiculées pendant l'activité.

Dina Van Hiele et son mari Pierre-Marie van Hiele, néerlandais, professeurs de mathématiques, ont été convaincus à partir d'observations faites en classe, que les élèves passaient par divers niveaux de pensée dans l'apprentissage des concepts géométriques. Ils ont élaboré un modèle définissant ces différents niveaux lorsque l'enfant développe ses connaissances en géométrie et fournissant des critères permettant de déterminer à quel niveau l'enfant est arrivé.

La théorie des Van Hiele se situe dans une perspective constructiviste et nous présentons ici ses principales caractéristiques, résumées par Gutiérrez (1992, p.32) :

« les niveaux sont ordonnés et séquentiels: chaque niveau correspond à une amélioration des habiletés de raisonnement par rapport au niveau précédent;
chaque niveau a son propre langage: il existe une relation étroite entre niveau et langage;
les niveaux sont continus: quoique à l'origine, l'affirmation de Van Hiele soit en faveur d'une certaine discrétion des niveaux, des résultats de recherches postérieures ont mené la plupart des chercheurs à considérer que le passage d'un niveau au suivant se fait d'une façon continue, étant donné que l'acquisition d'un niveau de pensée par un élève se fera graduellement et peut être observée à travers le temps».

1.5.2.1. Les niveaux de pensée géométrique.

Dans ce qui suit, nous allons présenter quelques caractéristiques des niveaux de pensée du modèle des Van Hiele, résumées par Braconne (1980, p.30).

« Niveau 1: (Identification - Visualisation) L'élève identifie et travaille sur des formes ou autres configurations géométriques selon leur apparence. Il est capable de reconnaître les figures, parmi d'autres et dans diverses positions sans encore analyser leurs composantes ou leurs propriétés. Il peut décrire verbalement les formes selon leur apparence globale. Il ne peut encore établir de comparaison entre des figures qui ont des propriétés communes.

Niveau 2: (Analyse) L'élève analyse empiriquement les figures en tenant compte de leurs diverses composantes. Les propriétés d'une classe de figures sont établies empiriquement et sont utilisées pour résoudre les problèmes.

Niveau 3: (Dédution informelle) L'élève peut formuler et utiliser des définitions, donner des arguments informels pour ordonner les propriétés découvertes précédemment. Il peut aussi suivre et compléter un raisonnement déductif.

Niveau 4: (Dédution formelle) L'élève, à l'intérieur d'un système fondé sur des postulats, établit des théorèmes et des relations entre différents réseaux de théorèmes. A ce niveau, le rôle des axiomes, des termes non définis et des théorèmes est parfaitement compris et des démonstrations originales peuvent être construites.

Niveau 5: (Rigueur) L'élève établit rigoureusement des théorèmes dans des systèmes fondés sur des postulats différents, il analyse et compare de tels systèmes.»

1.5.2.2. Les phases d'apprentissage

Selon les Van Hiele, le passage d'un niveau à l'autre peut être influencé par le processus enseignement/apprentissage. L'enseignant joue un rôle très important afin de faciliter ce processus. Ils donnent des suggestions aux enseignants sur la manière d'organiser l'enseignement de la géométrie pour faciliter et faire passer les élèves d'un niveau de pensée à l'autre, mais c'est l'apprenant qui détermine le moment de changer de niveau. On verra ensuite les phases d'apprentissage.

Phase 1: Information. L'apprenant entre en contact avec le sujet à partir des matériaux que le professeur met à sa disposition et des discussions, par rapport à ces matériaux. Pendant ces discussions, le langage utilisé doit être adapté au niveau de l'apprenant. Celui-ci doit recevoir les consignes sur quoi faire et quoi observer dans les objets.

Phase 2: Orientation guide. Le but de cette phase est de familiariser l'apprenant avec les idées géométriques rattachées aux objets. Il est important que l'apprenant soit actif et explore les objets (en pliant et dépliant, en mesurant,...) pour trouver les relations géométriques entre leurs éléments. Le professeur doit bien choisir les matériaux et bien planifier les activités pour que l'apprenant puisse arriver à former les concepts géométriques adéquats par rapport aux objets étudiés.

Phase 3: Explicitation. L'apprenant devient conscient de l'existence des relations entre les éléments de l'objet et commence à élaborer une connaissance intuitive, en décrivant les concepts dans ses propres mots. Le rôle du professeur est d'expliciter ce que l'apprenant a découvert intuitivement, et introduire un langage mathématique approprié.

Phase 4: Orientation libre. L'apprenant résout des problèmes dont la solution exige la synthèse et l'utilisation de concepts et des relations préalablement élaborées. Le rôle du

professeur est de sélectionner des matériaux appropriés et des problèmes (avec différentes façons de résolution), de donner des instructions qui permettent plusieurs solutions et en plus, encourager l'apprenant à réfléchir sur ces problèmes et leurs solutions. Il doit encore introduire les termes et les concepts nécessaires à la résolution des problèmes.

Phase 5: Intégration. L'apprenant construit un résumé de tout ce qu'il a appris par rapport à un objet, en intégrant ses connaissances à un réseau de connaissances qui peut facilement être décrit et appliqué. Le rôle du professeur est d'encourager l'apprenant à réfléchir et à intégrer sa connaissance géométrique, en mettant l'emphase sur l'utilisation des structures mathématiques. Quand la phase 5 est complétée, un nouveau niveau de pensée a été atteint pour le sujet étudié.

1.5.3. Le choix d'une approche constructiviste.

Voici quelques considérations sur les théories de Piaget et des Van Hiele et des difficultés dans l'apprentissage et l'enseignement de la géométrie descriptive.

Après avoir tenu compte des difficultés dans l'apprentissage et l'enseignement de la géométrie descriptive et revu quelques aspects importants des théories de Piaget et des Van Hiele, il est fort intéressant de faire un lien entre ces théories avant de continuer à construire notre cadre théorique.

Les théories de Piaget et Van Hiele partagent quelques caractéristiques importantes. Les deux donnent beaucoup d'importance au rôle de l'apprenant dans le sens de construire activement sa propre connaissance aussi bien qu'au développement non-verbal de la connaissance, qui est organisé en systèmes complexes. Par exemple, Van Hiele dit que le succès de l'apprenant ne vient pas d'apprendre des faits, des noms ou des règles, mais de la compréhension des relations qui relient des concepts aux processus géométriques et qui sont éventuellement organisés en schémas. L'apprenant doit construire ses abstractions de ses propres activités et de ses modèles systématiques. Le professeur ne peut pas fournir une aide directe à un apprenant qui n'a pas encore atteint un niveau de pensée déterminé. Piaget

et Van Hiele ne sont pas d'accord avec la croyance qu'il suffit d'exposer clairement pour enseigner quelque chose à ses apprenants.

Il y a aussi des différences importantes dans les deux théories. Comme nous l'avons dit plus haut, Van Hiele accorde beaucoup d'importance à l'influence du processus enseignement/apprentissage dans le développement de l'apprenant, tandis que Piaget dit que l'enfant se développe selon certains stades et périodes reliés à son âge. Pour «stades» de Piaget, Van Hiele pense à stades de transition (par exemple, du stade des opérations concrètes à celui des opérations formelles). Quand l'apprenant progresse d'un stade à l'autre, premièrement il ne comprend pas une idée, donc il se dirige vers une transition et finalement il comprend cette idée. Van Hiele (1959, p.14) affirme que «Les stades et les périodes décrits par Piaget ne sont pas essentiellement reliés à un âge en particulier, mais sont des caractéristiques de plusieurs processus d'apprentissage, indépendamment de l'âge dans lequel ils se passent »

Selon Clements et Battista (1992), peu de recherches ont été faites dans le sens d'établir des similitudes et des différences entre les théories de Piaget et Van Hiele. Une, qu'ils citent dans leur article, est celle de Denis (1987), qui dit que pour les étudiants du secondaire, les niveaux de Van Hiele semblent être hiérarchiques à travers des stades des opérations concrètes et des opérations formelles de Piaget. Denis remarque que seulement 36% des étudiants qui ont eu des cours de géométrie au secondaire, ont atteint le stade des opérations formelles et que la majorité a atteint seulement le niveau 3 dans la hiérarchie de Van Hiele.

D'après notre expérience de 15 ans comme professeur de géométrie descriptive, nous sommes d'accord avec Van Hiele. Nos étudiants de la première année des cours d'architecture et de génie ont en moyenne 18 ans, ayant dépassé déjà la période de l'adolescence, dans laquelle nous retrouvons le stade des opérations formelles (11 à 15 ans) selon Piaget. Goulart (1989, p.37) dit:

« Le quatrième stade, celui des opérations formelles, présente comme caractéristique essentielle la distinction entre le réel et le possible: l'adolescent, quand il résout un problème, est capable de prévoir toutes les relations qui peuvent être valides et ensuite essayer de déterminer, par expérimentation et analyse, lesquelles des relations possibles ont une validité réelle. Au lieu de se limiter à organiser ce qui lui arrive à travers les sens, l'adolescent a la capacité potentielle d'imaginer ce qui pourrait être. Il n'y a pas de doute que ce développement est le résultat de la réussite de toutes les opérations logiques antérieures ».

Malgré que nos étudiants aient déjà dépassé la période de l'adolescence, nous avons constaté un manque de perception spatiale qui rend difficile l'apprentissage de la géométrie descriptive. Durant la période où nous avons enseigné cette discipline, nous avons essayé quelques méthodologies à caractère constructiviste et utilisé aussi des matériels concrets pour faciliter la compréhension des concepts plus abstraits, comme nous l'avons déjà décrit, mais nous avons fait tout cela de façon intuitive, sans comprendre exactement les difficultés des étudiants pour apprendre la géométrie descriptive.

Dans les prochaines étapes de cette recherche, nous devons proposer une méthode pour l'enseignement de la géométrie descriptive. Nous pensons tenir compte du modèle des Van Hiele et des périodes de développement cognitif de l'enfant selon Piaget. Nous devons considérer le « passé des apprenants », notamment de ceux qui n'ont pas eu d'expériences appropriées aux moments opportuns pour développer les habiletés de visualisation spatiale, d'interprétation et de représentation de l'espace à travers des perspectives et des projections. Comme nous venons de le voir, ces habiletés peuvent être développées à travers une méthodologie appropriée, mais ne peuvent pas vraiment être enseignées. Il faut donc donner aux étudiants l'occasion d'apprendre en activité, mais l'activité crayon-papier et /ou l'usage de matériel est encore plein d'embûches. C'est là qu'apparaît l'ordinateur comme outil qui rend plus facile et possible l'activité de l'étudiant sous la forme d'interactivité avec la machine. À partir de cette possibilité, nous avons eu l'idée de développer un outil informatique. Dans les paragraphes qui suivent, nous donnons un premier aperçu du système que nous avons conçu en expliquant nos intentions en nous appuyant sur les facteurs pédagogiques décrits par Marton (1994). Cette partie se trouve en même temps à expliciter plusieurs raisons qui nous ont amenée à nous tourner vers l'outil informatique, raisons qui s'ajoutent à celles déjà exposées.

1.5.4. Vers la concrétisation de la théorie dans un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif (SAMI).

Ce que nous voulons ici, c'est de créer un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif qui tienne compte de l'ensemble des difficultés des étudiants pour apprendre la géométrie descriptive et de la possibilité de renforcer l'enseignement et l'apprentissage par le recours à la technologie, du Multimédia. Pour concevoir et développer le système, que nous avons appelé **GDVisu@I**, nous allons tenir compte des facteurs pédagogiques proposés par Marton (1994), qui sont : la motivation, le rythme individuel, la participation active, l'interaction, la perception sélective, l'organisation des messages, la stratégie de l'organisation des ressources, la structuration du contenu, la réalisation d'activités variées, le choix des méthodes pédagogiques, le guidage, les exercices adaptés et variés, la connaissance immédiate des résultats, l'application des connaissances et l'articulation avec les contacts humains. Examinons maintenant chacun de ces facteurs pédagogiques en fonction du système envisagé : **GDVisu@I**.

1.5.4.1. La motivation

Le **GDVis@I** présente des situations typiques du contexte d'un étudiant ou d'un professionnel de l'architecture et de génie. Les questions et les exercices sont formulés de façon à représenter des défis intéressants, de sorte que l'apprenant aura le goût de les résoudre et d'en découvrir la réponse. Le jeu sera utilisé pour aider à la fixation de l'apprentissage.

Sans doute, l'apprentissage implique également des affects. Vivre une expérience d'apprentissage, c'est aussi vivre ou passer par des expériences psychoaffectives. Depover et al. (1998, p.99) disent que la dimension affective est impliquée dans toute activité intellectuelle et forme un tout indivisible avec la sphère cognitive. Ils continuent en disant :

« Les environnements d'apprentissage multimédia peuvent mettre en place des conditions permettant de toucher l'émotivité de l'être humain et de redonner

une place de choix à son affectivité. Ils peuvent soutenir les émotions, l'imagination, le plaisir, la motivation, ils peuvent aussi favoriser les interactions sociales ».

Piaget et Inhelder (1966b) abordent principalement cette dimension en parlant du jeu, qu'ils considèrent comme une condition vitale du développement de l'enfant. Même si nous sommes en train de travailler avec des jeunes adultes, le jeu peut avoir un rôle important dans la motivation et l'apprentissage.

Pour sa part, Bruner (1983) établit également un lien étroit entre l'action, l'usage d'outils d'une part et le jeu, l'activité ludique d'autre part. Pour lui, il est clair que le jeu assure un rôle central dans l'acquisition de conduites et de savoir-faire spécifiques. La raison principale est qu'il constitue une activité qui permet de minimiser les conséquences de ses actes. Se déroulant dans une situation comportant peu de risques, le jeu représente une occasion toute particulière d'apprendre. Autrement dit, il fournit l'occasion d'essayer des combinaisons de conduites ou d'actions qui, sous des pressions fonctionnelles, ne seraient probablement pas tentées. Le jeu constitue donc, pour Bruner, l'occasion privilégiée de repousser les limites du savoir-faire déjà acquis.

1.5.4.2. Le rythme individuel

Même sans avoir l'intention de faire une rigoureuse modélisation de l'étudiant, nous allons considérer des facteurs que Giardina (1999) suggère comme étant importants tels la capacité du système de tenir compte du processus d'apprentissage des étudiants et de leurs différences individuelles. Il dit qu'il y a des études qui semblent indiquer que l'attitude des individus devant les situations d'apprentissage s'améliore en cours d'apprentissage si le système prend davantage en considération leurs besoins spécifiques comme par exemple : le fait de pouvoir progresser à son propre rythme, l'impression d'être évalué d'une façon plus objective, la présence d'une réaction constante et significative de la part de l'ordinateur et la possibilité de commettre plusieurs erreurs sans se sentir coupable. Giardina (1999, p.38) dit que :

« Quand le système tient compte des différences individuelles, l'interactivité devient une relation bidirectionnelle où l'environnement médiatisé est plus « conscient » de ce que l'apprenant fait. L'interactivité devrait permettre à l'apprenant de manipuler ou de transformer les objets que le concepteur aura défini dans telle ou telle situation d'apprentissage. Elle permet à chaque apprenant de suivre son propre cheminement, de créer sa propre histoire à l'intérieur d'une même situation d'apprentissage ».

La possibilité d'enregistrer la trace de l'étudiant pour que le professeur puisse suivre son cheminement rend chaque étudiant un individu unique. C'est l'enseignement individualisé plutôt qu'individuel. L'enseignement individuel s'adresse à un étudiant à la fois, la nature de l'enseignement n'y est pas nécessairement adaptée pour répondre aux conditions de l'apprenant à un moment donné (Merril, 1988). Depover et al. (1998, p.101) disent que :

« Un enseignement individualisé ou personnalisé n'est pas forcément individuel... Par exemple, les applications pédagogiques de l'ordinateur peuvent facilement permettre d'individualiser l'enseignement mais la plupart de ces applications ont souvent représenté des exemples d'enseignement individuel plutôt qu'individualisé. En effet, si on n'intègre pas la dimension d'adaptabilité à l'intérieur de ce genre de situations médiatisées afin de rendre la situation d'apprentissage conforme aux besoins uniques de chaque apprenant, on ne peut pas réellement parler d'individualisation ou de personnalisation de la formation. »

À partir de notre expérience comme professeur de géométrie descriptive, nous avons pu observer que les apprenants n'ont pas les mêmes niveaux par rapport aux concepts nécessaires pour bien apprendre la discipline. Pour cette raison, nous pensons concevoir une série de tests dans la première partie du GDVisu@1, qui va servir à diagnostiquer le niveau où se situe l'apprenant. À partir de ses réponses, il sera dirigé vers des activités adaptées à son niveau et à son rythme.

1.5.4.3. La perception sélective

La multimédiatisation, c'est-à-dire, le processus de mise en forme de plusieurs messages, va faciliter la visualisation des opérations communes de la géométrie descriptive et les transformations provenant de changement de perspective ou de point de vue.

Nombreuses sont les recherches consacrées aux effets de l'utilisation simultanée de différents médias sur un même support : textes, images fixes, images animées, sons (Kats et Lesgold, 1996; Levonen, 1996; Merlet et Gaonac'h, 1996). Merlet (1998) a établi une synthèse de ces différents travaux et elle souligne que, depuis environ vingt ans, plusieurs recherches ont mis en évidence les effets facilitateurs des images adjointes à un texte sur la compréhension et la mémorisation de celui-ci. L'objectif de plusieurs de ces recherches, est de déterminer le rôle des illustrations sur l'acquisition de connaissances ou la résolution de problèmes. Levie et Lentz (1982) ont examiné 48 recherches qui ont permis de montrer une supériorité très nette des conditions imagées par rapport aux conditions sans image. Sur l'ensemble des études recensées, les conditions imagées conduisent à des performances de 36 % supérieures en moyenne. La synthèse plus récente de Levin et al. (1987) rapporte des effets facilitateurs qui dépassent encore ceux qu'ont recensés Levie et Lentz (1982).

La disposition de l'information concerne aussi la mise en forme du texte et ceci influence la perception et donc le traitement du texte (Caro et Bétrancourt, 1998). La perception d'un texte à l'écran est régie par les mêmes mécanismes et a les mêmes caractéristiques que la perception d'un texte imprimé sur une feuille de papier. Une différence réside dans le « blanc » : un écran de texte doit être plus aéré qu'une feuille de texte. Selon Coe (1996), la quantité d'espace blanc nécessaire sur un document papier serait de 25 à 40 % tandis qu'elle serait de 40 à 60 % sur un écran.

Le GDVisu@I présentera une nouveauté par rapport aux médias usuels (images fixes, animations, vidéos). L'étudiant pourra manipuler des objets virtuels, en simulant les mouvements d'une opération commune dans la géométrie descriptive, comme un rabattement par exemple.

Pour être efficace, un système doit respecter un certain nombre de principes et tenir compte de contraintes. Les aspects visuels sont importants, mais ce ne sont pas les seuls comme nous le verrons dans ce qui suit.

1.5.4.4. L'organisation des messages

1.5.4.4. L'organisation des messages

Tricot et Rufino (1999, p.108) disent que la disposition ou la répartition de l'information sur un écran joue un rôle important mais difficile à cerner. Ils ont étudié les travaux menés par plusieurs chercheurs (Cherry et al. 1989; Giroux et Belleau, 1986; Kaltenbach et al. 1991; Lansdale et al. 1990; Waterworth et al. 1993), sur la compréhension des icônes fonctionnelles, sur la place de la barre de menu sur l'écran, etc. Ils disent : « Les utilisateurs ne comprennent pas mieux que tel bouton de déplacement soit à gauche ou à droite, en haut ou en bas de l'écran: ils ont l'habitude qu'il soit en haut à gauche. Ainsi, la disposition des informations à l'écran la mieux perçue est souvent celle qui respecte les grandes conventions, les chartes ergonomiques, proposées par exemple par les grands constructeurs (Apple, IBM, etc.) ou les éditeurs de logiciels de conception ».

Les couleurs jouent aussi un rôle important dans la présentation des messages à l'écran. Selon Tricot et Rufino (1999), l'information textuelle est mieux perçue si elle est présentée avec les mêmes couleurs que l'impression papier traditionnelle. Pour d'autres informations ou pour mettre en valeur telle ou telle partie de l'écran, l'utilisation de la couleur requiert parcimonie et équilibre. La perception est meilleure quand le nombre de couleurs est limité et quand certains contrastes malheureux sont évités (Bruce et Foster, 1982; Murch, 1995).

1.5.4.5. La structuration du contenu

Plusieurs recherches ont été développées sur les effets des différentes structures que peut avoir un système interactif sur l'utilisation et la compréhension de celui-ci. Les chercheurs se demandaient : pour quel type de tâche il est meilleur d'utiliser une structure linéaire, hiérarchique, réseau? Chen et Rada (1996) ainsi que de Vries et Tricot (1998) ont fait une synthèse de ces résultats, en mettant en évidence quelques points de convergence et de divergence.

Une étude de Gray (1990) montre que les utilisateurs préfèrent le linéaire mais comprennent mieux avec le hiérarchique. Une organisation linéaire entraîne de faibles

performances, mais peut être améliorée : par exemple avec une table de matières et un index ou avec un plan interactif (Mohageg, 1992; Silva, 1992).

1.5.4.6. La stratégie de l'organisation des ressources

Le GDVisu@l sera conçu pour travailler à distance et pour faire partie d'un ensemble d'activités dans le cours de géométrie descriptive.

1.5.4.7. La réalisation d'activités variées

En partant du principe que l'individu apprend à partir de son action, de sa propre expérience, le GDVisu@l est conçu de façon à offrir des activités variées, soit de choisir la meilleure représentation, de faire une représentation à travers un dessin, des activités de manipulation directe, de manipulation indirecte, des questions de choix multiples, des exercices pour signaler si les affirmations sont vraies ou fausses et des jeux. Les exercices proposés seront à la fois de caractère ludique, mais toujours avec le but de faire raisonner et réfléchir l'étudiant pour construire lui-même sa connaissance.

1.5.4.8. Le choix des méthodes pédagogiques

La conception d'un scénario d'enseignement destiné à un environnement informatisé n'est pas simple. Tricot et Rufino (1999) disent que les scénarios d'interaction dans les multimédias et plus largement dans les environnements interactifs d'apprentissage sont à inventer. De leur rencontre avec des équipes de concepteurs d'environnement interactifs d'apprentissage, ils sont venus à penser (sans que cela n'ait la moindre valeur scientifique selon eux), que les enseignants-concepteurs s'intéressent plus à l'élaboration du scénario pédagogique (aspects pédagogiques de l'interaction de l'étudiant avec la machine) qu'à la définition de modalités d'interaction (aspects concrets et matériels de l'interaction de l'utilisateur avec la machine). Tricot et Rufino (1999, p.122) observent aussi que : « Il ne suffit pas de connaître et d'appliquer quelques règles de base de l'ergonomie des interfaces pour concevoir de bonnes modalités d'interaction. Chaque interface est particulière aux

contenus et aux objectifs du système ». Et nous pouvons ajouter que, à ce chapitre, les choix doivent aussi être conditionnés par des considérations sur l'apprentissage.

Charlier (1999) nous propose justement une schématisation du processus d'apprentissage ou de l'acte d'apprendre en se basant sur les idées développées par Piaget, Vygotsky et Bruner, qui ont consacré une part significative de leurs travaux à conceptualiser la notion d'apprentissage ou de développement intellectuel, et à tenter d'en articuler les dimensions essentielles. Il analyse les dimensions sémiotique, opérative, réflexive, psychoaffective et sociale de l'apprentissage.

Charlier (1999, p. 63) explique notamment que « L'apprentissage est souvent défini comme un processus d'acquisition, de construction et encore de transformation de savoirs. Apprendre, c'est assimiler ou construire des connaissances, c'est acquérir la maîtrise de concepts, de théories, de contenus intellectuels ou, plus modestement, c'est parvenir à saisir des informations, à se les approprier et à les organiser en savoirs ».

Quand on parle de savoirs, on pense aux savoirs qui se présentent et se transmettent sous forme de textes, de discours (concepts, théories ou même récits), mais aussi sous forme d'images, d'illustrations, de dessins, de graphiques... En langage technique, disons qu'il s'agit de savoirs sémiotisés, c'est-à-dire objectivés à travers un langage ou un système de signes, quel qu'il soit.

Dans la dimension sémiotique de l'apprentissage, apprendre signifie s'approprier, manipuler, maîtriser des contenus de savoirs objectivés dans des signes ou des représentations. Apprendre, c'est donc construire et transformer des connaissances.

Charlier (1999) parle du modèle d'apprentissage ou du processus de construction du savoir élaboré par Monteil (1985). Il différencie et articule des concepts souvent confondus, tels : information, connaissance et savoir. Dans ce modèle, le concept d'information vise une donnée extérieure au sujet (apprenant), que celui-ci extrait du contexte et incorpore (emmagasine) dans son propre système cognitif. La connaissance est ce que devient

l'information lorsqu'elle est intégrée par le sujet, c'est-à-dire lorsqu'il se l'approprie et la traite de manière personnelle. La connaissance relève entièrement de l'activité du sujet, elle lui est personnelle et, en tant que telle, elle est incommunicable, intransmissible à autrui. Le savoir est ce que devient la connaissance lorsque le sujet parvient à l'exprimer, à l'objectiver dans son discours. Le savoir, en tant que produit communicable, est une information. Ce processus est circulaire et ouvert. L'interaction sociale du sujet joue un rôle important. Charlier dit que ce modèle privilégie les savoirs scolaires, conceptuels, soit la dimension sémiotique de l'apprentissage. Il essaie d'élargir ce modèle en introduisant la dimension opérative de l'apprentissage, qu'on verra plus loin.

Pour Bruner (1983, p. 255) la compétence suppose en effet l'action, la modification de l'environnement comme l'adaptation à cet environnement. Il se demande si « ...cette dimension opérative du «savoir comment» ou du savoir-faire ne sera-t-elle pas, au-delà ou à côté du «savoir que», une dimension essentielle présente dans tout apprentissage? »

Piaget (*In* Linard, 1990, p. 88, note n° 1) semble bien partager cette vision des choses, quand il écrit : « Les connaissances dérivent de l'action, non pas dans le sens de simples réponses associatives, mais, dans un sens beaucoup plus profond qui est celui de l'assimilation du réel aux conditions nécessaires et générales de l'action. Connaître un objet, est agir sur lui et le transformer ».

Piaget et Bruner s'accordent donc sur l'importance de cette dimension de l'action dans l'apprentissage, ce terme d'action visant une appréhension corporelle, sensorielle et motrice du monde ainsi qu'une transformation de ce monde.

Vygotsky (1978) s'intéresse au rôle des outils dans le développement intellectuel et analyse la question du rapport entre outils et signes au sein de ce processus. Pour lui, le développement intellectuel fait fondamentalement intervenir ces deux systèmes: les systèmes d'instruments techniques (*tools*) et les systèmes de signes (*signs*) qu'il qualifie aussi d'instruments psychologiques. Selon lui, bien des systèmes se développent au départ de manière séparée, celui de signes et celui d'outils se rejoignent à un moment donné pour

constituer les deux faces indissociables de l'interactivité entre l'homme et son environnement ou, encore, en reprenant ses propres termes, pour constituer les deux éléments de la médiation socioculturelle du fonctionnement mental de l'individu.

Par des voies différentes, ces trois auteurs semblent se rejoindre non seulement sur la distinction entre deux dimensions de base de l'apprentissage (ou du développement), la dimension représentationnelle-conceptuelle-sémiotique d'une part et la dimension opérative (Bruner), pratique ou sensori-motrice (Piaget) ou encore instrumentale (Vygotsky) d'autre part, mais aussi sur l'articulation profonde de ces deux plans.

Pour nommer cette dimension de l'action, nous proposons, en citant l'expression de Bruner, de parler de *dimension opérative de l'apprentissage : apprendre comme l'action d'expérimenter, de manipuler et de transformer le monde sensible.*

Piaget et Bruner signalent au sein du processus d'apprentissage la présence d'une activité qui relève d'une mise à distance du sujet par rapport à sa pensée et par rapport à son action, démarche essentielle si l'on considère la conduite même de l'action. Dans ce type d'activité, le sujet se dédouble en quelque sorte, en adaptant une posture réflexive, mais aussi en maintenant une tension, une présence dans l'action. Charlier nomme cette dimension de l'apprentissage de dimension réflexive mais il dit qu'on peut parler aussi de dimension métacognitive de l'apprentissage. Selon Paquette (1999, p. 145) « Les métaconnaissances permettent à l'individu d'améliorer ses façons d'apprendre, facilitent ses opérations de transfert d'un domaine d'application connu à de nouveaux domaines d'application, lui donnant l'habileté d'apprendre de façon de plus en plus autonome. Toute personne qui apprend de nouvelles connaissances, utilise des métaconnaissances sans qu'elle en soit nécessairement consciente. Mais ce processus a avantage à devenir un acte conscient de la part de l'apprenant ». Encore par rapport aux métaconnaissances Noël (1991) dit que c'est un processus mental où la personne prend connaissance de ses propres processus cognitifs et de leurs produits et en assume le contrôle .

L'approche choisie pour bâtir le GDVisu@I est le constructivisme. Nous allons aussi tenir compte du modèle proposé par les Van Hiele et les suggestions des chercheurs (Artaud et al., 1985, Bal et al., 1985, Blin et al., 1985, Higele, 1985) qui travaillent avec l'enseignement du dessin technique, qui utilise les mêmes habilités nécessaires pour apprendre la géométrie descriptive.

1.5.4.9. La participation active et l'interaction

L'apprenant devra avoir un rôle actif pendant l'utilisation du GDVisu@I. Il devra résoudre des problèmes graphiques, c'est-à-dire dessiner et observer les images sous différentes perspectives et projections et les analyser. Il aura la possibilité de «manipuler», au moins virtuellement, les images, les objets. Pendant tout le temps de l'utilisation du système, il devra agir et réagir à ce qui lui est proposé.

Selon Giardina (1997, p.200) :

«Les systèmes ne doivent pas être seulement des outils qui permettent de faire des choix, de sélectionner, mais ils doivent permettre de pousser ou d'activer davantage le potentiel cognitif d'un individu. Ils doivent faire réfléchir, lui permettre d'approfondir, de faire des associations qu'il n'avait pas vues, de systématiser un peu sa démarche, lui permettre de s'arrêter pour pouvoir revenir, de faire des erreurs pour en voir les conséquences. Donc, dans cette dimension cognitive, l'interactivité n'est plus réduite au fait que je puisse cliquer avec la souris pour faire un choix, mais le système devient un moyen pour activer des stratégies qui sont plus profondes chez l'utilisateur, des stratégies d'ordre cognitif, c'est-à-dire qui lui permettent d'activer le fait de pouvoir, par exemple, résoudre des problèmes, prendre des décisions, associer, trier, toutes choses qui le font travailler mentalement, intellectuellement ».

La façon d'interagir avec le système doit être simple. L'ajout de fonctionnalités dans un système a un effet de surcharge cognitive. Dans une série de recherches expérimentales, Wright et Lickorish ont bien illustré ce paradoxe. Ils disent que quand on propose trop d'outils pour l'aide à la navigation et à la recherche d'informations, on gêne l'utilisateur plus qu'on ne l'aide (Wright, 1991; Wright et Lickorish, 1990, 1994). Selon ces auteurs, deux raisons expliquent ce constat : l'ajout de fonctionnalités surcharge l'écran, rendant

impossible la perception de toutes les fonctionnalités, notamment en début de consultation du système; l'ajout de fonctionnalités surcharge l'apprentissage, car l'utilisateur doit découvrir et apprendre le fonctionnement de chacune de ces fonctionnalités.

Rouet (1999) dit que les hypertextes peuvent proposer des « schémas rhétoriques » nouveaux, mais ceux-ci doivent remplir une fonction communicative précise et préserver un certain degré d'analogie avec la culture des utilisateurs afin de permettre leur « accommodation » progressive.

1.5.4.10. Le guidage

Selon Paquette (1999, p.161) « Le formateur devrait intervenir, la majeure partie du temps, sur l'initiative de l'apprenant, mais il doit disposer d'un ensemble de principes d'intervention qui lui indiquent quand fournir une aide dans certains cas extrêmes, bien identifiés, qui pourraient compromettre la qualité des interactions et de l'apprentissage ».

Giardina (1997, p. 209) dit :

« On redécouvre cette relation maître-apprenti, où justement l'apprenti était en train de faire des choses sous l'œil du maître, et où le compagnonnage était dans le fait que le maître décidait de laisser l'apprenti aller plus loin dans ses erreurs, et a un certain moment avait à intervenir pour l'orienter. Alors, dans un système interactif, cela est très important. Dans tout système médiatisé qui se veut centrer sur l'apprenant, l'utilisateur, la dimension d'avis, de compagnonnage, est importante, c'est-à-dire la possibilité d'observer, de suivre un peu les décisions-action de l'apprenant, et par la suite de lui donner un avis sur ce qu'il est en train de faire. Un avis, cela ne signifie pas lui dire que c'est mauvais ou que c'est bon, cela ne signifie pas le tirer absolument vers une seule et unique solution. La stratégie d'avis signifie qu'il y a probablement plusieurs chemins pour arriver à cette solution, et c'est dans cette optique qu'il faut revoir l'interactivité, c'est-à-dire une stratégie d'avis pour conseiller, guider, donner des suggestions – dans le sens de dire : tu as fait ça, mais as-tu pensé à ça, ça ou ça... quand je dis ça, je ne suis pas en train de donner une solution, mais un avis, des suggestions, des indices. Et c'est donc dans cet esprit de compagnonnage que l'interactivité acquiert toute sa dimension de flexibilité et d'efficacité dans un système ».

L'architecture du GDVisu@l permettra de garder la trace de l'étudiant et comme ça le professeur pourra suivre le déroulement des activités de l'étudiant. Le guidage proprement dit sera fait davantage au tout début, alors que les réponses aux questions du test conduiront l'apprenant vers la partie du système en accord avec son niveau de connaissance. Après cela il sera fait à travers des objets d'intervention lorsque l'étudiant fait une erreur. L'étudiant pourra aussi demander l'aide d'un professeur de façon synchrone ou asynchrone.

1.5.4.11. La connaissance immédiate des résultats

L'idée de traiter l'erreur de l'étudiant n'est pas nouvelle. Pressey (1926) fut probablement l'un des premiers à suggérer que le fait de fournir un feed-back durant un test augmenterait l'utilité de celui-ci comme moyen d'enseignement. Birzée (1982) définit l'évaluation formative comme celle qui est conçue comme une rétroaction permanente au cours de l'apprentissage, une comparaison continue entre les objectifs poursuivis et les résultats de l'élève. Elle s'intègre au processus d'enseignement afin de suivre de façon régulière le cheminement de chaque élève.

Scallon (1983) a insisté sur le rôle continu de l'évaluation formative afin d'assurer une progression pour chaque élève avec l'intention de modifier le rythme de cette progression dans le but d'y apporter, s'il y a lieu, des correctifs ou des améliorations. Provancher (1985) souligne qu'un des attributs essentiels des feed-back correctifs c'est de procurer à l'élève l'information relative à ce qu'il doit faire pour corriger ses déficiences s'il veut poursuivre sa tâche. Ainsi, le feed-back correctif doit indiquer à celui qui apprend non seulement si sa réponse est exacte ou non, mais aussi les erreurs qu'il a commises et la façon de les corriger. Dans le cas de la réponse correcte, le feed-back sert à confirmer la justesse ou l'exactitude de la réponse tandis que dans le cas d'une erreur, le feed-back fournit l'information qui pourrait être nécessaire pour corriger l'erreur. Ce processus de confirmation-corrrection aiderait beaucoup à l'amélioration de la performance, à la condition qu'un feed-back soit présenté au cours de l'évaluation. Dans l'apprentissage de tâches caractérisées par un contenu structuré, comme dans le cas de la géométrie

descriptive, où chaque notion est reliée à des notions acquises antérieurement et constitue un passage obligé pour des notions à venir, la nécessité des feed-back paraît encore plus grande que dans le cas de matières moins structurées.

En construisant du matériel autocorrectif, deux variations sont possibles : la valeur informative du feed-back, associée à la richesse en informations et la structure du feed-back, associée à sa forme ou son mode de présentation. La première variation traite de la complexité du feed-back et ce sujet a été étudié par plusieurs chercheurs, tels : Phye (1979), Sturges (1969), O'Neil et al. (1976) et Kulhavy et al. (1985). La complexité d'un feed-back peut être associée à la quantité d'informations fournies, allant de la simple communication des bonnes réponses (à des questions posées) jusqu'à la présentation d'informations substantielles accompagnant les bonnes réponses et fournissant des explications ou indices pouvant conduire à la solution. Par rapport à la structure du feed-back, l'information de retour est étroitement reliée à la structure même des questions ou de l'ensemble des exercices proposés aux étudiants. À partir de recherches qu'il a recensées, Provancher (1985) conclut que l'efficacité du feed-back dépend en partie de la richesse des renseignements qu'il contient et pourrait donc influencer d'une façon positive le processus enseignement-apprentissage.

Selon Depover et al. (1998) dans des environnements interactifs, l'enseignement prend souvent la forme de simulations ou de résolution de problèmes, dans lesquelles les explications sont fournies à l'apprenant quand la partie « raisonnable » du système détecte que l'apprenant est en difficulté. Deux questions sont soulevées dans cette approche, soit « Quand interrompre l'apprenant? » et « Que lui dire ? » en lui donnant une explication. Dans un contexte d'environnement tutoriel intelligent multimédia, le but est de faire identifier les différentes connaissances d'un domaine, par des experts, afin de le modéliser et de créer une dimension d'interaction qui guide et suggère (Wengler, 1987). L'approche diagnostique de modélisation de l'apprenant s'occupe davantage des fausses représentations que des représentations manquantes. Il suppose la construction de répertoires d'erreurs. Cela est très lourd et amène les chercheurs à se tourner vers d'autres approches qui prennent davantage en considération la structuration du domaine afin de

déterminer les erreurs les plus fréquentes qui sont susceptibles de se produire (Giardina, 1999).

Dans GDVisu@l, un feed-back est fourni à l'apprenant après chaque activité. Cela donnera une impression de réaction de la part de la machine face à l'action de l'apprenant et visera à établir une communication entre les deux.

1.5.4.12. L'application des connaissances et l'articulation avec les contacts humains

Selon Depover et al. (1998, p. 97) l'étudiant doit se sentir ou vivre une relation réelle, fondée sur l'échange amical, avec son environnement médiatisé. Il continue en disant :

« En plaçant l'individu au centre du système, le concept d'interactivité est lié aux moyens utilisés pour le mettre en œuvre. Ce concept se concrétise par ses dimensions multi-sensorielles et par le temps de réaction ou de réponse du système suite à une décision ou à une requête de l'apprenant. Dans cet effort pour bâtir, ou mieux, pour simuler une interaction quasi-humaine, les voies d'accès à cette communication doivent être faciles pour l'utilisateur. Les périphériques et les objets virtuels représentés à l'écran sont les points de contact sensoriels les plus proches de l'utilisateur, ils doivent être naturellement perçus pour que la concentration sur l'acte d'échange physique tactile, visuel ou auditif passe aisément au niveau cognitif en facilitant des fonctions telles que naviguer, consulter, trier, manipuler, traiter et modifier les informations pour supporter la construction des savoirs. »

Paquette (1999, p.160) recommande qu'il faut éviter de se reposer sur un seul mode d'assistance. Il dit que :

« Un formateur unique peut devenir trop omniprésent ou mal synchronisé aux besoins de certains apprenants, ce qui réduit la qualité des interactions. À l'opposé, un système d'assistance entièrement informatisé risque d'engendrer des frustrations chez les apprenants qui n'y trouvent pas nécessairement l'aide qu'ils cherchent. Par contre, une combinaison d'aide et de conseils informatisés peut offrir un bon dépannage de première ligne qui ouvre la voie à des interactions moins nombreuses, mais plus profondes, avec un formateur humain ».

Depover et al. (1998, p.102) disent : « Un environnement d'apprentissage multimédia bien instrumenté devrait également être attentif aux capacités d'échange homme-machine en ayant recours aux divers canaux de communication sur lesquels un individu est capable de s'appuyer pour acquérir ou traiter des informations ».

1.5.5. Moyens pédagogiques de diffusion

1.5.5.1. Les différentes possibilités

Initialement le système GDVisu@l devrait être fait pour fonctionner sur un CD-ROM, mais après que le travail collaboratif avec Paulo Pavel fut commencé, il est devenu possible de le placer sur Internet, pour être utilisé dans un cours à distance, aussi bien que dans un cours avec la présence d'un professeur. Il y a aussi une troisième possibilité d'utiliser le système dans un cours régulier, où les activités de manipulation directe et les animations pourront servir à en faire un système pouvant être utilisé par le professeur afin de montrer aux étudiants les opérations plus difficiles à concrétiser avec le matériel 3D ou même à représenter avec exactitude sur le tableau noir. Des exemples typiques pourront être l'épure, le rabattement de plans, la rotation de figures, le changement de plans, etc. On analysera ces possibilités avant de faire notre choix final.

On ne rentrera pas ici dans la question de l'éducation à distance proprement dite, mais on présentera quelques avantages et désavantages de l'utilisation d'un système d'apprentissage mis sur un CD-ROM et sur l'Internet.

Avantages du système sur un CD-ROM

- La plupart des systèmes ont des outils d'éditions et des langages très sophistiqués pour faire de la programmation.
- Comme ils existent déjà depuis quelques années, il y a beaucoup de publications pour aider ceux qui veulent développer un système et aussi beaucoup de support matériel.
- L'auteur a le contrôle des données, et il peut restreindre sa distribution.

Désavantages du système sur un CD-ROM

- Les logiciels de programmations ont des limitations, parfois restreintes à une seule plate-forme.
- Si l'auteur ne crée pas des dispositifs d'importation pour faire l'actualisation des données, la prochaine édition peut être un problème.
- On peut questionner l'expectative de vie de ces produits.
- Le public cible est limité par le processus de distribution (ex. le prix et la vitesse de production des CD-ROM) et des plates-formes exigées pour fonctionner.
- Si le produit a une nouvelle version, il faut avoir une série d'informations sur les changements et une nouvelle distribution de celui-là.
- Même si les producteurs de logiciels d'éditions de multimédia essaient de les faire plus conviviaux pour l'utilisateur, la difficulté d'apprentissage de quelques logiciels est encore assez élevée.

Avantages du système sur l'Internet

- Dès que quelqu'un a accès à un serveur, la publication du matériel est gratuite.
- Le langage HTML utilisé sur internet est très facile à apprendre.
- L'utilisation des langages ASCII, HTML par exemple, qui n'ont pas un propriétaire spécifique, le fait d'utiliser des images JPEG ou GIF, donnent une longue expectative de vie aux matériels placés sur le WEB. Ils peuvent être utilisés sur différentes plates-formes, comme par exemple, le PC, le Macintosh, Unix...
- Dès que le matériel est prêt, il est disponible pour l'utilisation par un public international sans frais additionnels.
- Les liens avec un document ne sont pas restreints à une donnée dans la machine ou à un programme contenu sur un CD-ROM; le document est ouvert d'une façon internationale. D'un autre côté, si on pense créer un environnement virtuel

pour nos étudiants, sur le WEB il peut facilement servir à des étudiants d'autres écoles et universités, grâce à un simple lien.

- Les logiciels utilisés pour produire sur le WEB sont gratuits dans la plupart des cas (pour naviguer et pour les serveurs) ou sont peu chers et faciles à utiliser.
- Sur le WEB nous commençons à avoir des multimédias (en incluant vidéo et audio) ajoutés au texte d'une meilleure qualité.
- Il est facile d'actualiser les fichiers pour faire une nouvelle version d'un cours par exemple.

Désavantages de système sur l'Internet

- Jusqu'à ce moment, les outils pour faire une bonne interface et des animations sur le WEB ne sont pas trop avancés comme ceux utilisés pour faire ces mêmes choses sur un CD-ROM. Cependant, quelques outils ont été développés pour faciliter ces tâches, comme Java et JavaScript.
- L'accès aux réseaux est encore lent. Probablement c'est la plus grande critique par rapport à l'Internet. Cependant, pour répondre à cela, il ne faut pas oublier que les fichiers HTML peuvent être lus par réseaux locaux ou des disques durs, donc indépendamment de la vitesse de l'Internet. Ceux qui souhaitent fournir des « tutoriels en ligne » ou des notes par le WEB pourraient distribuer leurs dossiers sur les disquettes quand même.
- En ouvrant l'accès à une audience internationale, il y a des implications sérieuses par rapport aux questions du copyright. Quelqu'un qui souhaite publier sur le WEB doit consentir probablement des droits d'auteurs sur la matière qu'il utilise.
- La limitation de l'utilisation d'un vidéo de qualité, ainsi que de suites d'images fixes, ceci prenant encore trop d'espace et de temps.

Pour résumer, on peut dire que les problèmes techniques qui existent encore sur le WEB sont de plus en plus mineurs, comparés avec les avantages de l'utiliser pour développer un matériel quelconque pour atteindre un grand public. Il faut dire que les fabricants de

multimédia traditionnels cherchent des chemins plus rapides pour faire la diffusion à travers les navigateurs WEB.

1.5.5.2. Le choix du moyen

Pour le moment, nous avons décidé de faire un système pour utiliser d'abord sur Internet, ayant la possibilité dans le futur d'être utilisé aussi sur un CD-ROM ou en salle de classe, avec quelques changements dans sa structure.

1.5.6. Questions et hypothèse de recherche

Dans cette partie, nous faisons un rappel des questions de recherche déjà données au moment où nous avons exposé le problème à l'origine de ce travail, pour ensuite donner l'hypothèse qui émerge des longues considérations qui ont suivi ces questions.

1. Comment résoudre les problèmes de manque de visualisation spatiale qui rendent difficile l'apprentissage de la géométrie descriptive?
2. Quelle sorte de pédagogie utiliser pour rendre les étudiants actifs dans leur apprentissage, pour leur permettre de développer ce système complexe de représentation?
3. Quelle sorte d'outil pourra aider le professeur à rendre l'enseignement de la géométrie descriptive plus concret?
4. Comment rendre l'apprentissage de la géométrie descriptive plus intéressant, agréable et efficace?

L'objectif de notre recherche est le développement et la mise à l'essai d'un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif (SAMI) dans l'esprit de la découverte guidée portant sur les concepts de base de la géométrie descriptive. Ce SAMI sera utilisé auprès des étudiants qui éprouvent des difficultés dans l'apprentissage de la géométrie descriptive à cause d'une difficulté à visualiser et à se représenter un objet dans l'espace. La mise à l'essai du système se fera selon les modalités habituellement utilisées pour la mise à l'essai

d'un SAMI (Marton et Hervey, 1994). Elle se fera auprès d'un groupe d'étudiants brésiliens en architecture. Nous nous intéresserons ici autant aux aspects concernant l'apprentissage qu'aux aspects concernant l'appréciation du SAMI.

Notre hypothèse de recherche est la suivante : Un outil pédagogique informatique sur la géométrie descriptive, élaboré dans une perspective constructiviste qui laisse à l'apprenant le premier rôle dans les apprentissages permet à celui-ci de développer ses habiletés de perception, de représentation et de transformation des objets tridimensionnels qui sont mis en plan par des projections.

1.5.6.1. Les choix

D'après tout ce que nous avons analysé jusqu'à maintenant, nous avons décidé de bâtir un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif (SAMI), nommée GDVisu@I, selon une approche constructiviste, en privilégiant la visualisation spatiale, l'apprentissage par découverte, ayant un ton ludique, qui attire l'intérêt de l'étudiant pour apprendre la géométrie descriptive. Le système fonctionnera sur Internet.

CHAPITRE II

2. GDVisu@I L'OUTIL PÉDAGOGIQUE

Dans ce chapitre nous allons présenter les aspects pédagogiques, opérationnels et techniques qui seront pris en compte pendant les étapes de production du Système d'Apprentissage Multimédia Interactif GDVisu@I. La méthodologie de production du système sera décrite en détail.

2.1. De la problématique à la méthodologie

Comme on vient de le voir dans la problématique, les difficultés pour enseigner et apprendre la géométrie descriptive sont reliées à plusieurs facteurs, d'origines différentes et difficiles à être résolues par une seule et simple action. Notre contribution, qui pourra être considérée comme l'objectif de cette recherche, est le développement et la mise à l'essai d'un outil pédagogique, le GDVisu@al, qui sera un Système d'Apprentissage Multimédia

Interactif, accessible sur Internet, permettant soit l'apprentissage à distance, soit l'apprentissage dans un cours traditionnel, en présence d'un professeur.

Le système GDVisu@I a été bâti en privilégiant les théories constructivistes, qui mettent en premier plan l'activité du sujet comme un facteur de succès dans l'apprentissage. Cette activité sera traduite par l'interactivité de l'étudiant avec le système, toujours en tenant compte du « passé des étudiants » qui n'ont pas eu des expériences appropriées aux moments opportuns pour développer leurs capacités de perception et de représentation de l'espace. Un accent important sera mis sur la visualisation spatiale alliée à des situations d'apprentissage bâties selon l'approche constructiviste, pour rendre l'apprentissage de la GD (géométrie descriptive) plus facile et plus agréable.

Ce travail a été fait en étroite collaboration avec Paulo Pavel, dans le cadre de sa recherche de doctorat en Informatique à l'Université du Maine, en France. Les détails de ce travail collaboratif sont présentés dans l'annexe 1.

Avant de commencer à décrire en détail le GDVisu@I, on présentera une liste de caractéristiques dont on tiendra compte lors de sa conception (qui pourront être considérés comme les objectifs spécifiques du développement)

2.1.1. Aspects pédagogiques

- Faire un diagnostic du niveau de pensée géométrique des étudiants selon les critères proposés par Van Hiele (identification et visualisation, analyse, déduction informelle, déduction formelle, rigueur).
- Bâtir les situations d'apprentissage en tenant compte des « phases d'apprentissage » proposées par Van Hiele (information, orientation guidée, explicitation, orientation libre, intégration).
- Bâtir une situation d'apprentissage pour « rattraper » l'étudiant dont le diagnostic montre qu'il n'a pas le niveau de visualisation spatiale suffisant pour comprendre les concepts de la géométrie descriptive.

- Donner à l'étudiant l'opportunité de découvrir les concepts, les faits.
- Donner à l'étudiant les conditions lui permettant d'établir des relations.

2.1.2. Aspects opérationnels

- Prendre en compte que les étudiants ont besoin de manipulations d'objets géométriques pour former des images mentales même si cette manipulation est virtuelle.
- Proposer des exercices de perception spatiale.
- Proposer des activités variées: choisir des images, choisir des projections qui correspondent à un objet, choisir l'objet qui correspond à trois vues données (ou projections), découvrir les caractéristiques des plans (ou droites), utiliser des jeux pour consolider l'apprentissage des contenus étudiés, manipuler des objets géométriques, répondre à des questions, visionner des animations, des vidéos...
- Bâtir les activités et exercices de façon à ce qu'ils représentent un défi intéressant pour l'étudiant.
- Utiliser beaucoup d'animations ou de dessins qui représentent la troisième dimension.
- Donner un feed-back immédiat aux exercices visant à confirmer si la réponse est correcte ou dans le cas contraire, donner des indices pour que l'étudiant puisse réussir.

2.1.3. Aspects techniques

- Faire des schémas pour que l'étudiant puisse voir le contenu de chaque module, ainsi que du système, comme un ensemble bien structuré.
- Construire des interfaces bien organisées et belles, en tenant compte de l'équilibre des éléments présentés à l'écran (images, textes), en faisant attention à la lisibilité des textes en fonction de la typographie et des couleurs utilisées.
- Rendre possible le contact de l'étudiant avec un professeur, pour éclaircir les doutes.
- Bâtir des outils de navigation faciles à utiliser, pour que cela ne cause pas une surcharge cognitive à l'étudiant.

2.2. Les phases de production du système GDVisu@I.

Le système d'apprentissage GDVisu@I a été produit selon une approche systématique et systémique en suivant des étapes du processus de visualisation pédagogique (Marton, 1992), permettant de structurer des messages audio-scripto-visuels en vue d'une situation précise d'apprentissage. Ce processus se compose de cinq grandes phases qui comportent chacune des étapes et des opérations: la planification, la conception, le développement, l'évaluation et la correction. Les trois premières seront décrites dans ce chapitre. Le tableau 2.1. illustre le processus de production d'un système d'apprentissage multimédia interactive selon Marton (1992).

	Étapes	Opérations
I – Planification (Étude préliminaire)	1 - Consignation des données sur le sujet 2 - Précision du contenu 3 - Définition des objectifs 4 - Structuration du contenu (estimation, échéancier, budget)	<ul style="list-style-type: none"> ● Besoins ● Population ● Parties, éléments ● Objectifs généraux, spécifiques ● Éléments, séquence, ordre
II – Conception	5 - Stratégies d'apprentissage 6 – Intégration pédagogique 7 – Design du système	<ul style="list-style-type: none"> ● Ressources, méthodes, messages ● Facteurs pédagogiques ● Démarche, liens, organigramme, architecture
III – Développement	8 - Réalisation du design Visualisation des messages Intégration pédagogique	<ul style="list-style-type: none"> ● Parties, liens, relations ● Signes, signification ● Activités, facteurs, interactivité
IV – Évaluation	9 - Réalisation des instruments Conditions et modalités Mise à l'essai Analyse et traitement des résultats Corrections proposées	<ul style="list-style-type: none"> ● Questionnaires, interview, observations ● Lieu, calendrier, responsabilités ● Déroulement ● Présentation ● Recommandations
V- Correction	10 - Ajustements indiqués Vérification	<ul style="list-style-type: none"> ● Modifications, corrections ● Mise à l'essai, résultats.

Tableau 2.1. Phases du processus de la production d'un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif.

2.2.1. Planification

Dans la phase de planification, nous avons défini les contenus et les objectifs du système GDVisu@l à partir de la population cible et de leurs besoins en terme d'apprentissage par rapport à la géométrie descriptive.

2.2.1.1. Population cible

En principe, le GDVisu@l a été développé pour servir aux étudiants de génie et d'architecture qui éprouvent des difficultés d'apprentissage dans la discipline géométrie descriptive, à cause d'un manque de visualisation spatiale. Cependant, rien n'empêche qu'il soit utilisé par les étudiants qui n'ont pas de difficulté d'apprentissage et même par ceux qui suivent d'autres cours tels ceux d'un baccalauréat en Mathématique, en Arts, etc.

2.2.1.2. Définition du contenu

Le contenu de la géométrie descriptive est vaste. Traditionnellement, on commence par présenter les concepts de projection et d'épure, les éléments de base (point, droite et plan, dans cet ordre), pour ensuite étudier l'interrelation entre ceux-ci et finalement travailler les méthodes descriptives, qui rendent possible les applications pratiques de la matière dans les métiers d'ingénieur, d'architecte, ainsi que pour les artistes. Le système au complet sera planifié pour couvrir tous ces contenus. Pour bâtir un prototype, nous avons décidé de privilégier les contenus de base, réorganisés selon un ordre plus logique selon nous, telles projections, épure, étude des plans, des droites et des points. Ils seront placés sur différents modules, où seront développés les situations d'apprentissage.

Deux modules doivent précéder ceux qui traiteront les sujets spécifiques à la géométrie descriptive, à savoir :

- Un module avec une série de tests pour connaître le niveau de développement de l'habileté de visualisation spatiale des étudiants;

- Un module pour offrir à ceux qui n'ont pas une bonne visualisation spatiale, les conditions pour l'acquérir et ensuite comprendre les contenus spécifiques de la géométrie descriptive.

2.2.1.3. Définition des objectifs et structuration du contenu

Il faut considérer que l'informatisation de l'enseignement ne constitue pas une simple translittération des savoirs de référence. Les environnements informatiques d'apprentissage résultent d'une construction qui est le lieu de transformations nouvelles des objets enseignés. Selon Balacheff (1994) ce processus s'appelle *transposition informatique*.

La transposition informatique doit prendre en compte les implications du paradigme choisi, le contexte de représentation du savoir de référence sur l'ordinateur et les objectifs didactiques du système d'apprentissage en question. Ces facteurs apportent des contraintes pour la modélisation du système et spécialement pour la définition du milieu adéquat. Dans notre cas, le milieu a un objectif double : être adéquat à l'apprentissage de la géométrie descriptive et au développement de la visualisation spatiale des étudiants (Pavel, 1999).

Les objectifs didactiques

Les objectifs d'apprentissage de la géométrie descriptive sont les suivants :

- Développer la capacité de visualisation spatiale, la perception visuelle de l'étudiant avant qu'il ne commence à étudier la géométrie descriptive.
- Consolider les notions intuitives de projection, approfondir la connaissance des projections et introduire le concept de double projection orthogonale, pour permettre l'apprentissage des concepts de la méthode des projections (Monge, 1799).
- Maîtriser les concepts de base de la méthode des projections (Monge, 1799);
- Écrire et relever des points sur une épure (outils d'analyse de la géométrie descriptive).
- Analyser les divers types de plans et leurs propriétés par rapport aux plans de projection.

- Analyser les divers types de droites et leurs propriétés par rapport aux plans qui les contiennent et par rapport aux plans de projection.
- Obtenir la vraie grandeur des segments de droite.
- Analyser les propriétés des points dans les divers dièdres, plans, plans bissecteurs, demi-plans et dans la ligne de terre.
- Obtenir les points symétriques par rapport aux plans de projection, plans bissecteurs et ligne de terre.
- Maîtriser les trois méthodes descriptives (rotation, rabattement et changement de plan).
- Maîtriser les procédés utilisés dans les méthodes.
- Identifier et représenter les polyèdres et les solides de révolution.
- Approfondir les connaissances des propriétés des polyèdres et des solides de révolution.
- Obtenir la section des polyèdres et des solides de révolution par des plans
- Obtenir l'intersection entre les polyèdres, entre les polyèdres et les solides de révolution, et finalement entre les solides de révolution
- Produire le développement plan des polyèdres et des solides de révolution
- Construire des maquettes.

Méthodologie pour la structuration du contenu

Une méthodologie a été créée pour planifier les situations d'apprentissage, en fonction des contenus et des objectifs à atteindre. Une série de quatre formulaires (F1, F2, F3, F4) a été élaborée pour rassembler toutes les données nécessaires à bien planifier les activités et les exercices. Ces formulaires, vides, sont présentés à l'annexe 2. Dans les prochaines pages, nous allons présenter un exemple de chaque formulaire rempli.

Le formulaire F1 décrit les objectifs généraux de chaque situation d'apprentissage. Dans celui-ci, sont bien définis les objectifs à développer dans le module en question, les connaissances visées, les capacités à développer, les préalables pour bien comprendre le contenu du module. Un espace est réservé pour les commentaires et les observations que le concepteur trouve intéressants. Comme exemple, nous pouvons voir le contenu du formulaire F1 du module sur l'Épure dans le tableau 2.2.

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive	
	Transposition Informatique	
	Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada	
	Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France	
Situation n°	3	Titre : Épures
Objectifs :		
<ul style="list-style-type: none"> - Maîtriser des concepts de base de la méthode des projections (Monge 1789); - Faire l'écriture et le relèvement de points sur épure (outils d'analyse de la GD). 		
Vocabulaire:		
<ul style="list-style-type: none"> - Épure: écriture et relèvement; Cordonnées: abscisse, éloignement et cote; Dièdre, ligne de terre (LT), ligne d'appel, projection verticale, projection horizontale, plan de projection, rabattement. 		
Connaissance visée :		
<ul style="list-style-type: none"> - Double projection orthogonale - concept de dièdre; - Rabattement de plan de projection un sur l'autre - Concept d'épure - Position relative des points sur les dièdres. 		
Capacités à développer :		
<ul style="list-style-type: none"> - Visualisation des positions relatives des points par rapport aux plans de projection. 		
Préalable:		
<ul style="list-style-type: none"> - Notions élémentaires de projection. 		
Préalable pour :		
<ul style="list-style-type: none"> - Objets de base de la GD (Plan, droite et point) 		
Commentaires :		
<p>Important d'établir clairement la différence entre les cordonnées cartésiennes et mongeenes, la première par rapport à des axes et la deuxième par rapport à des plans (distances) de projection et qui sont toujours positifs.</p>		
Observations :		

Tableau 2.2. Formulaire F1 du module sur les Épures

Le formulaire F2 sert à placer l'organigramme de la situation d'apprentissage. Chaque icône représente un élément bien précis à la situation d'apprentissage (activité, exercice, nœud ...). Quand l'étudiant entre dans un nouveau module, il peut y trouver un texte qui lui explique à quoi sert ce module précis. Il pourra y avoir des activités pour lesquelles l'étudiant sera invité à regarder, à faire des choix multiples, à manipuler des objets virtuels, etc. En général, après une activité, il y a des exercices qui aideront l'étudiant à maîtriser le concept traité. L'organigramme représenté dans le formulaire F2 est identique à celui utilisé dans le système pour que l'étudiant puisse vérifier où il en est rendu ou retourner à des activités déjà faites, en cliquant sur le bon icône dans la barre de navigation du GDVisu@l. Nous allons en reparler quand nous expliquerons la façon de naviguer dans le système. À la page 65 nous présentons l'organigramme de la situation d'apprentissage (ou module 3) au tableau 2.3.

Le formulaire F3 décrit chaque activité ou exercice en termes d'objectifs, de connaissances utilisées, de capacités requises, fait une analyse a priori des difficultés rencontrées par les étudiants et prévoit l'aide à leur apporter. Ensuite, nous présentons comme exemple, le formulaire F3 d'une activité du module 3 (Épures), dont le but est d'amener l'étudiant à conclure qu'il faut avoir au moins deux projections d'un objet pour saisir ses propriétés et ses dimensions (voir le formulaire F3 au tableau 2.4 de la page 66).

Le formulaire F4 a pour but de détailler l'activité ou l'exercice décrit dans le formulaire F3. Dans ce formulaire, nous explicitons la proposition de travail, les questions à répondre, les supports utilisés, la description de l'implémentation et nous écrivons aussi les observations pertinentes à l'activité. Nous faisons une esquisse de l'interface de l'activité ou de l'exercice. Les tableaux 2.5 et 2.6 présentent deux exemples de formulaires F4 complets. L'interface finale d'un des exercices de cette activité est montrée aux figures 2.1 et 2.2. L'étudiant doit chercher l'objet tridimensionnel qui correspond à l'épure représentée à droite. Quand il le trouve, il clique sur le bouton « seleccionar ». Pour avoir une idée générale des objectifs de chaque module du système, il faut consulter les formulaires F1 de l'Annexe 2. Pour connaître les objectifs de chaque activité ou exercices dans le module, il faut donc consulter les formulaires F3.

F2

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

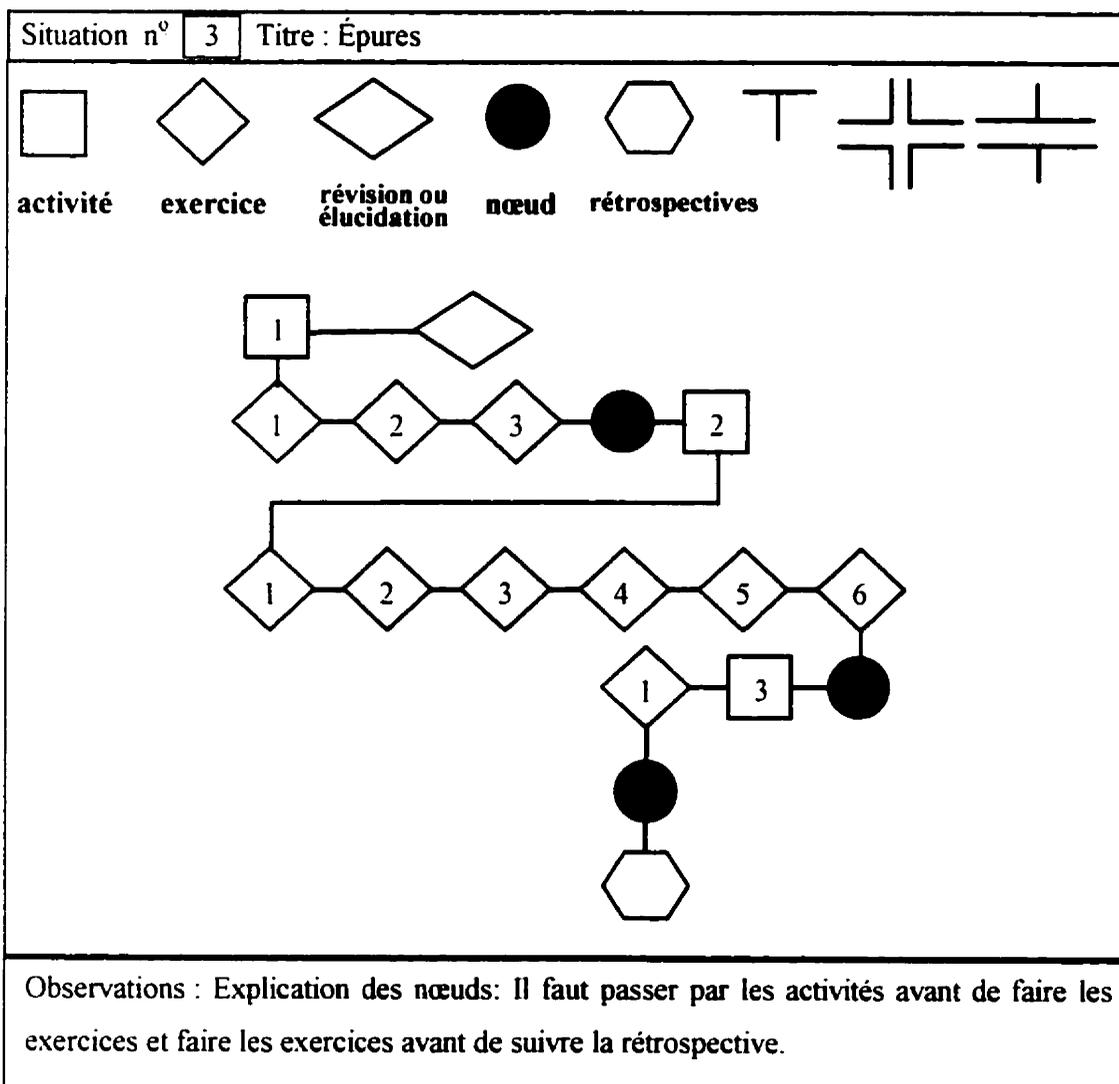


Tableau 2.3. Formulaire F2 du module sur les Épures

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive		
Transposition Informatique		
Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada		
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France		
Sit n° 3	<input checked="" type="checkbox"/> Activité 1	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice 1
Objectifs :		
- Montrer le besoin d'utiliser au moins deux plans de projection.		
Connaissance utilisée :		
- Notions de projections et de perspective.		
Capacités utilisées :		
- Visualisation spatiale à partir de dessins en perspective et en projection orthogonale		
Analyse a priori :		
- Même si l'étudiant a déjà quelques notions de projections, il peut avoir des doutes quand il doit associer une projection à un objet tridimensionnel. Il doit être confronté à ce type de situations pour arriver à la conclusion qu'il est nécessaire d'avoir au moins deux projections d'un objet pour qu'il soit représenté avec précision et qu'aucune information ne soit perdue.		
Difficultés X Aide apportée :		
- Difficulté: associer une projection à un objet en perspective.		
- Aide apportée: un exercice avec questions associées à des images tridimensionnelles et bidimensionnelles.		
- Observations:		
Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support
Exercice supplémentaire	Exercice semblable à celui donné, avec une nouvelle forme tridimensionnelle.	Fichier fait dans Cabri: (1 fig_plusieurs_projections.fig)

Tableau 2.4. Formulaire F3 pour une activité de la situation 3, sur les épures.

<h1>F4</h1>	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique				
	Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France				
Sit n°	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> Activité	<input type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	<input type="checkbox"/> 1
Description de l'activité :					
- Un texte alerte l'étudiant sur le manque de données pour associer une seule projection à une forme tridimensionnelle. L'étudiant doit répondre à des questions sur les dessins présentés et finalement associer les doubles projections aux dessins en perspectives.					
Proposition de travail et questions à répondre :					
La représentation d'un objet tridimensionnel, à travers un dessin de deux dimensions peut provoquer des erreurs d'interprétation, cela veut dire que parfois, on ne sait pas s'il représente l'espace ou le plan. On doit être sûr que quand on passe de la réalité tridimensionnelle au dessin bidimensionnel, aucune information ne soit perdue. Il peut arriver aussi qu'une représentation dans le plan puisse correspondre à plus d'une forme spatiale. Observez les dessins et répondez à la question proposée.					
Quel ou quels objets en dessous peut (ou peuvent) être représenté(s) par la projection ?					
(dessins sans escale) 1 2 3 4					
<input type="checkbox"/> Seulement les objets 1 et 2 <input type="checkbox"/> Seulement les objets 3 et 4 <input type="checkbox"/> Seulement les objets 1 et 3 <input type="checkbox"/> Seulement les objets 2 et 4 <input type="checkbox"/> Tous les objets					
Supports utilisés et description de l'implémentation :					
Observation: cet exercice est le premier d'une série de trois sur l'épure.					

Tableau 2.5. Formulaire F4 avec un exercice sur épure.

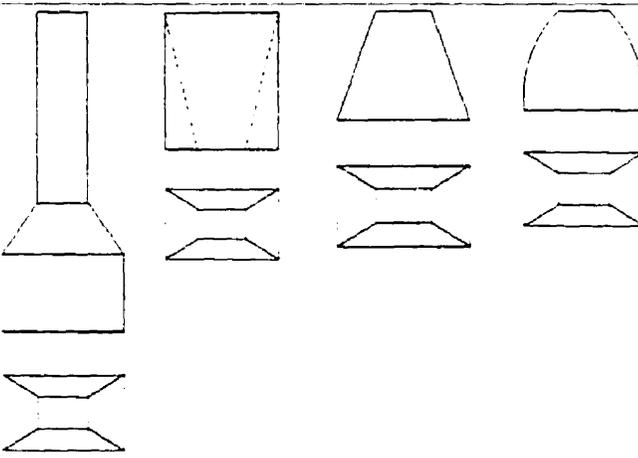
Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive	
Transposition Informatique	
Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France	
F4	
Sit n° <input type="text" value="3"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Activité <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/>
	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice <input type="text" value="2 et 3"/>
<p>Dans le cas de l'exercice précédent, nous avons seulement une projection pour chaque objet. Nous avons déjà vu que nous pouvons avoir deux projections orthogonales pour un même objet dans le module antérieur et nous pourrions aussi avoir plus que deux. À ton avis, comment pouvons-nous être sûr que quand on passe de la réalité tridimensionnelle au dessin bidimensionnel, aucune information ne soit perdue? Choisissez la réponse correcte.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 - Utiliser au minimum 3 projections 2 - Utiliser les projections possibles de l'objet 3 - Utiliser deux projections au maximum 4 - Utiliser au minimum deux projections 5 - Aucune des réponses <p>Regarde le premier exercice formulé d'une autre façon. Établir une correspondance entre les objets représentés en perspective qui sont à gauche, avec les projections qui sont à droite.</p>	
	
	<p>Conclusion En général, deux projections sont suffisantes pour représenter un objet. Obs. Donner un exercice similaire comme objet d'intervention.</p>

Tableau 2.6. Formulaire F4 avec deux exercices sur épure.

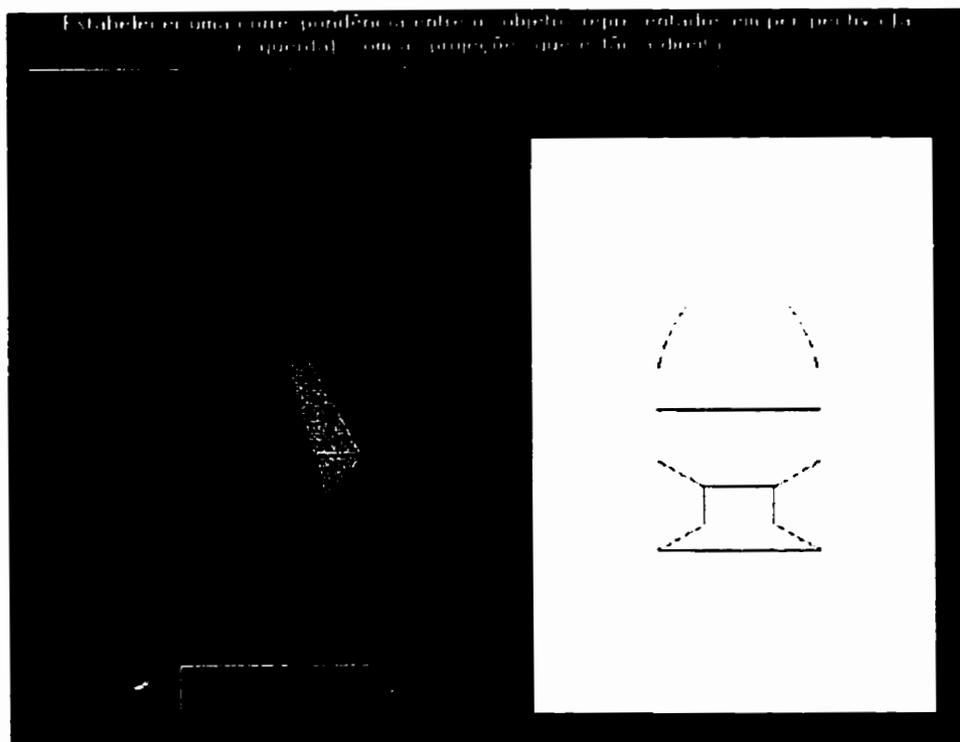


Figure 2.1. Interface d'un exercice sur l'épure d'un objet.

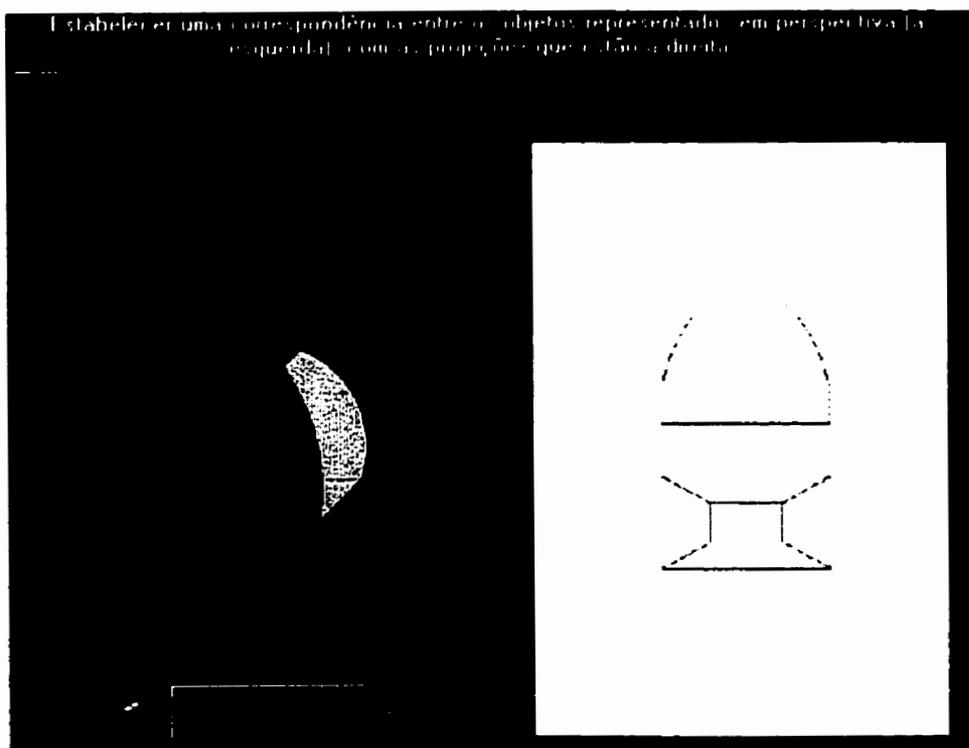


Figure 2.2. Objet correspondant à l'épure représenté.

Schéma de la structuration du contenu

En bref, le schéma du contenu du GDVisu@l est celui présenté dans la figure 2.3. Le prototype est composé des tests et des modules de 1 à 4. À partir des tests, si l'étudiant échoue trois fois un même exercice, il passe au module 1, pour améliorer sa perception spatiale. S'il réussit tous les tests, il va directement au module 2, sur les projections. En fonction de l'importance des premiers modules pour la bonne compréhension des suivants, une structure linéaire s'impose. Cependant, les contenus des modules 4, 5 et 6, lorsqu'ils seront prêts, pourront être faits indépendamment l'un de l'autre, mais il faudra les faire avant le module 7. La même chose peut être dite au sujet des modules 8 et 9 en relation avec le dixième.

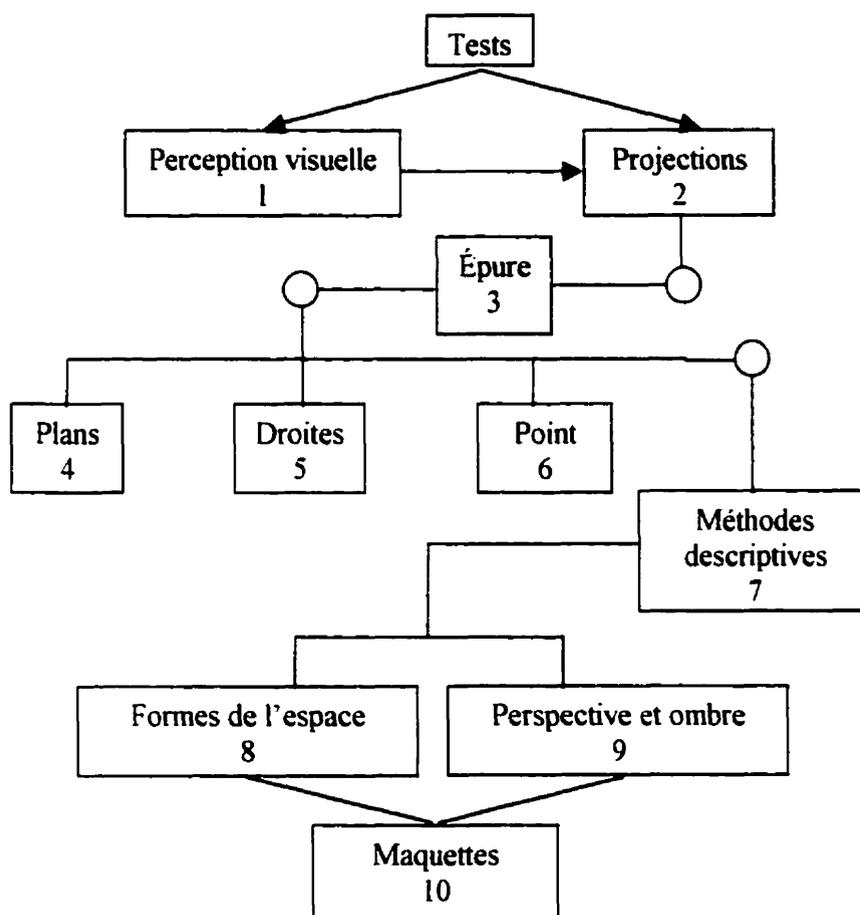


Figure 2.3. Schéma de la structure général du système GDVisu@l

2.2.2. Conception

La conception consiste dans l'élaboration du design et de la formule pédagogique avec le choix et l'articulation des ressources et de la méthode avec la scénarisation des divers messages pédagogiques en fonction des possibilités offertes par les environnements technologiques disponibles.

2.2.2.1. Stratégie d'enseignement/apprentissage

Du cadre théorique au design

Dès qu'on a décidé de privilégier le constructivisme comme approche pédagogique, l'interactivité des étudiants par rapport au système GDVisu@I est un facteur important dans la conception de cet outil. D'autre part, le manque de visualisation spatiale et de perception visuelle des étudiants nous a amené à chercher des moyens de résoudre ce problème, en mettant beaucoup d'emphasis dans la conception des messages iconographiques. La philosophie générale sous-jacente au design adopté est basée sur l'apprentissage par la découverte guidée (Pavel, 1999). L'étudiant devra construire sa propre connaissance en interagissant avec le système. Tout au long de son utilisation l'étudiant sera invité à découvrir des concepts d'une façon ludique, chaque activité et exercice sera évalué, et l'étudiant recevra un feed-back immédiat après chaque réponse. À chaque fois qu'il fera une erreur, un indice lui sera présenté, soit une image, une animation, une observation, un signal. Avant de passer à une autre activité ou exercice, il doit réussir celui qu'il est en train de faire. Cela donne une certaine structure linéaire au système, un cheminement qu'il faut suivre et qui est imposé par la nature même de la géométrie descriptive, où chaque concept est un préalable au suivant.

Les ressources techniques et ce qu'elles peuvent offrir

À partir du moment où nous avons commencé le travail collaboratif et pluridisciplinaire (voir annexe 1) avec le spécialiste en informatique, les possibilités d'utilisation des

ressources techniques de l'ordinateur pour faciliter la visualisation spatiale des étudiants ont été amplifiées. Nous avons partagé les tâches de plusieurs éléments d'une équipe de conception et de production d'un multimédia éducatif. Le tableau 2.7 montre à peu près le pourcentage de participation de chacun par rapport aux différents types de tâches.

Fonction	Tâches	PP ¹	MP ²
Réalisateur	Responsable pour la coordination et gestion des ressources techniques du projet; pour le design interactif (scénarisation, interfaces); pour le design graphique (pagination, recherche iconographique, arts graphiques, infographie, animation); réalisation sonore et informatique.	70%	30%
Designer d'Interactivité	Fait partie de l'équipe de conception, pour faire le scénario, parfois le storyboard; doit avoir une bonne connaissance d'infographie et d'interactivité, savoir faire des interfaces et réaliser les éléments graphiques des interfaces et des boutons de navigation.	80%	20%
Directeur artistique	Fait la gestion de l'équipe de création, en définissant le travail de chacun et en le contrôlant au niveau de la qualité, des détails, de la compatibilité avec les exigences techniques de la séquence de production.	60%	40%
Designer graphique	Responsable de l'iconographie utilisée : photographies, illustrations, graphismes informatiques ou classiques, éléments d'animation, boutons, menus, etc. Il devra savoir programmer un écran, en profitant des conditions imposées par le format des images, pour la définition de l'écran. Il doit avoir une bonne connaissance de plusieurs logiciels, utilisés pour réaliser les éléments de l'interface.	80%	20%
Ingénieur de production	Doit réunir l'ensemble des éléments et créer la dynamique du produit, faire l'architecture de celui-là. Généralement responsable de la multiplication du système (dans le cas d'un CD-ROM) ou de la manutention du serveur (dans le cas d'Internet).	100%	0%
Spécialiste de contenu	Délimiter le contenu, établir une séquence logique, formuler les objectifs à atteindre.	20%	80%
Spécialiste en didactique et pédagogie	Orienter sur le choix de la meilleure approche pédagogique en fonction du contenu et du niveau de l'étudiant.	10%	90%

Tableau 2.7. Fonctions et tâches de chacun dans la production de GDVisu@l.

¹ Paulo Pavel, spécialiste en informatique.

² Marie Póla, spécialiste en technologie éducative.

Le système GDVisu@I a été programmé pour fonctionner sur Internet et l'ordinateur où il sera utilisé, devra avoir le logiciel Explorer 4 avec un fichier jdk.1.4 qui fait fonctionner le Java. Quelques configurations devront être faites sur l'ordinateur pour que le système fonctionne et les instructions pour faire cette configuration sont dans la page d'ouverture du système. L'étudiant devra s'inscrire pour pouvoir utiliser le système parce que tout ce qu'il fera sera enregistré et un professeur pourra suivre son interaction avec le système. Si l'étudiant arrête son travail, il peut le recommencer à l'endroit où il s'est arrêté. S'il a besoin d'entrer en contact avec le professeur, il peut lui envoyer un message. Si le professeur est en ligne au même moment, il peut lui répondre tout de suite ou lui envoyer d'autres exercices pour l'aider. S'il n'est pas en ligne, l'étudiant peut lui envoyer un message par courriel. Le professeur pourra également partager l'écran de l'étudiant pour lui montrer ce qu'il pense être pertinent dans le moment. Pour que cela soit possible, les ordinateurs des deux doivent avoir un logiciel de communication comme le Timbuktu par exemple.

Comme nous ne savions pas quels étaient les périphériques des ordinateurs utilisés par les étudiants, nous n'avons pas utilisé le son. Par contre, nous avons conçu un système très visuel, utilisant beaucoup les images fixes, les objets que les étudiants peuvent manipuler ainsi que des animations.

Les messages iconographiques

Comme nous l'avons dit auparavant, la partie visuelle du système a pris beaucoup de place dans la conception. Nous sommes partis du dicton qui dit que «une image vaut plus que mille mots» et nous avons utilisé le minimum d'information textuelle et les types de messages iconographiques les plus variés. Ces messages sont concrétisés à partir de trois contextes différents selon Pavel (1999) : *représentation* (représentations planes de l'espace); *manipulation* (représentations interactives) et *visualisation* (représentation tridimensionnelle). Ils peuvent être classifiés encore selon leur cinétique en statique ou dynamique et selon leur niveau d'interaction, en manipulation directe, manipulation indirecte et sans manipulation. À partir de ces trois variables, nous pouvons avoir plusieurs

types d'iconographies; elles ont été utilisées dans la conception et la production du système GDVisu@l. Ces types sont exhaustivement décrits dans Pavel (1999) et nous nous limiterons à les nommer et à en donner un exemple.

Objet fixe – point de vue invariable

L'objet fixe avec un point de vue invariable ne permet pas d'autres opérations que le changement de taille et la rotation, permises pour toutes les iconographies. Il est une image statique, c'est-à-dire, qu'il n'est pas possible de le manipuler. Il peut être coloré en utilisant un traitement d'image « bitmap » pour améliorer la visualisation et créer des effets spéciaux. La figure 2.4 montre des exemples d'objets fixes.

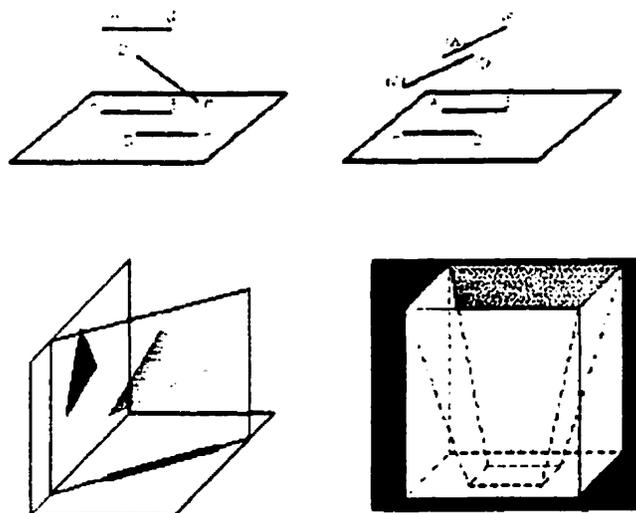


Figure 2.4. Exemples de matériel iconographique fixe

Objet fixe – changement de point de vue par manipulation directe ou indirecte.

Les objets fixes avec le point de vue variable sont des visualisations tridimensionnelles qui peuvent être observées de plusieurs points de vue par manipulation de l'image affichée.

Cette manipulation peut être directe et indirecte. Une des principales utilisations de ce moyen est de rendre possible l'observation d'une forme de l'espace de tous les points de vue possibles, ce qui est spécialement intéressant quand on travaille sur une épure pour représenter un objet. La manipulation ne donne pas la solution de l'épure, mais permet à l'étudiant de mieux connaître l'objet qu'il est en train de représenter, selon plusieurs points de vue. Ces objets sont faits en utilisant le langage Java et il est facile de les intégrer dans des situations d'apprentissage programmées dans le même langage. La figure 2.5 montre un exemple de ces objets en trois positions différentes.

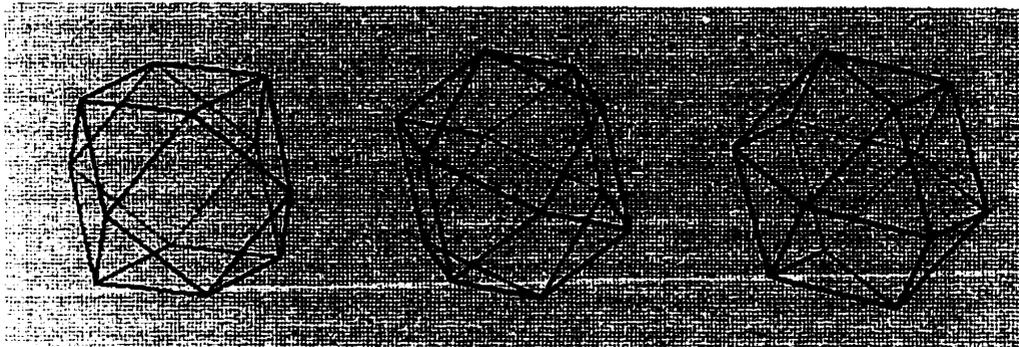


Figure 2.5. Exemple d'objet fixe avec point de vue variable par manipulation directe.

Objet transformable – déplacement de sous-objets par manipulation directe ou indirecte

Les objets transformables sont ceux qui permettent à l'utilisateur de produire une transformation de l'objet géométrique et non pas seulement le changement du point de vue. Les deux types d'opérations peuvent être possibles sur un même objet, selon la manière de le construire. Cette manipulation peut être réalisée de deux façons par l'utilisateur, directement (figure 2.6) ou indirectement (figure 2.7).

Un cas particulier de ce type de manipulation est le jeu des cadres³. À travers le jeu des cadres, nous pouvons facilement faire la représentation d'un objet dans l'espace tridimensionnel et dans l'espace graphique (épure). La transformation produite dans le

³ Un cadre est constitué par des objets, par des relations entre ces objets et par des images mentales associées à ces objets et leurs relations.

premier, occasionne un changement correspondant dans le second. Il est important que l'étudiant visualise les relations entre les transformations dans ces deux types d'espace. La figure 2.8 illustre un exemple de jeu des cadres.

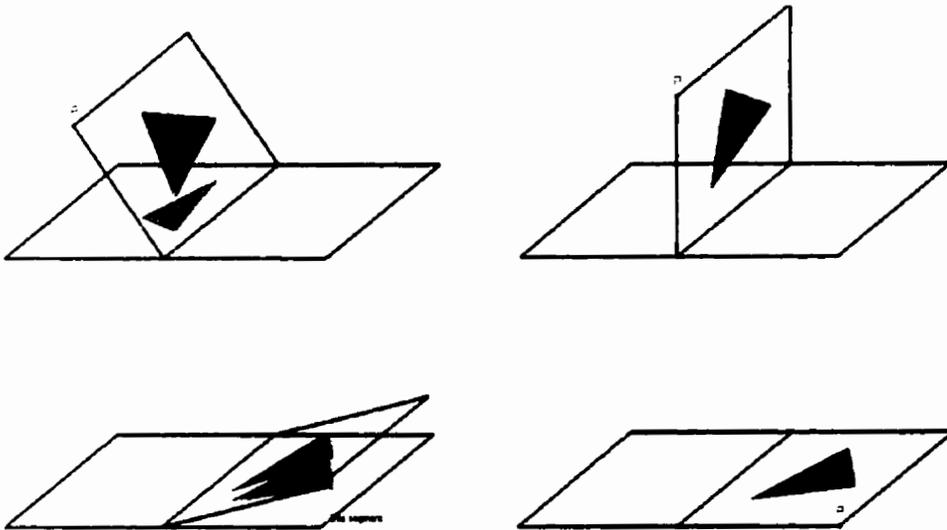


Figure 2.6. Quatre positions du plan qui contient un triangle, obtenues par la manipulation directe du point P.

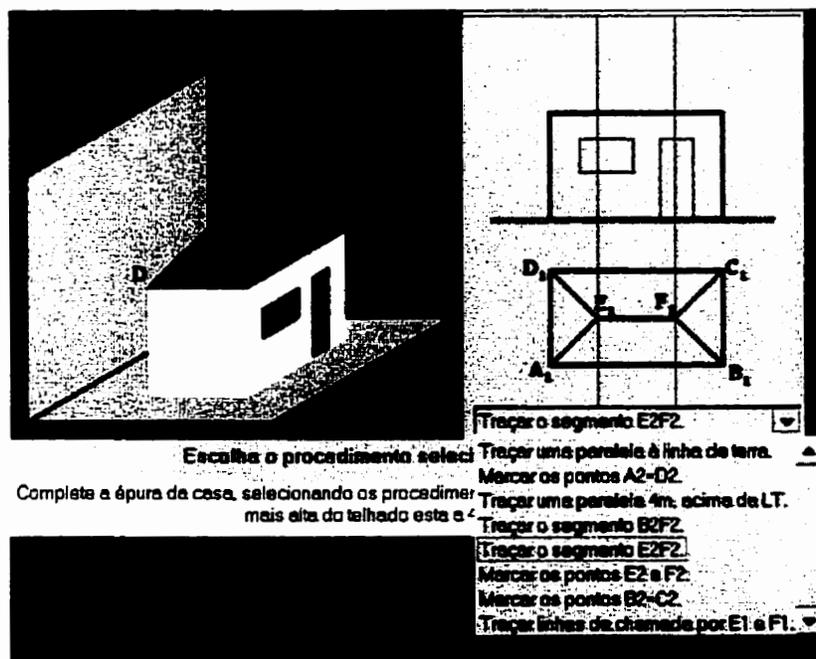


Figure 2.7. Construction d'une épure par manipulation indirecte.

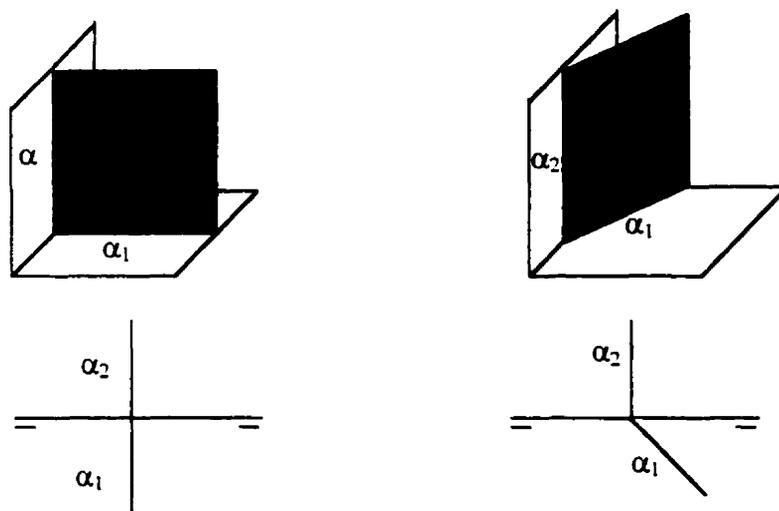


Figure 2.8. Exemple de jeu des cadres. Objets en perspective et leurs épures respectives.

Les objets géométriques transformables sont ceux qui permettent la plus grande capacité d'interaction dans les situations d'apprentissage par découverte. Leur intégration est toujours possible, mais pour qu'ils puissent être affichés, il faut que l'application soit disponible dans l'ordinateur ou bien il faut créer des « plug-ins » pour pouvoir les afficher dans la fenêtre de notre système.

Animations et diaporamas

Les animations et les diaporamas sont constitués de suites d'objets. Dans les animations, la séquence se déroule automatiquement et dans les diaporamas, l'utilisateur peut passer d'une image à l'autre, grâce à un dispositif de contrôle. Les animations peuvent encore être du type vidéo ou dessin animé d'images d'objets fixes ou d'objets transformables. Les vidéos peuvent être contrôlés par l'étudiant, en utilisant les commandes « avant », « arrière », « pause », « recommencer » ou le déroulement peut être fait manuellement avec le curseur. La figure 2.9 montre l'image d'un vidéo sur les notions intuitives de projections.

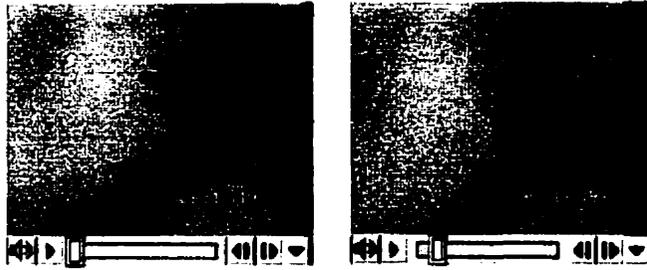


Figure 2.9. Images du vidéo sur les notions intuitives de projections.

Les dessins animés d'objets fixes peuvent être produits de deux façons différentes à partir des dessins faits avec les logiciels de géométrie dynamique (du type Cabri-géomètre) :

- Par capture du mouvement produit par manipulation directe des dessins spécialement conçus pour cela dans un logiciel de géométrie dynamique. La capture est faite à travers un logiciel de capture d'animations et à partir de cette technique on obtient des fichiers en format QTM ou MOV en technologie Quick-Time. Il faut avoir un visualisateur pour afficher les animations.

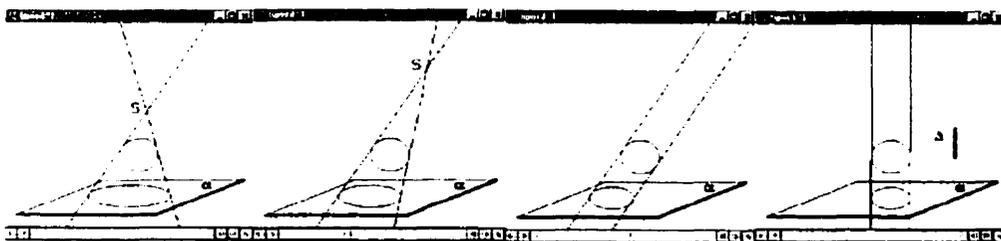


Figure 2.10. Exemple d'animation Quick Time ©

- Par capture de plusieurs images pendant la manipulation du même type de dessin décrit ci-dessus. Cette technique produit un ensemble de fichiers de format « bitmap » numérotés. Ensuite, en utilisant un langage de programmation (ex. Java) nous affichons les images capturés en séquence, en contrôlant le temps d'affichage de chacune. Nous pouvons aussi créer n'importe quel type de dessin animé. Il est possible d'offrir à

l'utilisateur les moyens pour contrôler la vitesse de déroulement, arrêter, recommencer, relancer, passer image par image, etc. Les images capturées peuvent être traitées visuellement comme des iconographies fixes déjà décrites et ainsi valoriser la visualisation de l'animation. La figure 2.11. montre les images de ce type d'animation.

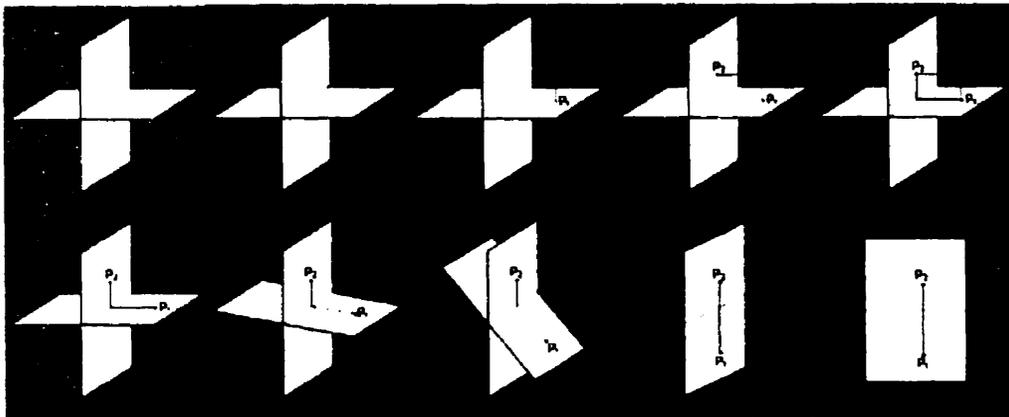


Figure 2.11. Exemple d'animation par séquence d'images capturées et traitées visuellement à posteriori.

2.2.2.2. Intégration pédagogique

Cette étape vise à déterminer les modalités d'utilisation du système. Dans ce cas, il y aura deux situations différentes : pendant la mise à l'essai et finalement comme un cours sur Internet.

Pendant la mise à l'essai, l'étudiant travaillera sur le système après avoir fait un pré-test portant sur quelques connaissances de géométrie descriptive qui sont dans le système. Après l'utilisation du système, l'étudiant fera un post test, qui sera exactement le pré-test organisé d'une façon différente.

Si nous pensons au système comme s'agissant d'un cours indépendant sur Internet, nous pourrons l'utiliser de deux façons: soit tout seul, soit inséré dans un cours régulier de géométrie descriptive où l'étudiant aura d'autres activités plus classiques comme dessiner avec papier/crayon par exemple. Dans le cas où l'étudiant travaille seul, chez lui ou à

l'école, s'il a un doute il peut consulter le précepteur, c'est-à-dire, un professeur virtuel via Internet, en mode synchrone ou asynchrone.

Dans un cours régulier, il peut être utilisé à trois moments différents : avant, pendant et après le cours :

- Avant le cours régulier : l'étudiant utilise le système pour apprendre tout seul et pendant le cours il demande au professeur ce qu'il n'a pas compris.
- Pendant le cours : il pourra être utilisé comme un outil didactique par le professeur, qui sera là pour expliquer ce que l'étudiant ne comprend pas.
- Après le cours : l'étudiant l'utilise pour revoir les concepts, fixer les contenus présentés par le professeur en classe, pour faire des exercices, etc.

2.2.2.3. Design du système

À partir du moment où les objectifs d'apprentissage ont été établis selon une approche pédagogique et que les activités et exercices ont été soigneusement planifiés pour atteindre ces objectifs, arrive le temps de concevoir le design afin que le message arrive à l'utilisateur d'une façon attrayante et conviviale. C'est le moment de donner forme aux idées planifiées, en fonction des ressources disponibles (équipements et logiciels) pour produire le logiciel, aussi bien que pour l'utiliser après.

D'après tout que nous avons analysé jusqu'ici, nous sommes amené à un système d'apprentissage basé sur le paradigme de la découverte guidée intégrant l'utilisation de ressources pour permettre à des professeurs distants de répondre aux demandes d'intervention et de suivre l'interaction avec des étudiants de façon synchrone et asynchrone. L'architecture pour supporter un système d'apprentissage avec ces caractéristiques a été développé par Pavel (1999). Maintenant on transcrit ici quelques parties qui expliquent cette architecture et ce qu'elle doit comprendre.

Les implications pédagogiques

Ces implications ont un rapport avec le choix de la découverte guidée, le choix de la téléprésence et de l'intégration de l'enseignant.

Les implications de choix de la découverte guidée

La principale implication se situe par rapport à la constitution des situations d'apprentissage. La transposition informatique devra créer des situations d'apprentissage qui devront avoir une partie tutorielle et une partie d'exploration, à travers la manipulation directe ou indirecte. Cette manipulation pourra être des simulations de l'espace tridimensionnel ou bien des simulations produites à partir du logiciel Cabri Géomètre II (Laborde, 1985; Laborde et Laborde, 1991; Bellemain, 1992).

Les implications de choix de la téléprésence

Il existe aujourd'hui plusieurs logiciels et systèmes qui permettent la communication entre deux postes distants liés par le réseau intranet/internet. Ces formes de communication peuvent être de plusieurs types et englober différents types d'outils : de la communication par texte synchrone (chatting) ou asynchrone (courriel ou échange des messages), en passant par la communication audio jusqu'à la visioconférence où les partenaires communiquent par audio et vidéo. L'observation et le contrôle de l'interface à partir d'une machine distante est également possible.

Il faut prévoir l'intégration et l'utilisation de ces ressources par le système en extension logicielle, comme des ressources externes de communication. Ces dernières peuvent être déclenchées soit automatiquement par le système, soit manuellement par l'utilisateur. Cette intégration, quel que soit son type, doit prévoir la connaissance par le système des adresses TCP/IP⁴ des machines connectées, des utilisateurs et de leurs types (étudiant ou

⁴ Protocole de communication qui donne la possibilité de trouver une machine particulière sur le réseau internet.

professeur). Chaque utilisateur peut se connecter à chaque session sur une machine différente. Chaque machine liée au réseau a sa propre adresse, certaines de façon permanente (connexion RNIS), d'autres de façon temporaire (connexion par modem). La meilleure façon de retrouver un utilisateur connecté au système est d'utiliser l'adresse de sa machine. Cela permet au système d'envoyer en aller/retour des informations, des données et de rendre possible la communication des utilisateurs par les ressources externes de communication énumérés auparavant.

Les implications de l'intégration du professeur

L'intégration d'un professeur au système doit permettre à celui-ci de :

- Demander des informations sur les étudiants (comme par exemple, l'historique ou la trace des sessions), suivre l'interaction des étudiants pour faire un diagnostic didactique des connaissances de l'étudiant avec aide à la décision.
- Orienter le système pour qu'il propose des activités spécifiques à certains étudiants en fonction de ce diagnostic.
- Déclencher les logiciels spécifiques de communication pour répondre aux demandes d'intervention auprès des apprenants.

La première spécification implique de doter le système des capacités pour l'enregistrement de données personnelles, d'historique et de trace des sessions des étudiants. La seconde spécification implique de doter le système d'une interface adaptative (particulière à chaque étudiant). Pour rendre cela possible, il faut doter le système de persistance des données et de bases de connaissances.

L'ensemble des spécifications implique que l'enseignant doit avoir une interface intelligente, avec toutes les fonctionnalités suivantes, afin de lui permettre d'interagir avec le système:

- Avoir accès à l'historique des étudiants en lecture et en écriture;
- Suivre/contrôler l'interaction des étudiants;
- Spécifier des activités et donner des consignes spécifiques pour certains étudiants;

- Recevoir les demandes d'intervention des apprenants;
- Demander de l'aide à la décision;
- Déclencher les logiciels de communication avec les machines des étudiants.

Pour rendre tout cela possible, il faut avoir dans le système un tableau de bord du professeur (ou précepteur).

L'architecture du système

Selon Pavel (1999), le spécialiste en informatique dans ce travail pluridisciplinaire, l'architecture qui convient le plus est une architecture multi-agents, et il justifie son choix :

- La complexité de l'organisation des connaissances : les différents types de connaissances sont représentés sur des supports différents et ne s'imposaient pas d'être représentés avec le même formalisme dans les divers états de l'interaction par rapport au degré de guidage du système.
- La complexité de la communication entre les différents types d'utilisateurs (professeurs et étudiants) avec le système et entre eux : la collaboration entre agents, artificiels et humains, pour la conduite de l'apprentissage dans un espace d'interaction hétérogène sur le réseau Internet.
- Avoir des parties indépendantes et autonomes de l'environnement réparties entre le serveur, la machine client du professeur et la machine client de l'étudiant qui coopèrent, forment un ensemble structuré qui communique entre eux.

La meilleure manière de satisfaire ces impositions, c'est l'adoption du paradigme multi-agents, car les agents sont indépendants pour prendre des décisions basées sur des plans d'action ou des règles, tournent de façon indépendante, peuvent se reproduire, sont auto stimulés pour exécuter des tâches et peuvent envoyer des messages vers d'autres agents. Ils sont liés par l'environnement formé par la communauté des agents et par le même objectif global. De cette façon nous pouvons avoir un environnement qui travaille ensemble, même dans le cas où quelques parties ne sont pas activées ou en tournant. Un agent peut

également activer d'autres agents. La problématique de l'hétérogénéité des agents est abordée dans différents articles, notamment (Futtersack, 1990; Merlat et Seyrat, 1997; Gutknecht et Ferber, 1998; Vassileva et al., 1999).

Le schéma de la figure 2.12 résume l'action de l'étudiant et du système, en fonction de l'architecture. Quand l'étudiant entre dans une activité ou un exercice, il reçoit une proposition de travail sous forme de texte. Selon l'activité, s'afficheront aussi des objets multimédias, de manipulation directe ou indirecte et/ou questions auxquelles il faut répondre. Selon le type d'objet, l'étudiant va observer (manipuler directement ou indirectement) et finalement répondre aux questions. Les actions de manipulations indirectes et les réponses sont évaluées automatiquement, et selon le résultat, la rétroaction du système aura pour but d'intervenir virtuellement par des objets d'interventions (en cas de mauvaise conception diagnostiquée) ou d'afficher la liaison à l'activité suivante (en cas de réussite).

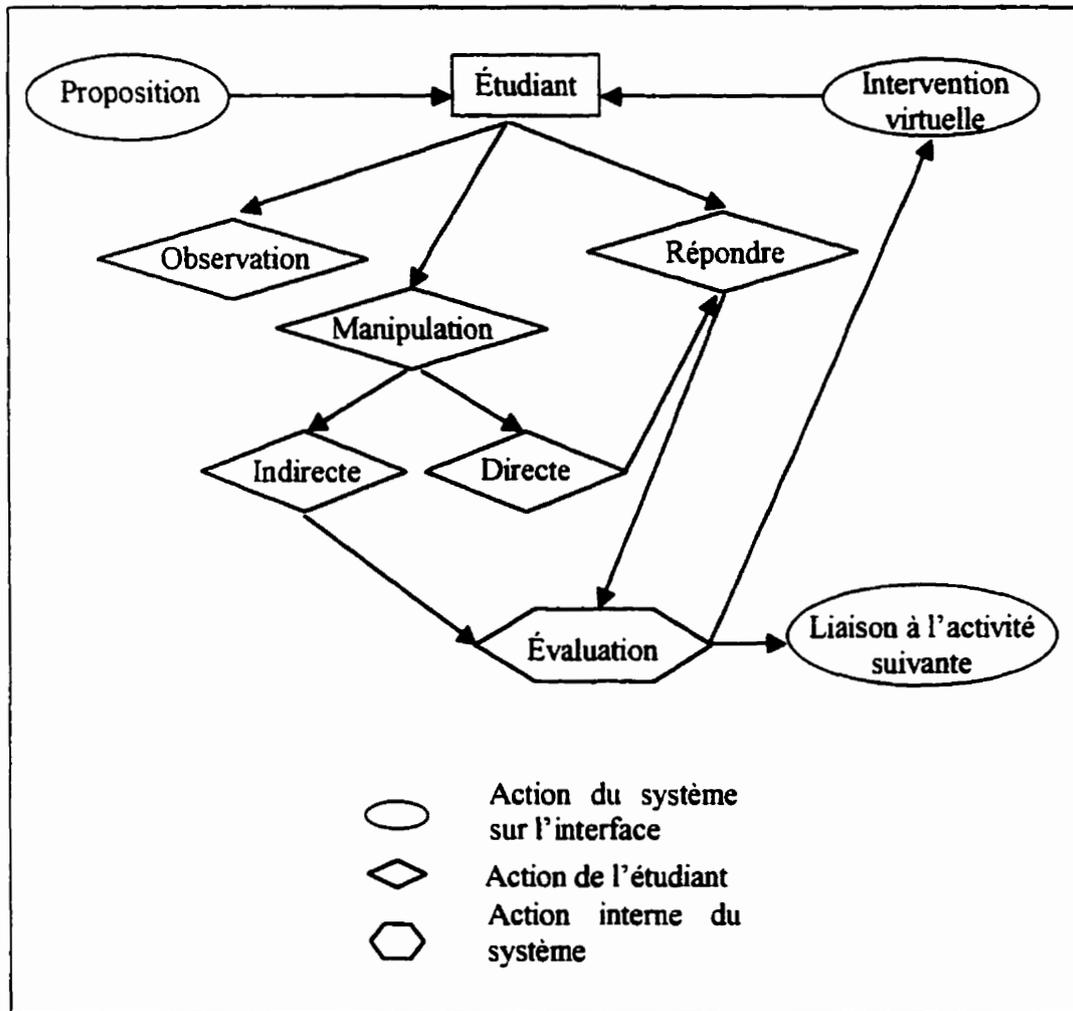


Figure 2.12. Schéma de l'interaction étudiant/système.

2.2.3. Le développement

La phase de développement d'un système multimédia, comprend la production informatique et la production Multimédia, Multimessages. Dans le cas du GDVisu@! la production informatique, le développement de l'architecture du système a été complètement fait par Paulo Pavel (Pavel, 1999) dans le cadre de sa recherche doctorale et ce, en fonction des besoins pédagogiques de notre recherche. Par rapport à la production Multimédia, les tâches ont été divisées entre les deux chercheurs, dans le cadre d'un travail collaboratif et sont expliquées à l'annexe 1. Il ne reste qu'à décrire le système développé et toutes ses fonctionnalités. Cela sera fait dans cette partie, en débutant par expliquer

comment un étudiant ou un professeur peut utiliser le système, comment il peut interagir avec lui, pour entrer finalement dans leur structure, dans les modules ou les situations d'apprentissage, en détaillant quelques unes en particulier.

2.2.3.1. L'interaction avec le système

La première chose que quelqu'un doit faire pour pouvoir interagir avec le système est de s'inscrire. Dans la page d'accueil on trouve toutes les informations sur les modalités d'utilisation du système. En cliquant sur le bouton « CONEXÃO » qui signifie « CONNEXION », on arrive à la deuxième page, où il y a les informations pour faire la configuration de l'ordinateur en déclarant le site GDVisu@l comme un site de confiance et ensuite pour faire l'inscription qui nous permettra d'interagir avec le système, soit comme étudiant soit comme professeur. Les figures 2.13 et 2.14 montrent les pages d'accueil et la connexion avec le système.

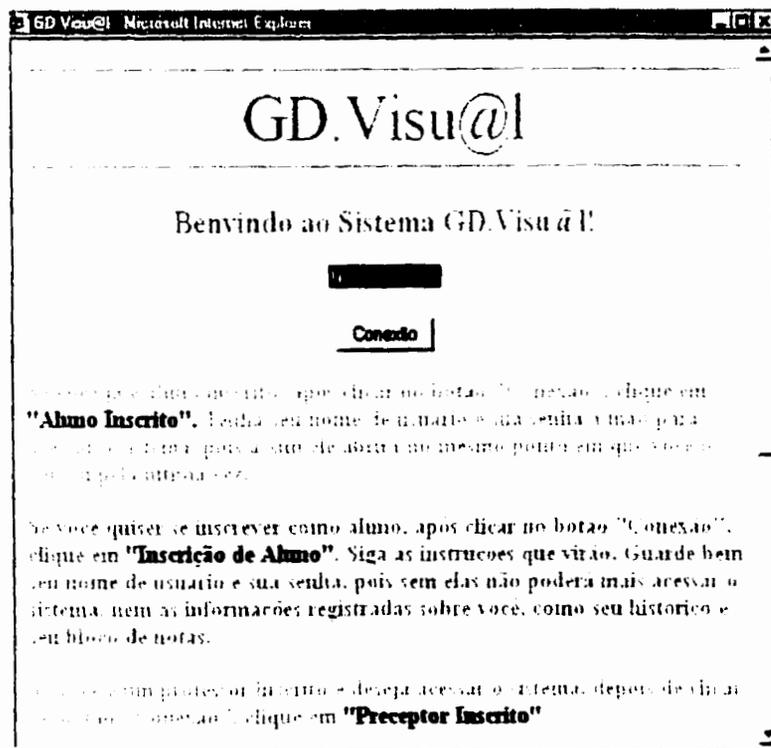


Figure 2. 13. Page d'accueil du système

Conexão ao GD.Visu@l

Certifique-se que seu navegador está configurado de forma adequada antes de se conectar, para maiores informações sobre [como configurar seu navegador](#) clique aqui.

Se você já é utilizador do sistema, uma senha lhe será pedida:

Aluno Inscrito

Preceptor Inscrito

Senão, você pode se inscrever através de um dos botões abaixo :

Inscrição de Preceptor

Inscrição de Aluno

HOME

Internet zone

Figure 2.14. Façons de s'inscrire pour utiliser le système GDVisu@l

L'interaction de l'étudiant avec le système

Si on clique sur le bouton « Inscription d'étudiant » par exemple, une fenêtre s'ouvre et il faut fournir les données demandées et suivre les informations qui apparaissent dans le champ de dialogue de la fenêtre. Il est recommandé de mémoriser le nom d'utilisateur et le mot de passe fourni au système, car ils seront demandés chaque fois que nous voudrions retourner au système.

Quand l'étudiant arrive au premier module une page s'affiche pour expliquer les fonctions des boutons de la barre adaptative⁵ personnalisée, qui permet l'interaction et la navigation de l'étudiant dans le système. Cette barre de contrôle ouvre un « frame » et reste active pendant toute la section permettant d'activer le support théorique, le catalogue de polyèdres, le système d'aide ainsi que la demande d'intervention d'un professeur à distance. Les situations d'apprentissage ouvrent dans un autre « frame », en dessous de la barre de contrôle comme montre la figure 2.17. La figure 2.18 montre la barre adaptative.

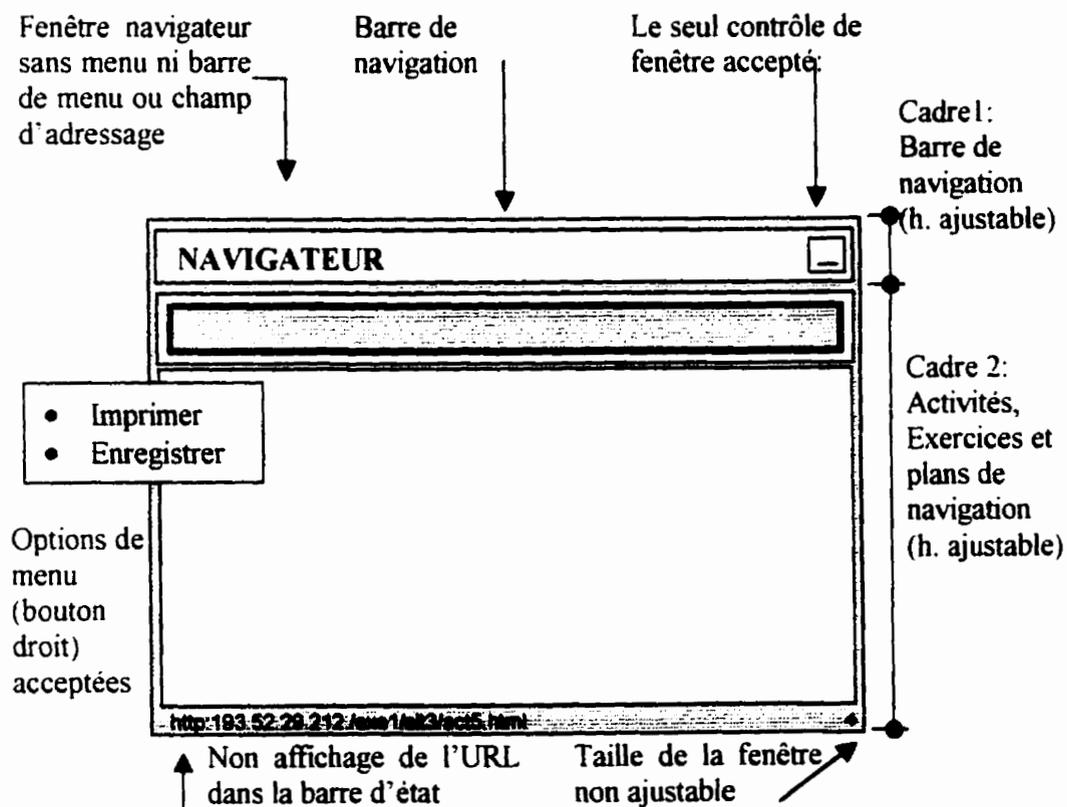


Figure 2.17. Cadres de l'interface de l'étudiant

⁵ Dans le système GDVisu@I, une fonction enregistre l'interaction de l'étudiant avec le système dans une banque de données dans le serveur du système. Cette fonctionnalité, permet que l'interface de l'étudiant soit adaptative, cela veut dire que l'étudiant peut retourner toujours au point où il s'est arrêté la dernière fois quand il a utilisé le système. Ainsi, la barre de navigation est aussi appelé barre adaptative.

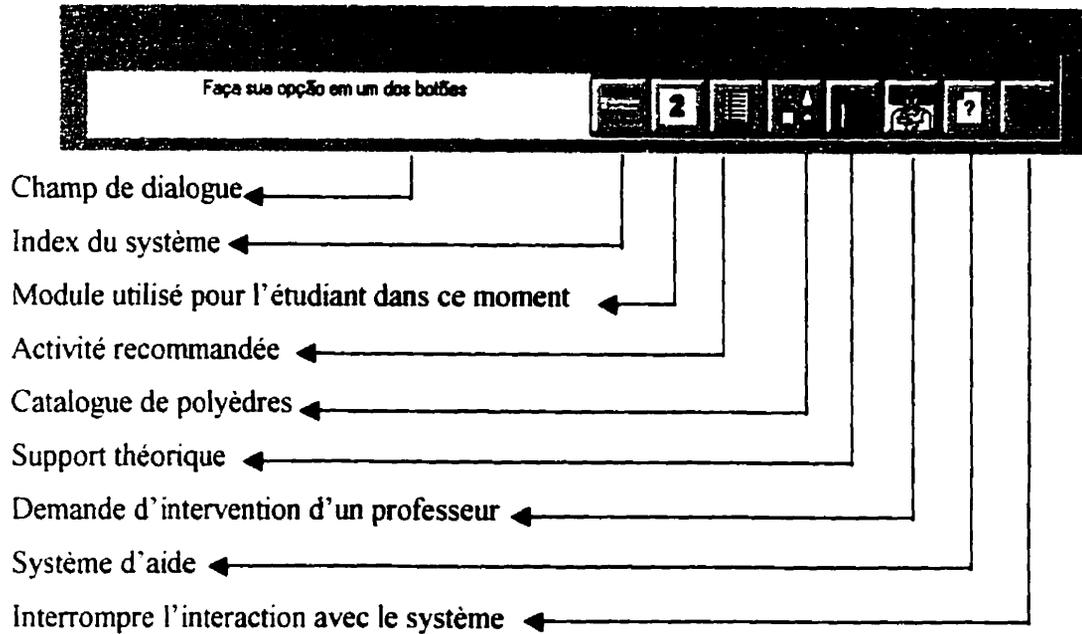


Figure 2.18. Barre de contrôle de l'étudiant

Champ de dialogue : À chaque fois que l'étudiant passe la souris sur un de ces boutons, dans le champ de dialogue, un message apparaît lui expliquant la fonction du bouton.



Index du système : Le bouton Index fait ouvrir, dans le Cadre 2, le plan général de navigation des contenus du système où sont les plans (agentMaps) de toutes les situations d'apprentissage. La navigation par la table de matières ouvre les introductions de chaque situation d'apprentissage. La figure 2.19 montre l'index du système.

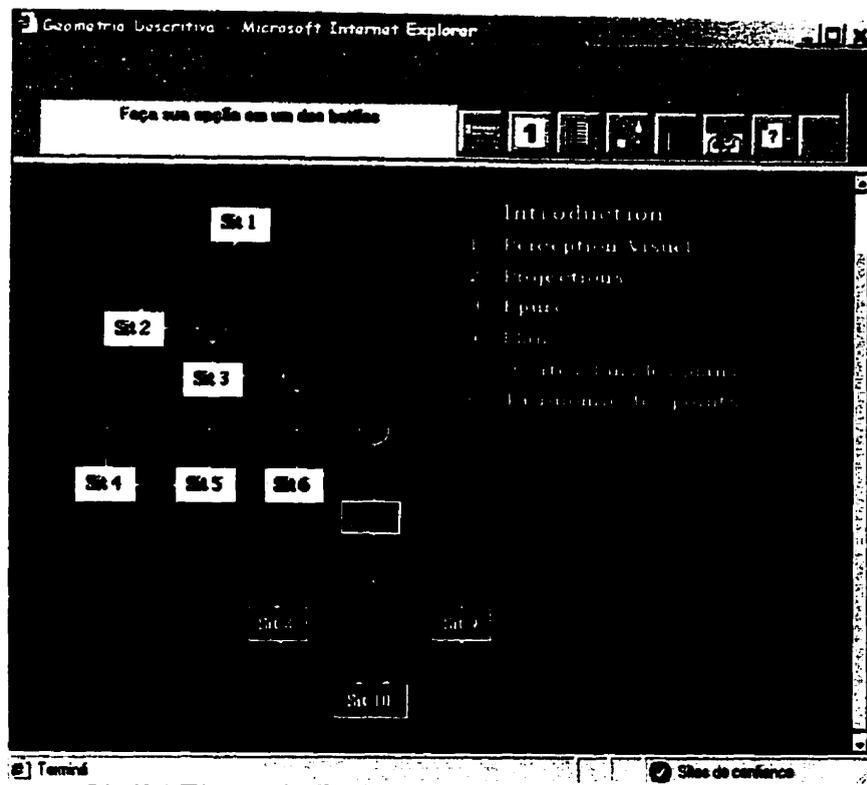


Figure 2.19. Index du système, plan général de navigation: le savoir à enseigner.



Module utilisé pour l'étudiant à ce moment

C'est la situation d'apprentissage dans laquelle l'étudiant travaille à ce moment. En cliquant sur ce bouton, l'étudiant peut accéder à l'organigramme (agentMaps) de la présente situation d'apprentissage et voir toutes les activités et exercices qui la composent.

En passant la souris sur le numéro de l'activité ou exercice, il voit apparaître dans un champ de texte, une brève description de l'activité ou exercice. Il pourra retourner à un exercice qu'il a déjà fait, mais il ne pourra pas avancer vers un exercice sans avoir fait ceux qui le précèdent. La figure 2.20 montre l'organigramme d'une situation d'apprentissage et la figure 2.21 montre la légende du plan de navigation.

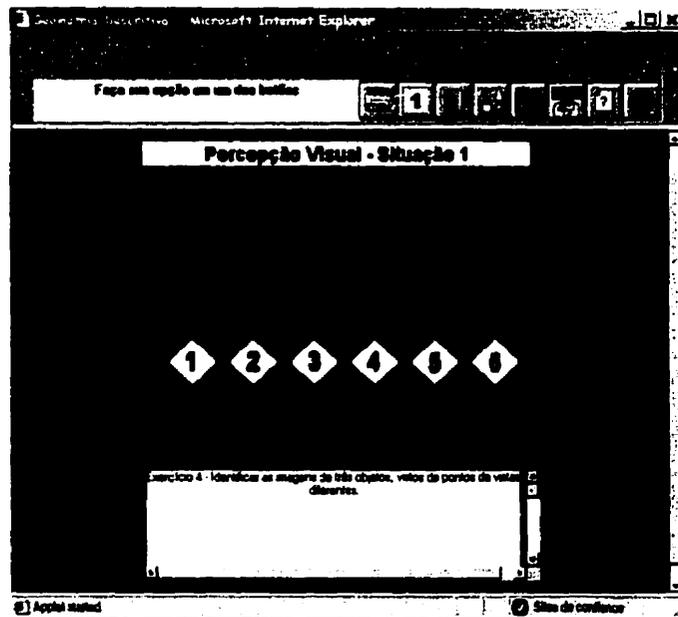


Figure 2.20. Plan de navigation de la situation d'apprentissage 1 « Perception visuelle »

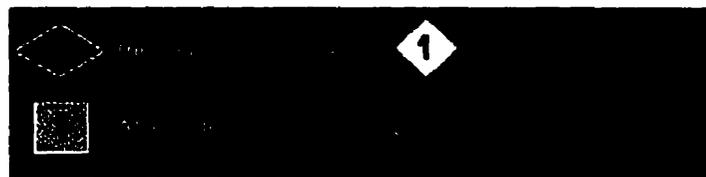


Figure 2.21. Légende du plan de navigation des situations d'apprentissage.



Activité recommandée : C'est l'activité que l'étudiant a le droit de faire selon sa démarche dans le système. En cliquant sur ce bouton il va directement à l'activité (agentContenu). La figure 2.22 montre un exemple d'activité recommandée à l'écran.

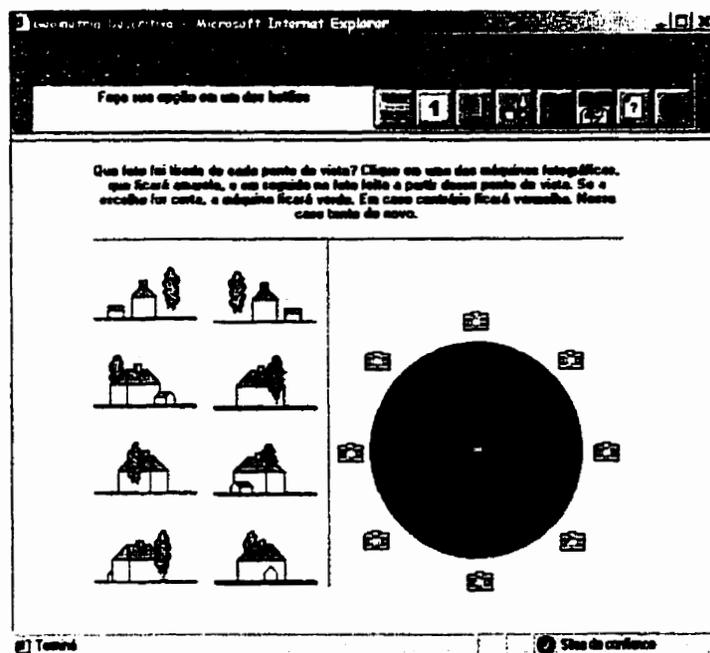


Figure 2.22. Un exercice ouvert dans le cadre 2 de l'interface.

 Support théorique : L'action sur ce bouton ouvre le livre électronique d'aide au contenu, « support théorique » contextuel de l'activité en cours, dans la fenêtre auxiliaire. Figure 2.24.

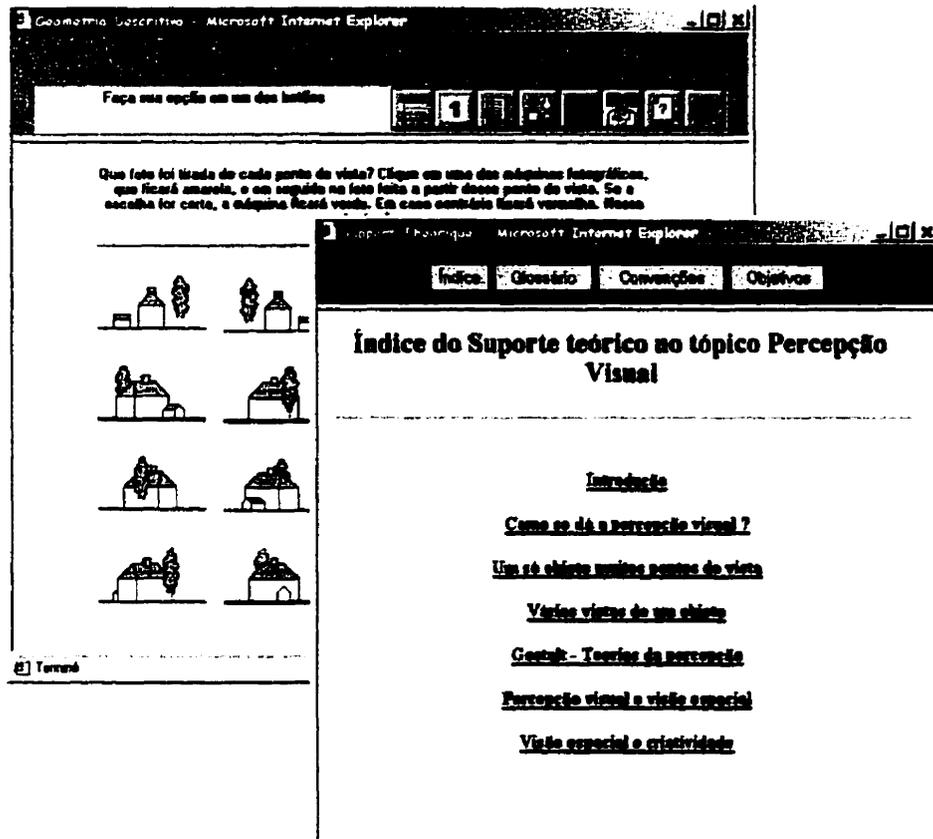


Figure 2.24. Exemple de support théorique qui s'ouvre par une fenêtre auxiliaire.



Demande d'intervention d'un professeur : Avec ce bouton, l'étudiant peut demander l'aide d'un professeur, via Internet. La figure 2.25 montre la fenêtre auxiliaire qui s'ouvre quand l'étudiant clique sur ce bouton.

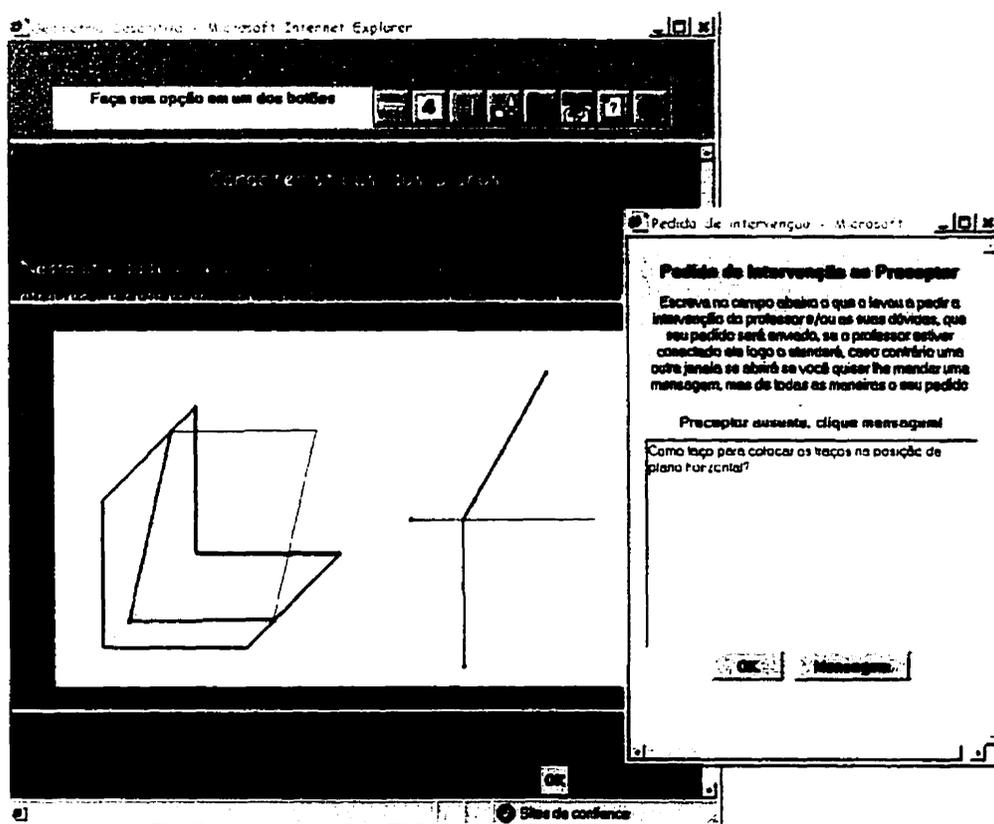


Figure 2.25. Boite de dialogue pour demander l'intervention d'un professeur « online ».

L'intervention d'un professeur peut être faite en temps réel à travers un « chat », une communication par caméra avec audio, un échange de messages ou par courrier électronique, si le professeur n'est pas disponible (cas commun à cause des fuseaux horaires). La figure 2.26 montre la boite pour envoyer un message au professeur.

Microsoft Internet Explorer

**Le Précepteur n'est pas disponible pour l'instant.
Laissez lui un message s.v.p.**

Pour Contacter le Précepteur

Laissez votre message, le précepteur reprendra bientôt contact :

Nom:

Email:

Figure 2.26. Boite pour envoyer un message au professeur.

 Système d'aide : L'action de ce bouton ouvre l'aide à l'utilisation du système dans la fenêtre auxiliaire.

 Interrompre l'interaction avec le système : C'est la façon correcte de quitter le système, afin que la trace de ce que l'étudiant a fait soit enregistrée dans le serveur.

L'interaction du professeur avec le système

Si c'est un professeur qui fait son inscription, une boîte de dialogue s'affiche en demandant le mot de passe et ensuite un formulaire d'inscription à remplir apparaît. Après

l'inscription, le professeur doit charger l'application « agentPrecepteur »⁶ ou bien l'installer automatiquement sur sa machine.

L'interface du professeur a été appelé par Pavel (1999) de *Tableau de bord du précepteur* (Figure 2.27). Elle se compose de champs d'affichage de listes et d'une barre de navigation ou de contrôle qui donne accès aux diverses possibilités d'interaction du professeur avec le système, comme :

- Communication synchrone : visio-conférence, échange de messages en temps réel « chatting », intercommunication audio, observation, partage et contrôle de l'écran de l'étudiant.
- Communication asynchrone.
- Envoi de fichiers aux étudiants lors des interventions, contenant des images, des figures pour manipuler directement entre autres.
- Accès à l'historique des étudiants.
- Aide à la décision pour asseoir les interventions.
- Enregistrement dans l'historique de l'apprenant des commentaires par rapport aux interventions effectuées, diagnostiques et évaluations.
- Spécification des activités et conseils spécifiques pour certains apprenants.
- Réception des demandes d'intervention des apprenants en temps réel ou non.
- Suivi de l'interaction des apprenants en temps réel ou non.

⁶ Agent responsable de la reconnaissance et de l'accueil des Agents Volants qui arrivent à la machine client du précepteur pour exécuter des tâches sur son interface, et de la gestion de l'interfaction du précepteur avec le système et l'appui à la décision du précepteur.

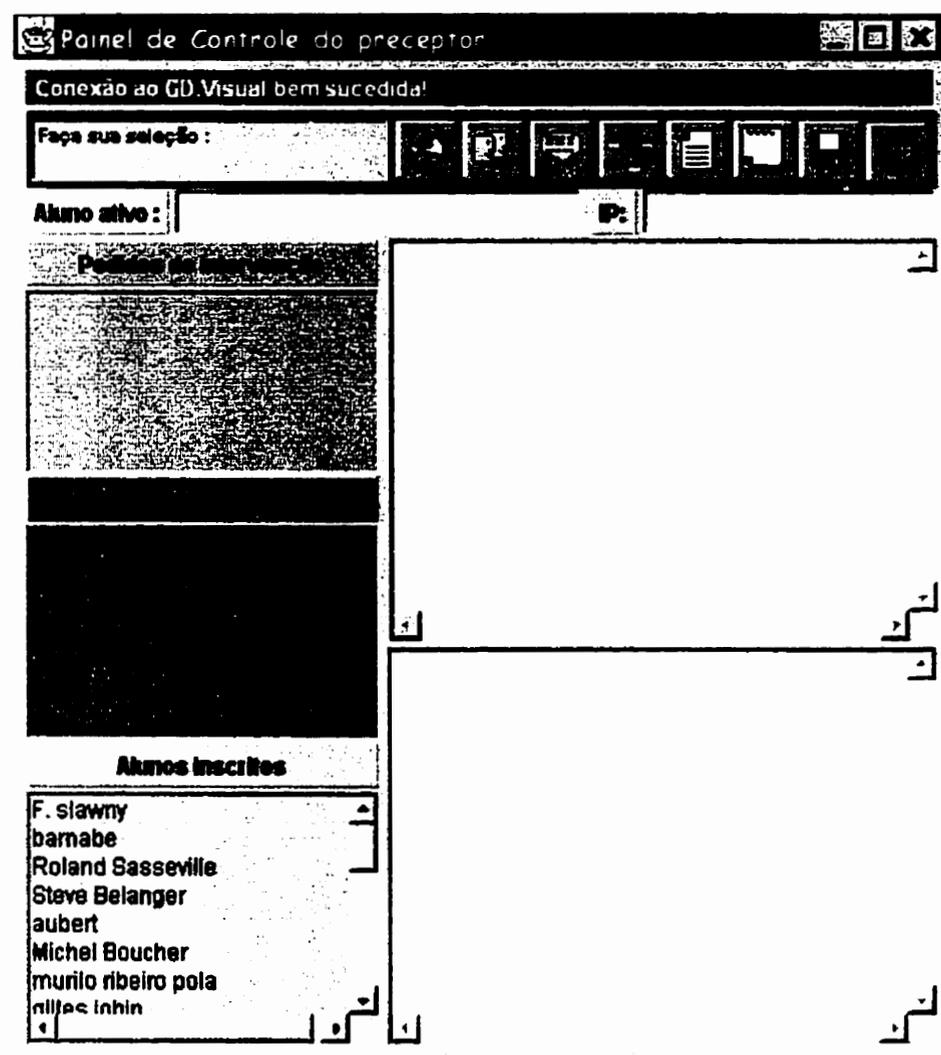


Figure 2.27. Tableau du bord du professeur.

Ensuite nous allons présenter chaque élément du tableau de bord du professeur.

Champ d'affichage : ce champ affiche les actions déclenchées par chaque bouton quand le curseur de la souris passe sur le bouton en question.



Ouvre le système d'aide au professeur dans la navigation. Ce site héberge en fait un livre électronique avec toutes les descriptions des activités détaillées avec les objectifs didactiques, les difficultés les plus communes, les objets d'intervention, etc. (le

formulaires F1, F2, F3 et F4 décrits dans les pages 63, 65, 66, 67, 68 et disponibles dans l'annexe 2). En cliquant sur ce bouton, apparaît à l'écran le contexte de l'activité que l'étudiant est en train de faire au moment où il a demandé l'intervention du professeur. Cette fonctionnalité n'est pas encore totalement implémentée, mais des exemples sont disponibles. La figure 2.28 et 2.29 montrent ce qui apparaît à l'écran en cliquant sur ce bouton.

Description de la Perception Visuel - Microsoft Internet Explorer

Description de la situation d'apprentissage Perception Visuel

[Browser les formulaires de description d'activités](#)
Les formulaires offrent des liaisons vers tous les fichiers associés, soit objets d'interventions, soit fichiers Cabri, soit matériel multimédia.

[Relation des fichiers Cabri associés aux activités.](#)

[Relation des objets d'interventions associés pour activités.](#)

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique <hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France
-----------	---

1 sur 1

Situation n°	1	Titre	Visualisation spatiale
--------------	---	-------	------------------------

Objectifs :

Developper la capacité de visualisation spatiale, la perception visuelle de l'étudiant avant qu'il commence à étudier la géométrie descriptive

Poste de travail

Figure 2.28. Accueil de la situation d'apprentissage.

Description de la Perception Visuel - Microsoft Internet Explorer

F1

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n° 1 Titre : Visualisation spatiale

Objectifs :

Developper la capacité de visualisation spatiale, la perception visuelle de l'étudiant avant qu'il commence à étudier la géométrie descriptive

Connaissance visée :

- Identifier, après visualiser, les projections d'un même objet présentes dans une liste
- Identifier la perspective correspondant aux projections d'une figure
- Etablir empiriquement, par observation, les propriétés de figures 3D.
- Ordonner les propriétés des figures d'une façon informelle.
- Dédure formellement les relations entre les éléments d'une figure.

Capacités à développer :

Capacité de visualisation spatiale et perception visuelle

Prés requis :

Notions intuitives de perspective et projection, notions de solides géométriques

Prés requis pour :

Pour tout l'apprentissage de la géométrie descriptive

Commentaires :

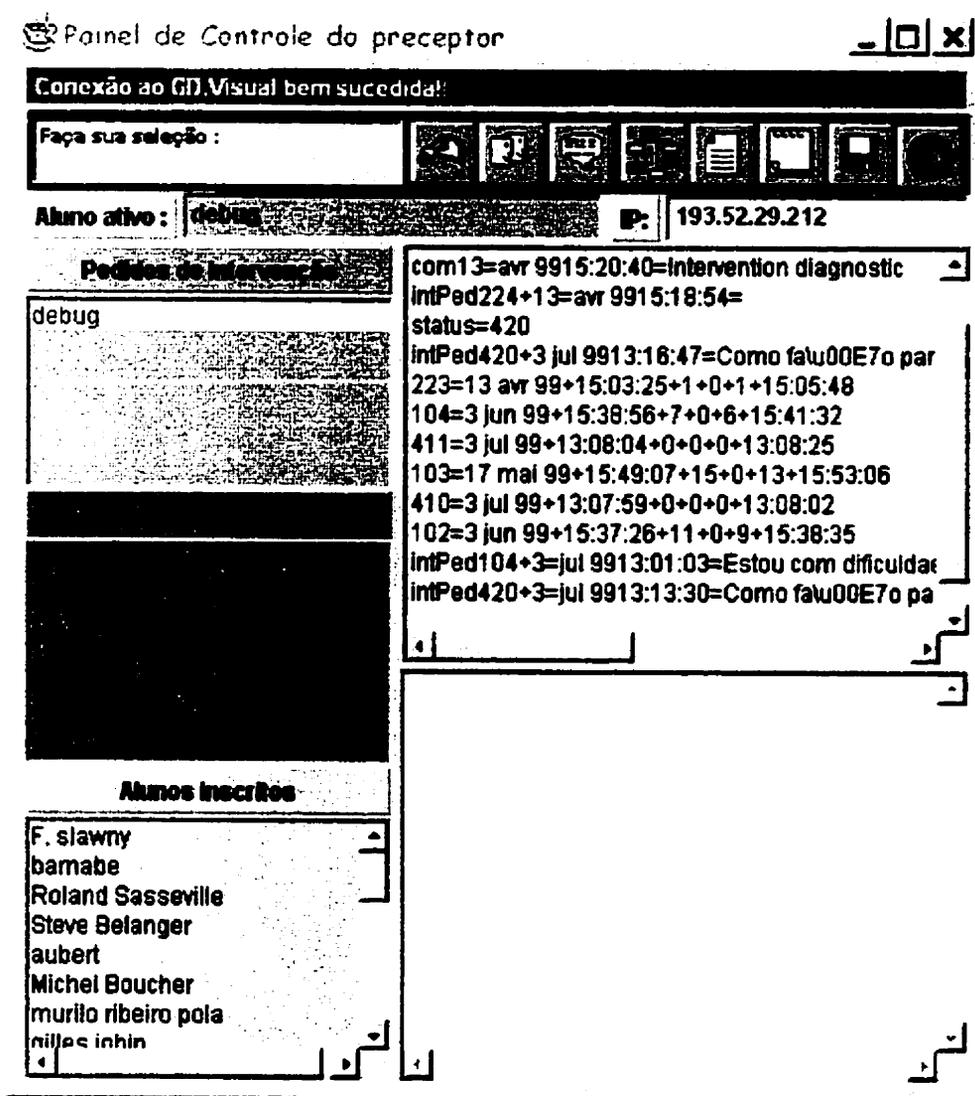
Poste de travail

Figure 2.29. Description détaillée de la situation ou activité.

 Ouvre les extensions logicielles de téléconférence du navigateur par défaut de la machine hôte. Le précepteur doit la configurer avec l'adresse de la machine de l'étudiant sélectionné affiché et ensuite déclencher les communications souhaitées selon les ressources matérielles de la machine hôte.

 Ouvre un « chatting » avec l'étudiant sélectionné. L'implémentation du « chatting » est incomplète, et pas encore opérationnelle.

 Affiche l'historique de l'étudiant sélectionné dans le champ spécifique. Figure 2.30.



The screenshot shows a window titled "Painel de Controle do preceptor" with a status bar indicating "Conexão ao GD Visual bem sucedida!". Below the status bar is a "Faça sua seleção:" field with a dropdown menu currently showing "debug". To the right of this field is an IP address "193.52.29.212".

The main content area is divided into two sections:

- Pedidos de intervenção:** This section contains a list of intervention requests. The visible text includes:
 - com13=avr 9915:20:40=Intervention diagnostic
 - intPed224+13=avr 9915:18:54=
 - status=420
 - intPed420+3 jul 9913:16:47=Como falu00E7o par
 - 223=13 avr 99+15:03:25+1+0+1+15:05:48
 - 104=3 jun 99+15:38:56+7+0+6+15:41:32
 - 411=3 jul 99+13:08:04+0+0+0+13:08:25
 - 103=17 mai 99+15:49:07+15+0+13+15:53:06
 - 410=3 jul 99+13:07:59+0+0+0+13:08:02
 - 102=3 jun 99+15:37:26+11+0+9+15:38:35
 - intPed104+3=jul 9913:01:03=Estou com dificuldade
 - intPed420+3=jul 9913:13:30=Como falu00E7o pa
- Alunos inscritos:** This section contains a list of enrolled students:
 - F. slawny
 - barnabe
 - Roland Sasseville
 - Steve Belanger
 - aubert
 - Michel Boucher
 - murilo ribeiro pola
 - nilles inhin

Figure 2.30. L'historique de l'étudiant.

 Affiche les données d'inscription de l'étudiant sélectionné dans le champ spécifique.

Voir figure 2.31.

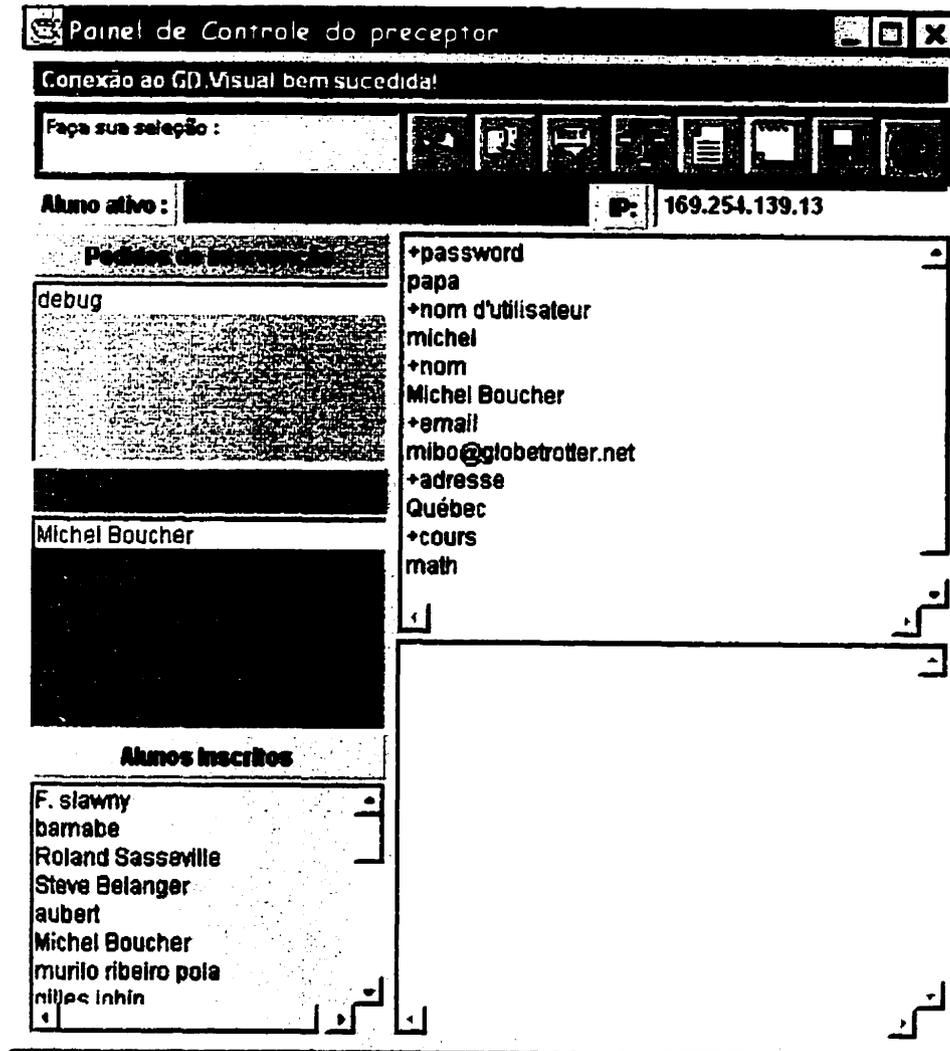


Figure 2.31. Affichage des données d'inscription de l'étudiant.

 Habilita le champ d'édition des commentaires pour qu'ils soient enregistrés dans l'historique de l'apprenant sélectionné. Voir figure 2.32.

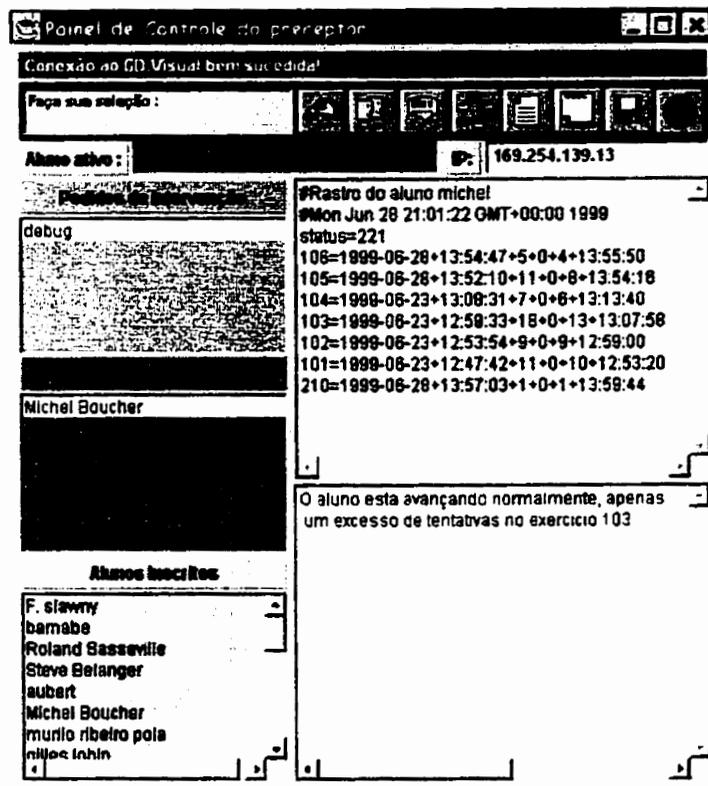


Figure 2.32. Édition de commentaires à l'historique de l'étudiant.

Affiche l'interface d'édition du cahier d'activités de l'apprenant sélectionné dans une fenêtre auxiliaire du navigateur par défaut de la machine hôte. Ce cahier a pour objectif d'atteindre les spécifications de communication asynchrone. L'interface d'édition du cahier d'activités n'est pas encore opérationnelle.

 Enregistre des commentaires édités.

 Déconnexion de l'agentPrécepteur.

2.2.3.2. Description du système GDVisu@l.

Dans cette partie nous allons décrire les cinq modules composants le système et quelques activités et exercices en particulier. Deux modules doivent précéder ceux qui traiteront les sujets spécifiques de la géométrie descriptive, à savoir :

- Un module avec une série de tests diagnostics pour connaître le niveau de visualisation spatiale des étudiants;
- Un module pour offrir à ceux qui n'ont pas une bonne visualisation spatiale, les conditions pour l'avoir et ensuite comprendre les contenus spécifiques de la géométrie descriptive.

De manière générale les situations d'apprentissage suivront la structure et les prémisses suivantes :

- Une introduction présentera le contexte d'utilisation de la connaissance, en montrant son importance et sa nécessité.
- Dans certaines situations, cette importance et cette nécessité seront déduites par l'étudiant à partir d'une activité, d'un exercice de manipulation directe ou indirecte, ou par observation des animations.
- Nous souhaitons que l'étudiant, à partir des activités de manipulation, formule lui-même les concepts essentiels de la connaissance envisagée. S'il n'arrive pas à la formulation désirée, un objet d'intervention (un message pour avertir l'étudiant de faire attention à tel ou tel point, un dessin, une animation...) lui sera offert par le système, pour le guider dans la bonne direction afin d'arriver aux conclusions souhaitées dans une démarche d'apprentissage par découverte guidée. Après les activités, des exercices seront proposés avec l'objectif de fixer la connaissance récemment acquise. En cas de mauvaise conception diagnostiquée, des objets d'intervention seront offerts, créés ad hoc selon une analyse didactique a priori.

- À tout moment les étudiants peuvent demander une intervention au système. Un agent virtuel sera activé et demandera à l'apprenant de caractériser ce qui a motivé sa demande parmi une liste de difficultés (prévues par analyse a priori), deux possibilités s'avèrent alors possibles :
 - a) La difficulté est prévue : l'agent virtuel (Pavel, 1999) procédera à une intervention par un objet d'intervention;
 - b) La difficulté n'est pas prévue : l'étudiant demande l'intervention d'un professeur, et décrit la raison en langage naturel. La demande sera suivie par le professeur.

Pour la conception des situations d'apprentissage nous avons utilisé les formulaires déjà décrits dans 2.2.1.2. Dans ces formulaires les principales difficultés présentées par les étudiants sont décrites dans l'analyse a priori et des objets d'intervention sont prévus pour chacune des difficultés. Les formulaires de description des activités et exercices servent aussi pour aider le professeur lors des interventions.

Tests diagnostics.

Le premier module du système est constitué par une série de tests pour évaluer le niveau de perception visuelle de l'étudiant. Saad et Davis (1997) suggèrent qu'il existe une substantielle connexion entre le niveau de perception visuelle et les niveaux de pensée géométrique de l'étudiant, proposés par Van Hiele et présentés par Gutiérrez (1992) (reconnaissance, analyse, déduction informelle et déduction formelle). Les questions du test suivront un ordre croissant de difficulté, en se basant sur ces niveaux. On a utilisé un test déjà validé et appliqué par Saad et Davis (1997) avec la permission des auteurs. Ensuite on décrira les tests et les objectifs de chacun.

- Niveau 1 – Reconnaissance

L'étudiant compare les figures tridimensionnelles en se basant sur la perception globale des formes ou sur quelques éléments particuliers (des faces, des arêtes, des sommets) sans faire attention à des propriétés comme la grandeur des angles, le parallélisme, etc. Les élèves sont incapables de visualiser des figures ou des positions de figures qu'ils ne peuvent voir, et il en est ainsi des mouvements. La figure 2.33 montre le test pour le niveau 1 de pensée géométrique selon Van Hiele (reconnaissance) : l'étudiant doit reconnaître le groupe de figures semblables en les identifiant avec un chiffre (Saad et Davis, 1997).

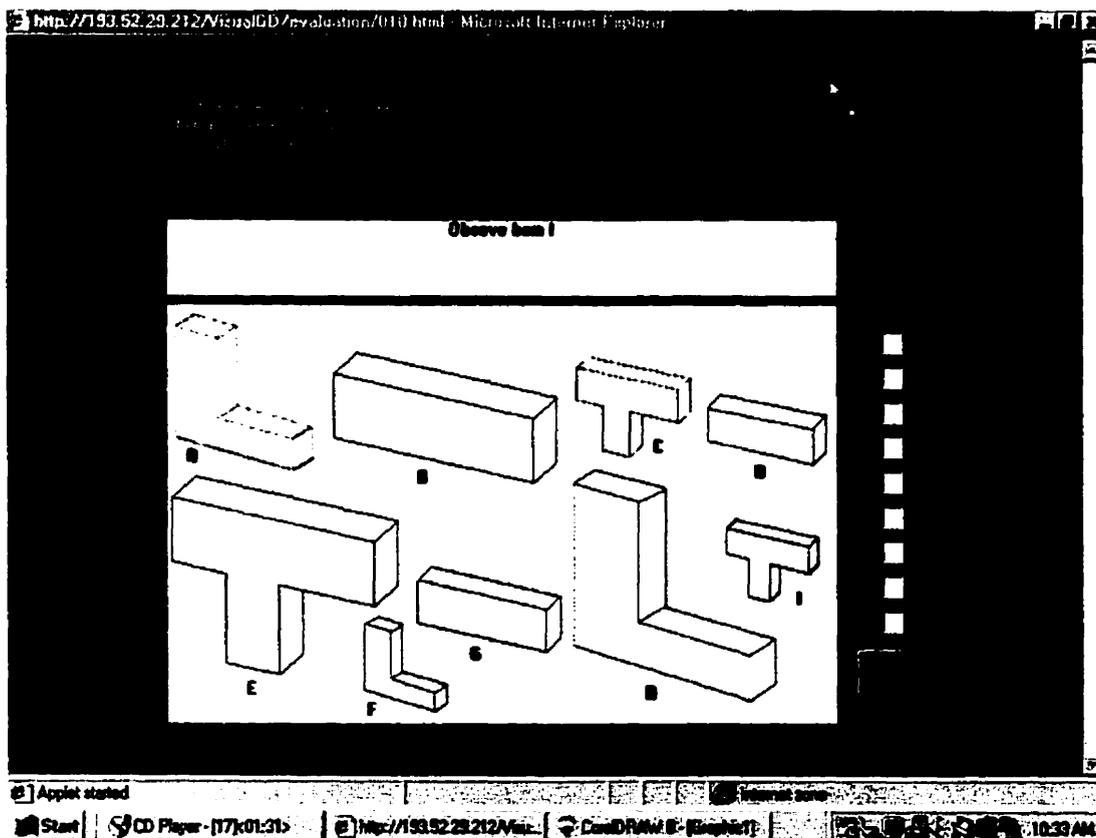


Figure 2.33. Test pour le niveau 1 (reconnaissance)

- **Niveau 2 – Analyse**

La comparaison des objets est basée sur la perception globale de ceux-ci ou de leurs éléments. Les explications des élèves sont principalement basées sur l'observation. Les élèves sont capables de visualiser des mouvements simples de l'objet entre deux positions concrètes. La figure 2.34 montre le test pour le niveau 2 de pensée géométrique selon Van Hiele (analyse): l'étudiant doit identifier les représentations d'un même solide, en positions différentes. (Saad et Davis, 1997). Ce test peut être visualisé dans le CD-ROM d'exemples. Il est l'exemple numéro 1.

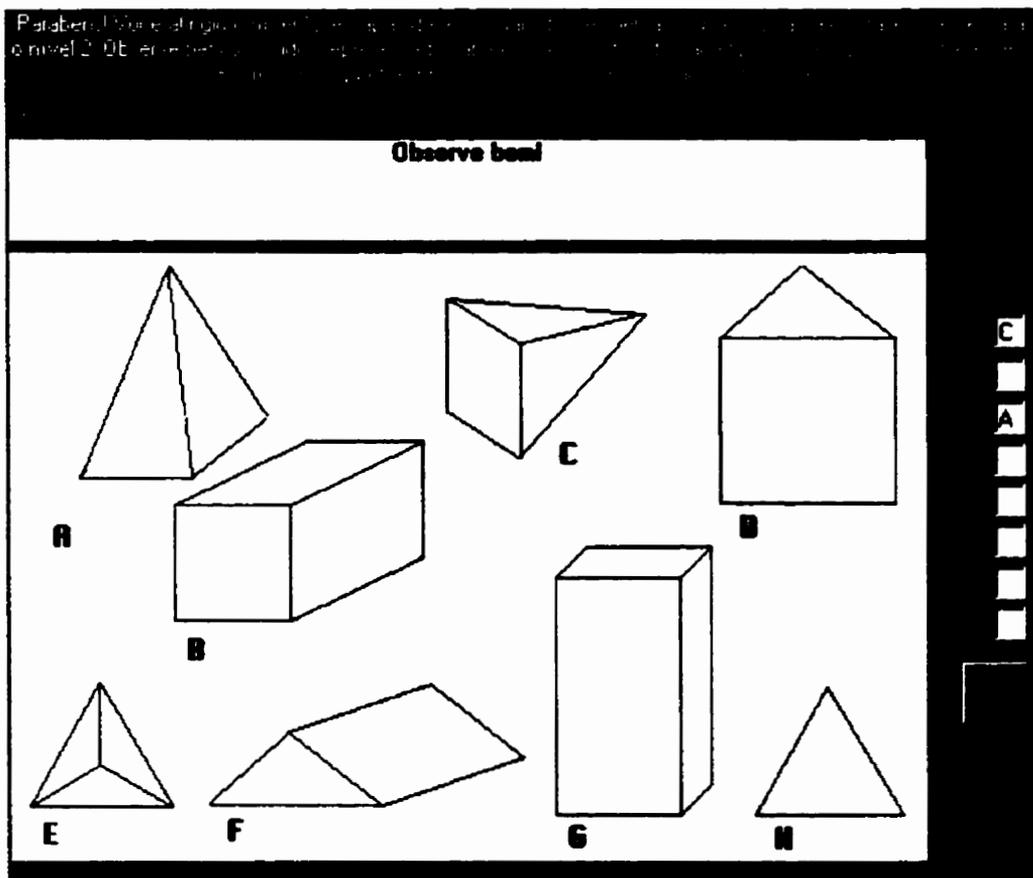


Figure 2.34. Test pour le niveau 2

• Niveau 3 – Déduction formelle

Les réponses des élèves contiennent déduction informelle basées sur les propriétés isolées de la figure. Ces propriétés peuvent être observées dans les représentations des figures ou connues à partir de leur structure. Une meilleure capacité de visualisation des élèves leur permet de visualiser des mouvements à partir ou vers des positions non visibles. La figure 2.35 montre le test pour le niveau 3 de pensée géométrique selon Van Hiele (déduction informelle) : l'étudiant doit identifier les représentations d'un même solide, en positions différentes. (Saad et Davis, 1997).

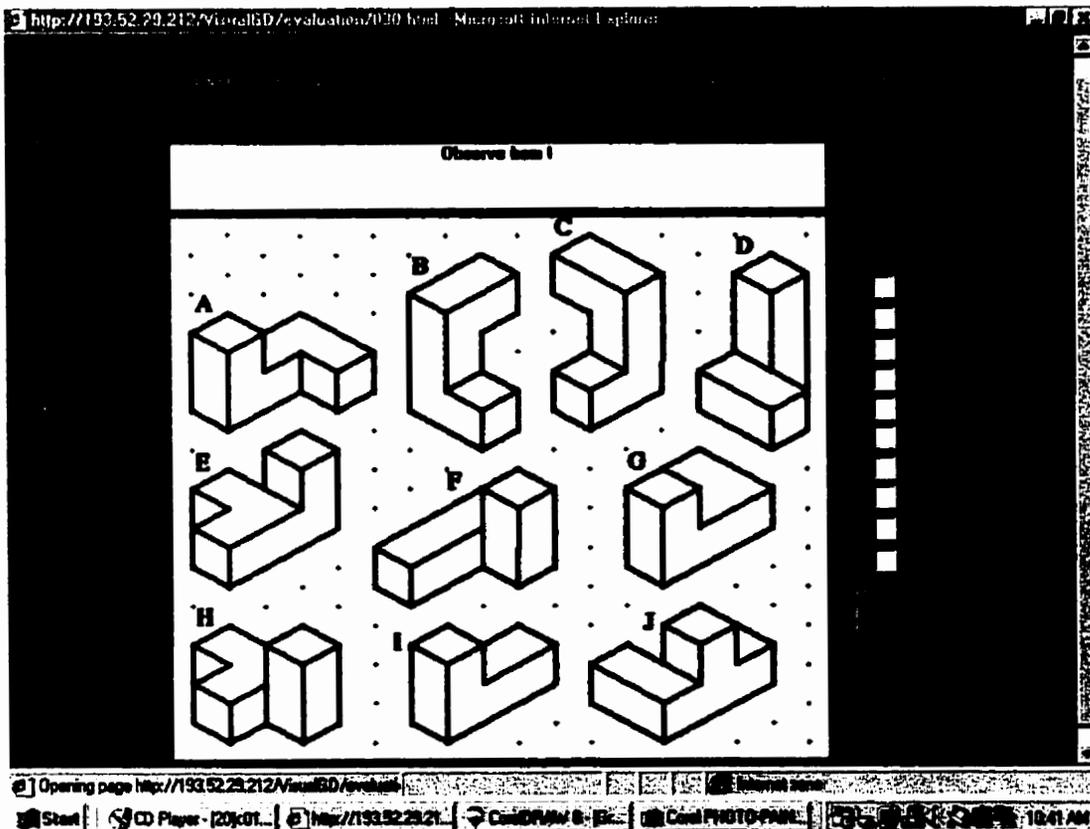


Figure 2.35. Test pour le niveau 3

• Niveau 4 – Dédution formelle

Les élèves à ce niveau, ont une grande capacité de visualisation. Ils peuvent planifier d'avance les mouvements en se basant sur les structures de l'objet et sur ses propriétés. Le test pour le niveau 4 consiste à découvrir le nombre et la forme des faces des solides géométriques représentés en perspective à l'écran. L'étudiant peut manipuler le solide avec la souris, en le plaçant dans une position pour bien le visualiser et saisir ses propriétés. Il y a cinq polyèdres différents dans ce test et un de ceux-ci peut être visualisé dans le CD-ROM d'exemples. Il est l'exemple 2. Voir figure 2.36.

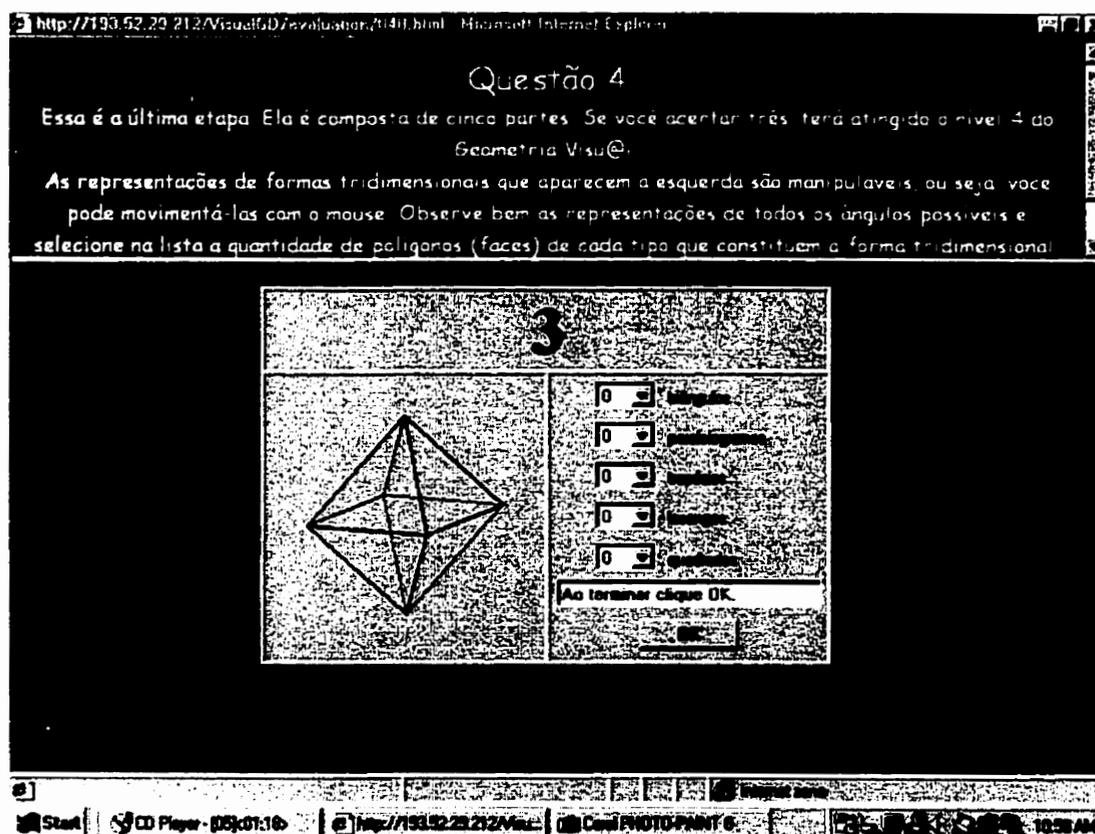


Figure 2.36. Polyèdres que l'étudiant peut manipuler

Le niveau de l'étudiant

Si l'étudiant échoue trois fois un même exercice, on considère qu'il n'a pas atteint ce niveau encore. Dans ce cas le système l'amène au module 1 pour travailler la perception visuelle. Si l'étudiant réussit tous les exercices, cela veut dire qu'il a le niveau 4 de pensée géométrique par rapport à la perception visuelle et il est prêt alors pour commencer l'étude des projections et de la géométrie descriptive.

Module 1 – Sur la perception visuelle.

Ce module est constitué de six exercices qui visent à travailler les notions de perspective d'un objet vu à partir de différents points de vue et les notions de projections d'un objet en trois plans orthogonaux. Les exercices ont un côté ludique, utilisent des métaphores comme une machine à photo pour simuler les différents points de vue, présente des situations du quotidien pour travailler les notions intuitives de perspective et projection. Il y a un feedback immédiat après que l'étudiant a fait un exercice. L'erreur peut être signalée par une petite lumière rouge aussi bien qu'une réussite est signalée pour une lumière verte. Dans quelques cas un objet d'intervention apparaît pour aider l'étudiant quand il fait une erreur et lui donne des indices pour qu'il puisse réussir l'exercice. Ensuite on présente une description brève de chaque exercice et des concepts ou notions qu'ils englobent.

Exercice 1

L'objectif principal de cet exercice est de travailler la capacité de passer de l'espace graphique à l'espace tridimensionnel, c'est-à-dire, former une image mentale de l'objet à partir de ses projections. L'étudiant doit identifier dans une liste de quinze vues de cinq bouteilles différentes, les trois vues d'une même bouteille. Pour faire cela l'étudiant aura toujours une vue de référence et il faut qu'il trouve les deux autres dans la liste. L'étudiant doit cliquer dans l'espace réservé à la vue pour après cliquer dans la vue qu'il pense être la bonne. S'il fait le bon choix, la vue apparaît dans l'espace approprié, un message apparaît pour le féliciter et lui dire de continuer l'exercice. Dans le cas contraire, l'espace où la vue

devrait apparaître, reste vide et il apparaît un message à l'écran disant à l'étudiant de bien faire attention et d'observer mieux les vues. L'étudiant aura l'opportunité de comparer les dimensions invariantes d'une vue à l'autre et forme ainsi l'image mentale en coordonnant les trois vues de l'objet. Quand l'étudiant choisit toutes les vues, le bouton apparaît pour lui proposer l'exercice suivant. Les figures 2.37 et 2.38. montrent l'écran initial et un écran intermédiaire de cet exercice, c'est l'exercice numéro trois dans le CD-ROM ci-joint.

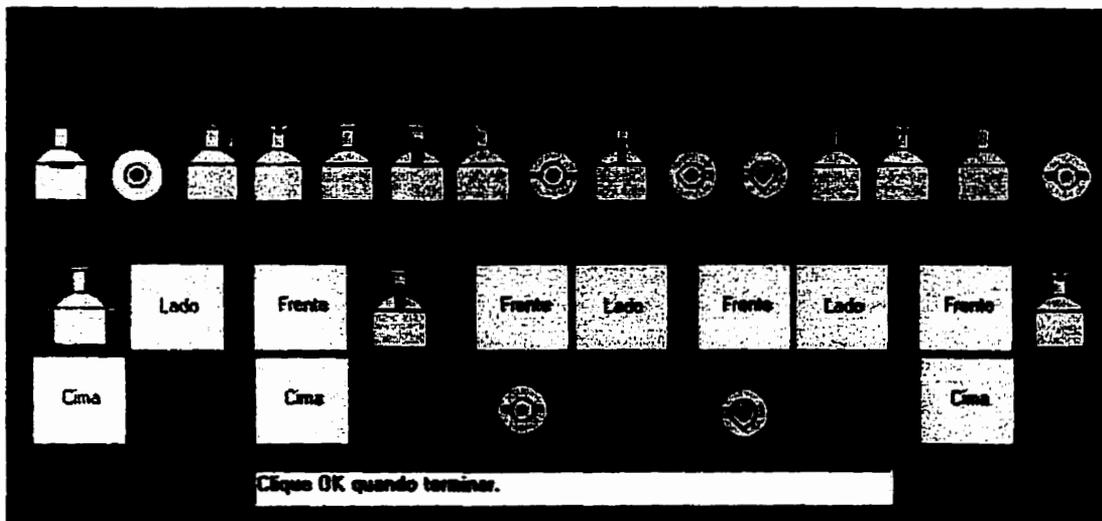


Figure 2.37. Image initial à l'écran

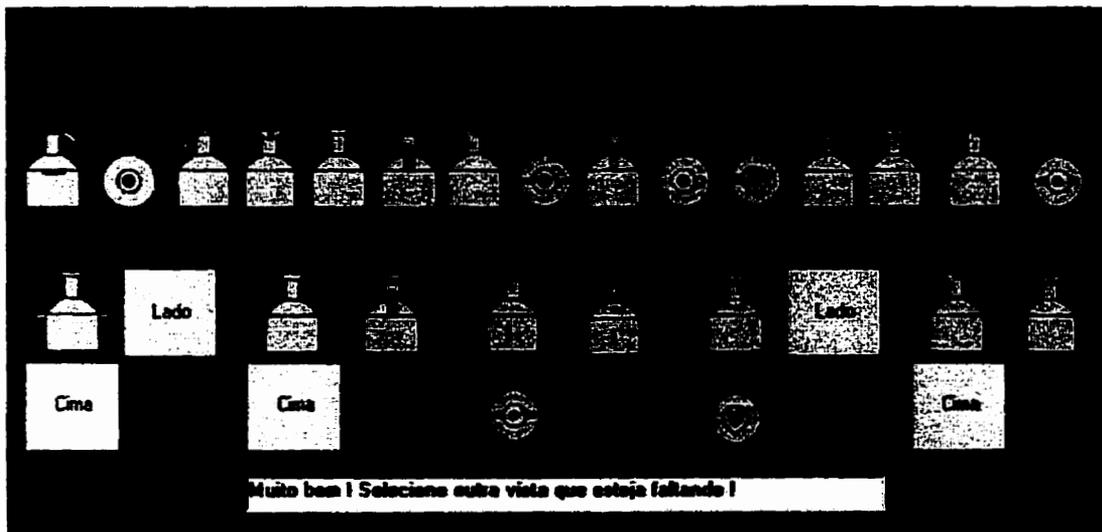


Figure 2.38. Image d'un écran intermédiaire

Exercice 2

Maintenant, l'objectif principal de l'exercice est de travailler la capacité de passer de l'espace tridimensionnel à l'espace graphique, c'est-à-dire, imaginer les projections d'un objet aussi bien que de trouver les dimensions invariantes d'une vue à l'autre. Pour faire cela, l'étudiant doit sélectionner un objet représenté en perspective et ensuite, choisir la tablette trouée où l'objet peut passer de trois façons différentes. Les trous représentent le contour des vues principales de l'objet. Quand l'étudiant fait le choix d'un objet, un signe jaune apparaît pour dire que l'objet a été sélectionné. Ensuite, il doit choisir la tablette trouée en cliquant sur elle. S'il fait le bon choix, un signe vert apparaît pour lui dire qu'il a réussi. Dans le cas contraire, une image avec les trois vues principales de l'objet apparaît; le contour de chaque vue représente un trou de la tablette. Comme ça, l'étudiant peut comparer les vues avec les trous et décider dans laquelle des tablettes l'objet peut passer. Les figures 2.39 et 2.40 illustrent cet exercice qui est le quatrième dans le CD-ROM de démonstration.

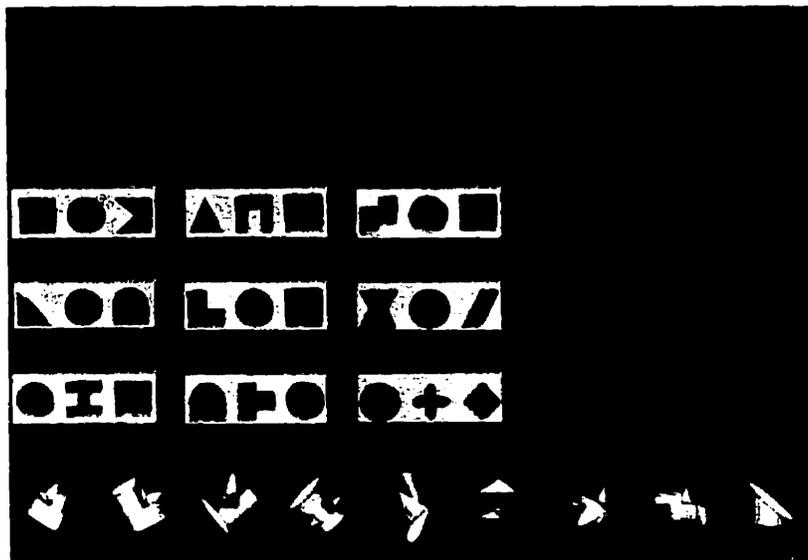


Figure 2.39. Écran initial.

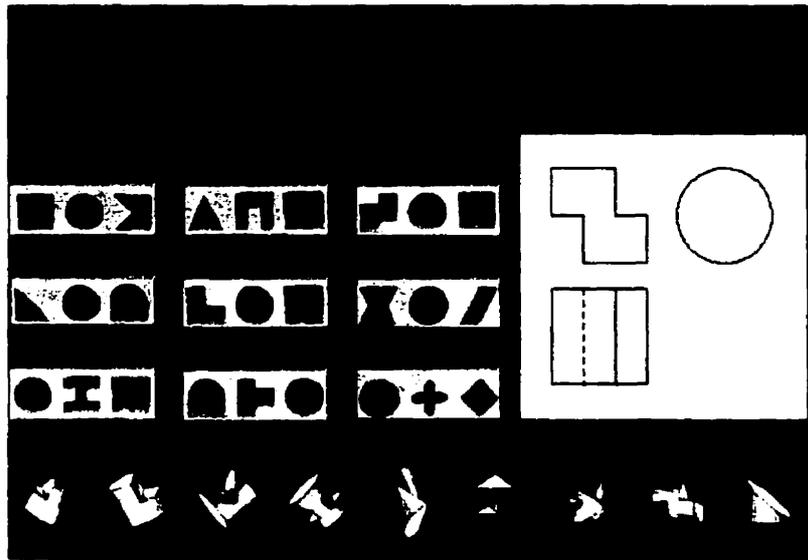


Figure 2.40. Interface intermédiaire avec une réussite (avec le signe vert) et une erreur (avec le signe rouge), avec l'objet d'intervention.

Exercice 3

L'objectif de cet exercice est de travailler l'habileté d'opérer mentalement, faire des rotations des images mentales, pour dégager les propriétés des objets géométriques. À partir d'une série de représentations d'objets tridimensionnels l'étudiant doit trouver les paires d'objets qui forment un cube. Il y a un objet de plus, c'est-à-dire, il n'y a pas de paire. L'étudiant doit l'identifier aussi. Il faut que l'étudiant clique pour trouver la lettre qui correspond à chacun des objets, comme par exemple : l'objet A, a besoin de l'objet F pour former un cube. Voir les figure 2.41 et 2.42.

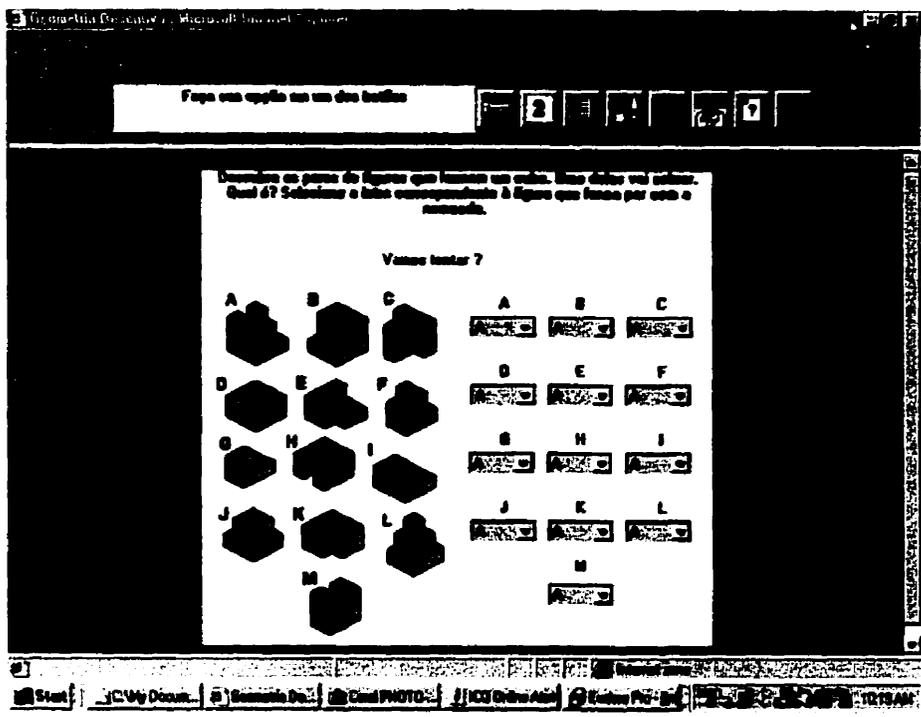


Figure 2.41. Trouver la paire d'objets géométriques qui ensemble forment un cube.

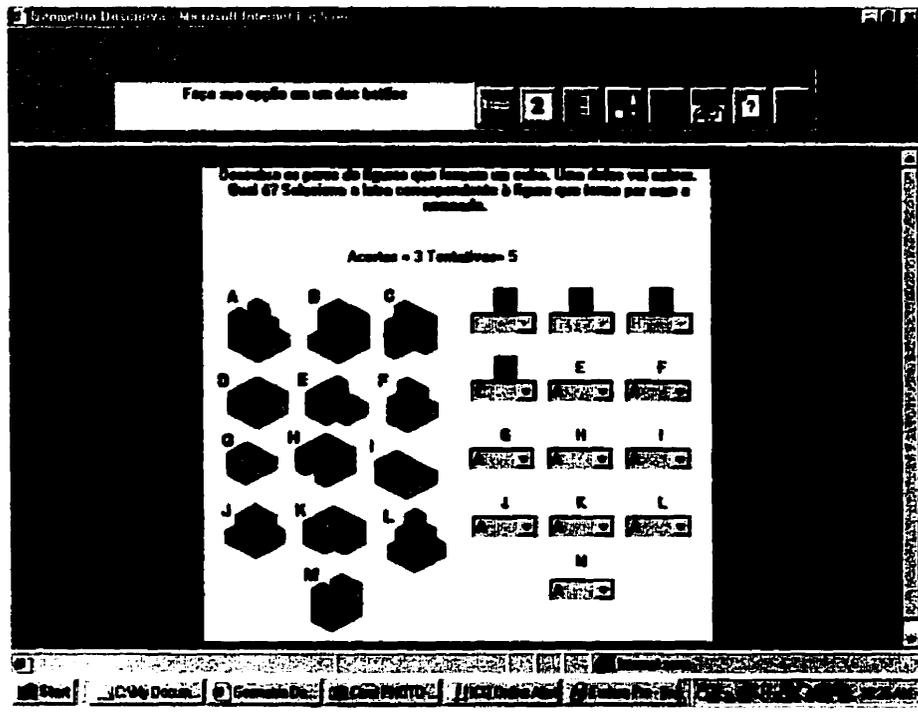


Figure 2.42. Un écran intermédiaire, avec trois réussites et un échec.

Exercice 4

Un des objectifs de cet exercice est de travailler la décentralisation de l'individu par rapport à un ensemble d'objets géométriques, c'est-à-dire, le faire imaginer ce qui est vu de différents points de vue. Un autre objectif est de travailler les relations entre l'espace tridimensionnel et bidimensionnel. À partir d'une projection, l'étudiant doit imaginer la perspective d'un ensemble d'objets. À l'écran l'étudiant voit une carte où sont indiqués trois bâtiments : un phare, une église et un moulin. Une situation problème est présentée à l'étudiant : un capitaine d'un bateau a fait des photos des différents points de vue de la côte. Les photos sont mélangées et il faut découvrir laquelle a été prise à partir de chaque point démarqué sur la carte. L'étudiant doit choisir dans un paquet virtuel de photos celle qui correspond au point de vue qu'il sélectionne d'avance. Quand il réussit, la photo apparaît dans une séquence, à l'écran. Les figures 2.43 et 2.44 montrent l'écran initial et un autre, l'intermédiaire.

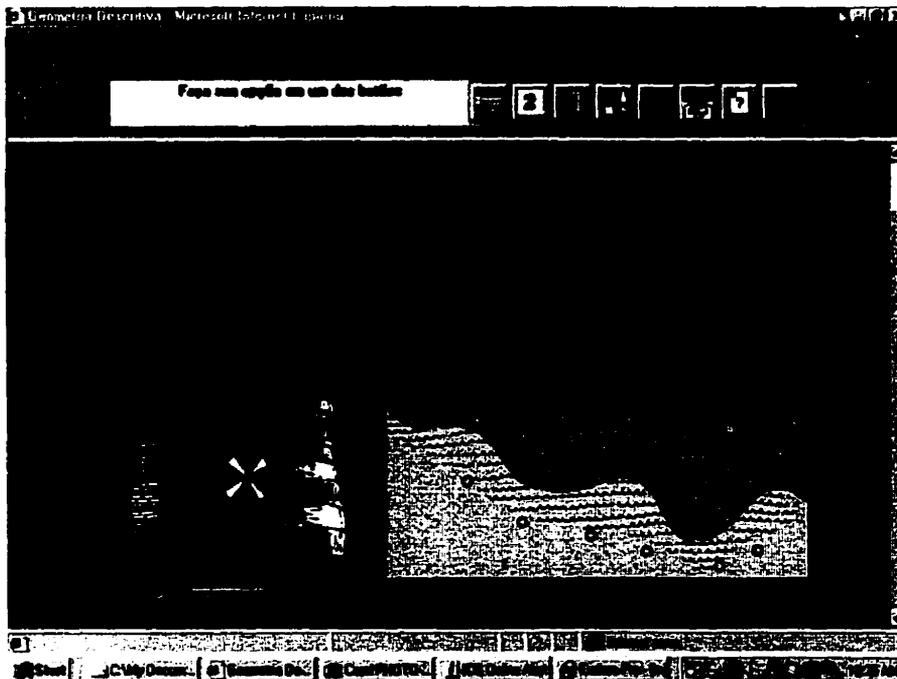


Figure 2.43. L'écran initial.



Figure 2.44. L'écran intermédiaire, avec trois réussites et un échec.

Exercice 5

Les objectifs de cet exercice sont les mêmes que l'exercice précédent. Dans ce cas, le contexte est un terrain avec une arbre, une maison et une niche. La simulation de prendre des photos de différents points de vue est reprise ici, car pour nous, il est important de profiter des notions intuitives des perspectives et des projections que l'étudiant a déjà acquises pour les incorporer aux nouvelles connaissances sur le sujet. L'étudiant doit choisir une position, en cliquant sur l'appareil photo (à côté duquel apparaît un signe jaune pour dire que ce point de vue a été choisi) et ensuite cliquer sur l'image qui correspond à la photo prise de ce point de vue. Un signe vert apparaît si l'étudiant réussit et un signe rouge apparaît dans le cas contraire et alors, l'étudiant doit choisir une autre « photo » ou perspective de l'ensemble des objets. La figure 2.45 illustre cet exercice et dans le CD-ROM de démonstration c'est l'exercice numéro 5.

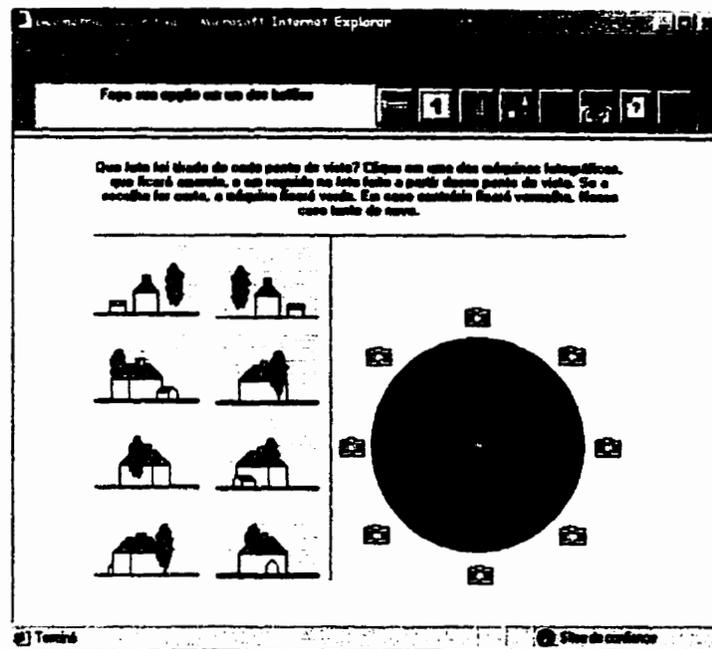


Figure 2.45. Découvrir quelle photo a été prise à chaque point de vue.

Exercice 6

Ici l'objectif continue d'être la décentralisation, mais les moyens d'y arriver sont différents. L'étudiant doit découvrir ce que voit chacun des quatre personnages qui apparaissent à l'écran et qui observent une représentation d'une maquette sur une table. Il faut qu'il imagine ce que les personnages voient en partant des éléments visibles, pour déduire les éléments cachés. Les erreurs des étudiants seront signalées par un point rouge à côté de son choix, tandis que la réussite sera signalée par un point vert. Voir figure 2.46.



Figure 2.46. Interface de l'exercice 6, avec une réussite et un autre élément sélectionné.

Module 2 – Sur les notions de projections.

Dans cette situation commencent les notions spécifiques utilisées en géométrie descriptive et un court vidéo portant sur la notion intuitive de projection d'ombre portée est présenté aux étudiants. Le vidéo montre des ombres en forme d'animaux faites avec les mains et après cela, la projection de figures comme le rectangle et le triangle, qui changent de forme à mesure que la figure change de position et de distance du plan de projection. La figure 2.47 montre deux images de ce vidéo.

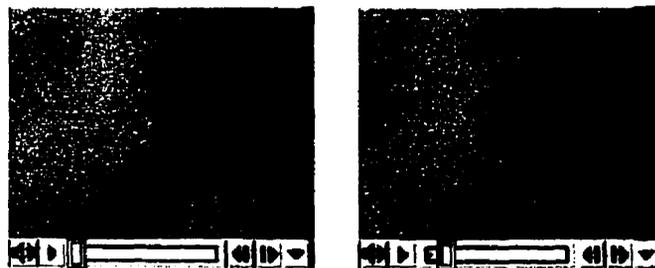


Figure 2. 47. Images du vidéo sur les notions intuitives de projection d'ombres portées.

Ensuite il y a une activité qui montre les types de projection, à partir d'une animation qui montre une projection conique qui se change en projection cylindrique quand la source lumineuse va à l'infini. Ceci montre que la projection cylindrique peut être oblique aussi bien qu'orthogonale par rapport au plan de projection. La figure 2.48 montre une séquence d'images de cette animation.

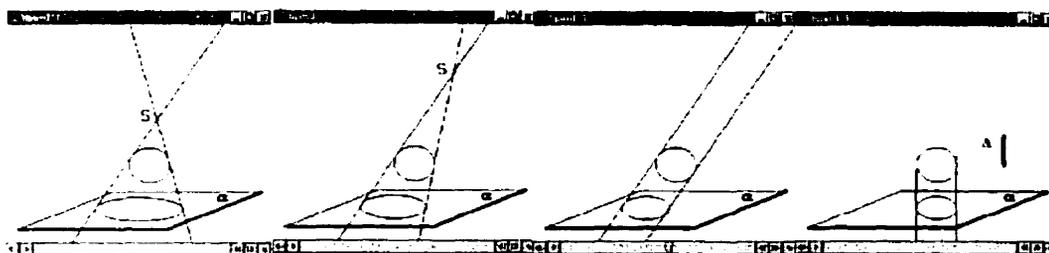


Figure 2.48. Séquence d'images de l'animation sur les projections.

Une série d'activités de manipulation de figures est présentée à l'étudiant. Les figures ont été faites avec Cabri Java. Elles montrent des segments et des figures planes qui sont projetées sur un ou deux plans, selon le cas. L'étudiant manipule les figures et observe le changement dans leurs projections. À partir de cette observation il découvre les principales notions sur les projections, comme par exemple : le segment parallèle à un plan de projection, est projeté en vraie grandeur (VG). Les exercices sont en général de choisir la bonne réponse, de dire si l'affirmation est vraie ou fausse. Quand l'étudiant échoue, il voit apparaître une autre figure pour donner des indices sur son erreur.

Nous décrivons ici l'activité qui montre un triangle contenu dans un plan qui peut être bougé en variant son angle d'inclinaison par rapport à un plan horizontal. Au fur et à mesure que l'étudiant bouge le plan par le point P, la projection du triangle sur le plan horizontal change de grandeur. L'objectif de cette activité est que l'étudiant découvre par lui-même que, quand une figure appartient à un plan perpendiculaire à un plan de projection, sa projection se réduit à un segment contenu dans l'intersection des deux plans. Il peut s'apercevoir aussi que quand les deux plans coïncident (un cas particulier de deux plans parallèles) la projection du triangle est en « vraie grandeur », c'est-à-dire, à la même grandeur que le triangle. Le concept de « vraie grandeur » est très important dans la géométrie descriptive et il faut que l'étudiant le maîtrise bien. La figure 2.49 montre la variation de position du plan qui contient le triangle. Après avoir manipulé la figure, l'étudiant doit répondre aux questions proposées dans l'exercice, sur la grandeur et la forme de la projection conforme à la position du plan qui contient le triangle. Cet exercice peut être vu de façon à manipuler le plan, dans l'exemple 7 contenu dans le CD-ROM en annexe de cette thèse.

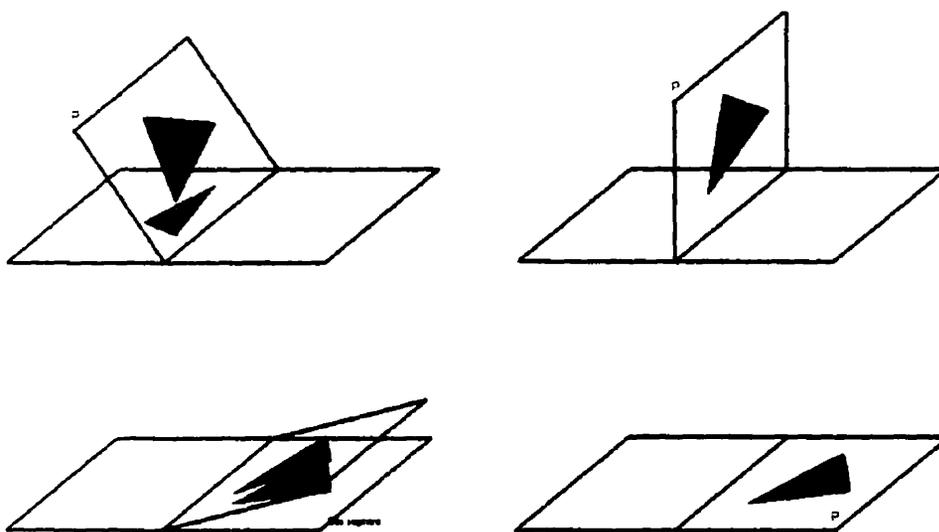


Figure 2.49. Variation de la grandeur de la projection en fonction de l'inclinaison du plan qui contient la figure par rapport au plan de projection.

Module 3 – Sur le concept d'épures

Cette situation est peut être la plus importante du système parce que l'épure est un concept de base en géométrie descriptive.

Pour commencer l'étudiant doit conclure que pour qu'une figure soit bien représentée elle doit avoir au moins deux projections orthogonales. Trois exercices sont utilisés pour l'amener à cette conclusion.

Le premier montre une projection et quatre objets différents, qui sont représentés dans la figure 2.50. L'étudiant doit trouver lequel appartient à la projection.

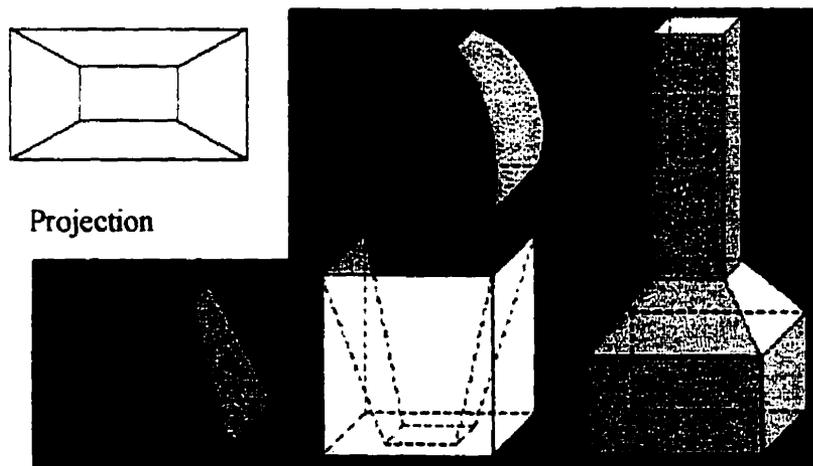


Figure 2.50. Des objets ayant la même projection dans le plan horizontal

Dans la réalité, la projection en question appartient à tous les objets et ce que l'on veut démontrer c'est qu'une seule projection n'individualise pas un objet.

Le deuxième exercice présente un choix multiple où l'étudiant doit trouver le nombre de projections qui représente d'une façon exacte un objet. Pour chaque réponse inexacte de l'étudiant il y a un objet d'intervention, avec des images et textes qui aident l'étudiant à conclure qu'il faut avoir au minimum deux projections d'un objet pour bien le représenter. Même quand l'étudiant réussit, il y a une image qui confirme son choix et montre que deux

est vraiment le minimum, car parfois nous avons besoin de plus de deux projections. La figure 2.51 présente ensemble les images qui apparaissent comme objet d'intervention dans cet exercice.

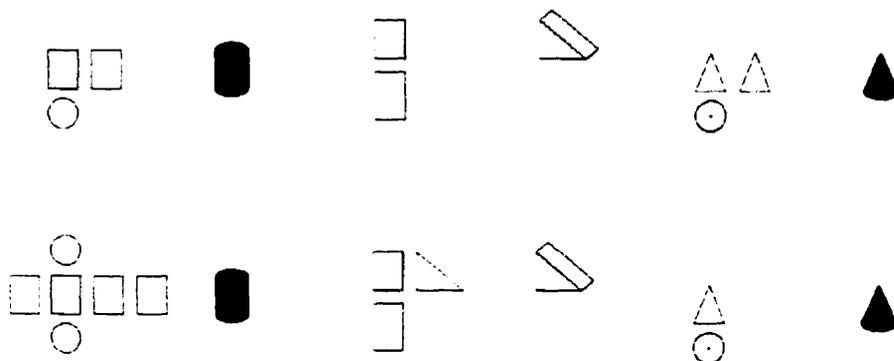


Figure 2.51. Objets d'intervention de l'exercice sur le nombre de projections pour bien représenter un objet.

Le troisième exercice de cette série, reprend les objets du premier en présentant les deux projections de chacun. L'étudiant doit associer ces projections à l'objet. Pour faire cela, il manipule une série d'images qui montre les objets. Quand il trouve l'objet dont les projections sont représentées à l'écran, il le sélectionne. Cette série d'exercices a été décrite dans les formulaires F3 et F4 dans les pages 66, 67 et 68 et les figures 2.1 et 2.2 à la page 69 décrivent le troisième exercice. Il est l'exemple 9 dans le CD-ROM en annexe de cette thèse.

Ensuite une série de concepts importants est présentée d'un seul coup dans une seule phrase. Cette façon de présenter a pour but de fournir un défi à l'étudiant et de lui donner le goût de connaître la signification de chaque terme nouveau contenu dans la phrase. Chaque nouveau concept présenté fonctionne comme un mot clé. En cliquant sur lui, l'étudiant voit apparaître une animation ou une image statique qui représente graphiquement le concept. Cette façon visuelle de présenter le concept, aidée par le mouvement, facilite la

compréhension de celui-ci. Les concepts tels que épure, projection verticale, projection horizontale, rotation, dièdre, ligne de terre, ligne d'appel, etc, sont travaillés dans cette activité.

Il est très important pour l'étudiant de géométrie descriptive de savoir dessiner une épure, c'est-à-dire, les deux projections conjuguées d'une même figure. Dans un système d'enseignement sur Internet, cela pourrait devenir compliqué parce qu'il faut garder la trace de l'étudiant. Nous avons alors créé une façon de dessiner une épure en choisissant des options dans une liste. À chaque fois que l'étudiant fait un bon choix, une ligne, un segment ou un point apparaît à l'écran. S'il ne fait pas le bon choix, un indice lui est donné pour choisir une autre option. L'étudiant doit compléter une série d'exercices sur la construction de l'épure. Nous avons appelé cette façon de dessiner une épure de *manipulation indirecte*. La figure 2.8 à la page 77 montre un exemple de ce type d'exercice. Le même exercice peut être vu dans la série d'exemples sur le CD-ROM en annexe. Il est l'exemple numéro 11.

Une brève notion sur la représentation des coordonnées d'un point est présentée à l'étudiant, parce que l'étude du point fait partie d'une situation d'apprentissage en particulier. Une animation montre la variation des coordonnées d'un point pendant qu'il varie sa position par rapport aux plans de projection.

Module 4 – Sur l'étude des plans

L'étude des plans, aussi bien que ceux des droites et des points, est d'une importance primordiale en géométrie descriptive. Ces trois éléments sont considérés comme l'abécédaire de la géométrie descriptive, si nous considérons cette discipline comme une sorte de langage graphique.

La première activité du module est celle qui montre les différentes façons de définir un plan à travers une série d'images que l'étudiant peut manipuler. À chaque fois que

l'étudiant clique « suivant » une figure apparaît et un texte explique cette figure. Cette activité peut être vue sur le CD-ROM en annexe. Elle est celle de numéro 13.

Ensuite, des animations montrent les traces de chaque type de plan. Le concept de traces d'un plan en général est un concept difficile à assimiler. À travers l'animation l'étudiant peut suivre la transformation d'une trace laissée par un plan dans les plans de projection jusqu'à une épure du plan, représentée par ces mêmes traces. La figure 2.52 représente une séquence d'images de l'animation de l'épure d'un type de plan.

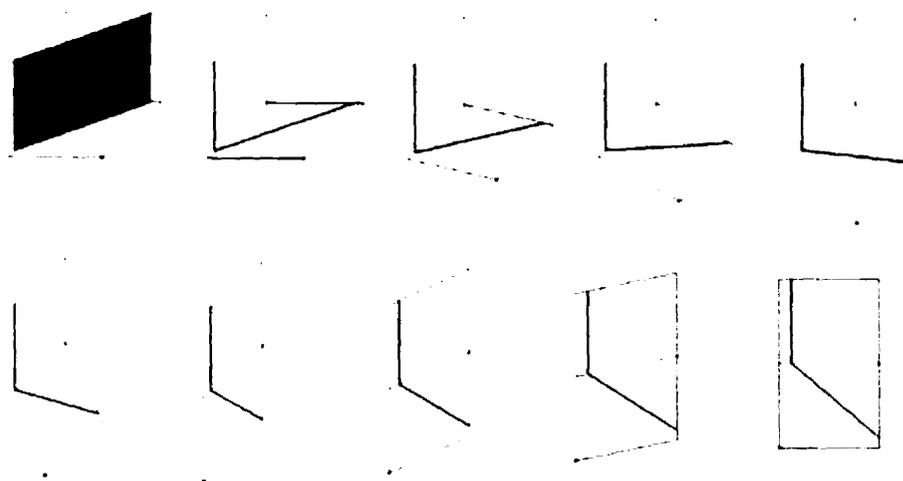


Figure 2.52. Séquence d'images d'une animation sur l'épure d'un plan.

L'activité suivante est la découverte de toutes les caractéristiques des plans. Pour arriver à cela, l'étudiant doit manipuler les dessins faits avec Cabri Java. Il bouge le plan dans le dièdre et change son type. Le changement dans l'épure est automatique. L'étudiant imprime une fiche avec les noms des plans, leur représentation en perspective et leurs épures. Il doit remplir la fiche avec les caractéristiques du plan, par rapport aux plans de projection et de ses traces et par rapport à la ligne de terre. À la fin, il peut vérifier s'il a réussi à trouver toutes les caractéristiques des plans. La figure 2.53 montre la fiche remplie. Dans le CD-ROM en annexe, cette activité est la numéro 14.

Nome	Perspectiva	α em relação ao PH			α em relação ao PV			Epura	α em relação a LT					
		//	\perp	\sphericalangle	//	\perp	\sphericalangle		//	\perp	\sphericalangle	\equiv		
Horizontal		X			X							X		
Frontal			X		X			X						
Vertical			X			X				X			X	
De topo				X		X			X					X
Perfil			X			X			X				X	
Que passa pela LT				X		X					X			X
Paralelo à LT				X		X		X				X		
Qualquer				X		X				X				X

Figure 2.53. Fiche remplie avec les caractéristiques des plans.

Finalement l'étudiant joue le « Solitaire de plans », un jeu semblable au Solitaire qu'il y a dans tous les ordinateurs PC, mais dont les cartes sont les caractéristiques des plans. C'est une façon de fixer l'apprentissage sur les plans tout en s'amusant en même temps. Ce qui pourrait être une activité plate et rébarbative, devient alors agréable et divertissant. Le jeu consiste à placer toutes les cartes qui représentent les caractéristiques d'un même plan ensemble comme le montre la figure 2.56. À chaque fois que l'étudiant fait un bon choix, il gagne deux points. À chaque fois qu'il fait un mauvais choix ou qu'il répète une carte pour un plan, il perd un point. Il faut obtenir 75 points pour pouvoir arrêter de jouer, car ce score représente 80% de réussite de l'exercice, ce qui indique aussi une bonne maîtrise par rapport aux caractéristiques du plan, sujet très important pour les applications pratiques en géométrie descriptive. Ensuite, les figures 2.54, 2.55 et 2.56 montrent des phases du jeu. Le jeu est l'exemple de numéro 15 dans le CD-ROM en annexe.

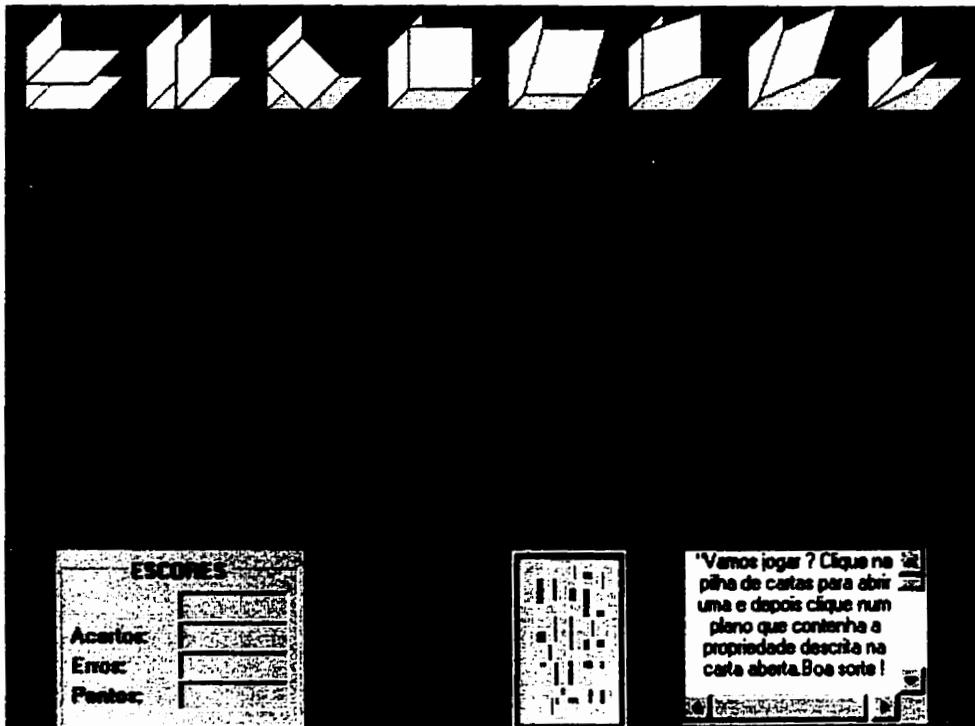


Figure 2.54. Interface inicial do jogo de paciência.

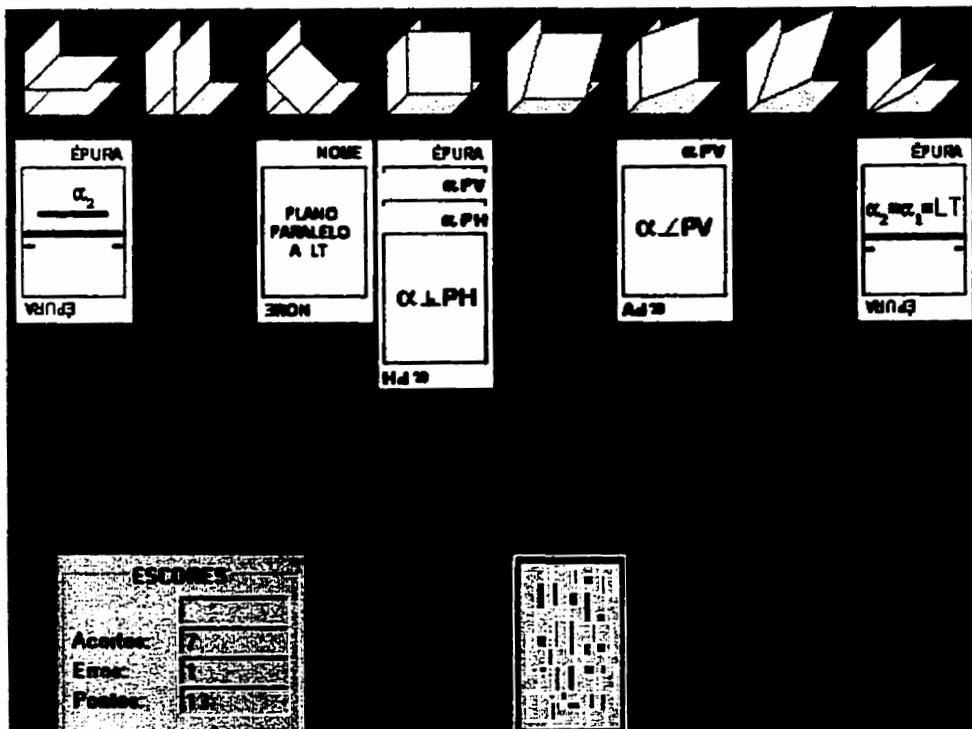


Figure 2.55. Interface do jogo com um score parcial.

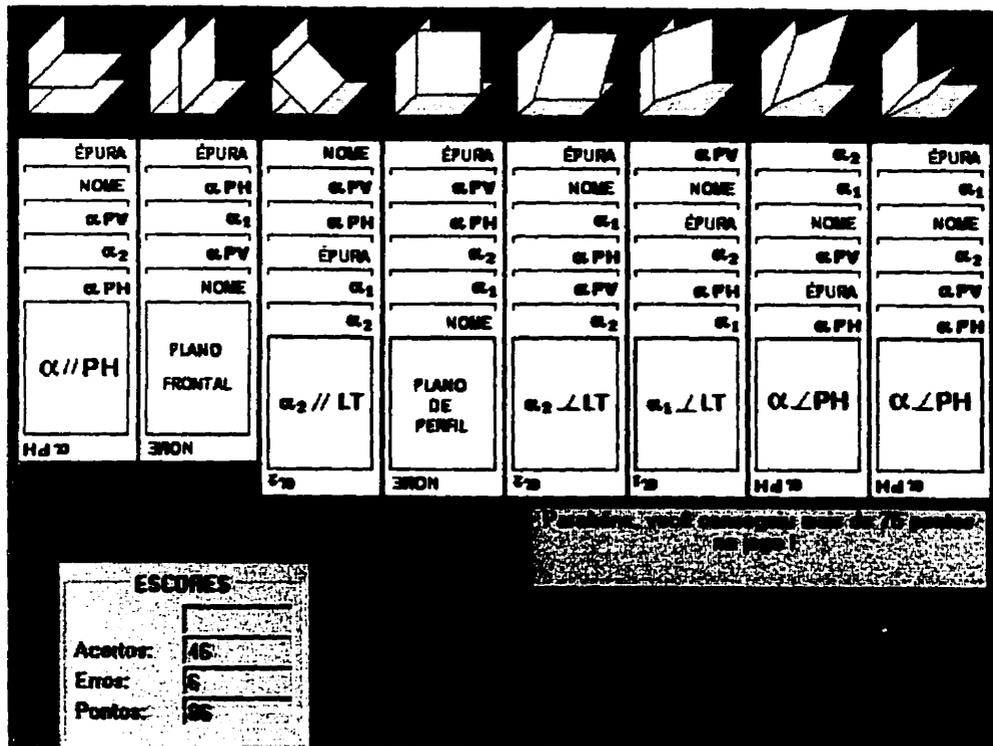


Figure 2.56. L'interface finale du jeu.

CHAPITRE III

3. Évaluation

Le système d'apprentissage GDVisu@l a été évalué de plusieurs façons. Au fur et à mesure que les activités et les exercices ont été développés, ceux-ci étaient placés dans un site provisoire dans le réseau Internet dans la ville de Le Mans en France et ils étaient testés, via Internet, dans la province de Québec au Canada. Par ailleurs, une évaluation formelle et complexe a été prévue dans la méthodologie de production du système, laquelle respectait les étapes d'une recherche de développement (Van der Maren, 1995). Dans ce chapitre, nous allons présenter ce que nous avons réalisé afin d'évaluer le système GDVisu@l.

3.1. La mise à l'essai

La mise à l'essai a été faite avec quatre jeunes lusophones habitant au Québec. L'âge des jeunes varie entre 16 et 23 ans. Le plus jeune était en secondaire 5. Les trois autres étaient au CEGEP. Aucun d'eux n'avait étudié la géométrie descriptive auparavant. Dans un premier temps, les quatre jeunes ont utilisé le système. Ensuite, nous leur avons fait passer une entrevue semi-structurée.

Malgré quelques problèmes liés aux activités et aux exercices placés sur Internet tels que des petits bogues, des problèmes de vitesse de chargement des images, l'avis des jeunes quant à la qualité du système a été positif. Ils ont utilisé les mots « intéressant », « différent », « agréable », « interactif », « créatif » et « divertissant » pour qualifier le système. Ils ont aimé faire bouger les images 3D, les animations, l'aspect visuel et ils ont trouvé la navigation facile. Nous pouvons retenir ici deux commentaires de ces jeunes : « J'ai pris contact avec un champ nouveau pour moi, la géométrie descriptive, d'une façon agréable et décontractée »; « Je n'ai jamais étudié par ordinateur et si je prends ce système comme exemple, il me semble qu'il est intéressant et facile ».

3.2. L'évaluation

Le but de l'évaluation du système n'est pas une recherche expérimentale par laquelle on veut tenter de démontrer, à partir de statistiques et de données provenant d'un pré-test et d'un post-test complexe, que le système fonctionne de façon adéquate. Il s'agit plutôt d'une expérience se situant davantage dans la mise au point de ce système. C'est d'ailleurs pourquoi il y a vérification auprès d'experts en la matière. De plus, nous avons travaillé avec un nombre réduit d'élèves et d'étudiants; ces derniers participaient à la recherche de façon volontaire. Le nombre de personnes était réduit, car nous voulions échanger avec elles sur ce qu'elles estimaient avoir retiré de l'utilisation du système dans le but de cerner les forces et les limites du système ceci permettant d'identifier les améliorations requises. Le fait qu'il s'agisse de volontaires n'introduit pas de biais dans l'expérimentation dans la mesure où il n'est pas question d'apporter la preuve formelle à tous les étudiants, mais bien de voir ce que le système peut apporter à ceux qui désirent l'utiliser. Le caractère hétérogène de la « clientèle » constitue un atout puisqu'il permet de voir les réactions des personnes qui ont des attentes et des besoins particuliers.

L'évaluation a été faite par des experts en technologie éducative par des experts en géométrie descriptive ainsi que par des étudiants provenant des deux universités, d'une faculté privée et d'élèves du secondaire. À la suite de la description de ces groupes de travail, nous présenterons la méthodologie utilisée avec chacun d'eux .

3.2.1. Les experts en technologie éducative

Le système a été évalué par deux technologues en éducation et par un étudiant en dessin industriel ayant beaucoup d'expérience dans la programmation visuelle. Ce dernier a joué le rôle de technologue dans ce domaine. Il faut dire que les technologues ont dû suivre la même démarche que celle que les étudiants ont suivie, car afin de passer à travers tous les exercices ils ont dû suivre la séquence imposée par le système. Dans le cas des deux technologues francophones, il a fallu que les textes leur soient traduits oralement tout au long de l'utilisation du système, le portugais était la langue utilisée pour développer le système.

Après avoir parcouru le système en entier, les experts en technologie ont passé une entrevue semi-structurée dans laquelle les aspects suivants du système ont été évalués : l'interactivité; la convivialité de son utilisation, la facilité à naviguer; la lisibilité des textes; la qualité graphique des interfaces; des images et des animations ainsi que l'utilisation des couleurs. Les experts ont fait des commentaires et ont proposé certains changements pouvant être faits dans le but d'améliorer le système en question.

3.2.2. Les experts en géométrie descriptive

Le système a été évalué par trois experts en géométrie descriptive, Deux d'entre eux provenaient de l'Universidade Federal de Juiz de Fora, au Brésil et l'autre était de l'Université de Montréal, au Canada. Les deux experts du Brésil ont suivi le même cheminement que celui des étudiants et des experts en technologie éducative. Par contre, l'expert de Montréal, en tant que francophone, a eu un aperçu global du système à travers une série d'exemples faisant ressortir les principaux types d'activités et d'exercices, ce, grâce à la traduction simultanée du texte des activités et des exercices.

Après avoir interagi avec le système ou bien après avoir eu un aperçu de celui-ci, les experts ont passé une entrevue semi-structurée dans laquelle les aspects suivants ont été

évalués davantage : les aspects cognitifs du système; le contenu de la géométrie descriptive traitée (quantité, séquence...); la qualité du système par rapport à l'apprentissage attendu (activité de l'étudiant, facilité de visualisation, facilité d'apprentissage, etc); le rôle de l'erreur comme un des moteurs de l'apprentissage (différence par rapport au traitement de l'erreur de l'enseignement traditionnel); l'incorporation du système dans l'enseignement régulier et notamment le moment (avant, pendant, après ou tout le temps). De plus, les experts ont parlé de l'intérêt et de la satisfaction qu'ils ont eu à utiliser le système. Ils ont fait des commentaires sur le système et ils ont fait des recommandations pour améliorer celui-ci.

3.2.3. Les étudiants

Les étudiants qui ont évalué le système ont été réunis grâce à des annonces qui avaient été préparées. Nous annoncions que nous étions à la recherche de volontaires pour tester un système multimédia portant sur la géométrie descriptive. À cause de cette forme de recrutement, nous avons eu une population très hétérogène composée d'étudiants provenant de plusieurs programmes, quelques-uns ayant déjà fait un ou deux cours de géométrie descriptive et d'autres ne connaissant pas ce champ d'études. Un groupe d'étudiants provenant de l'école secondaire a aussi participé à l'évaluation. Maintenant nous décrivons les groupes en question.

Étudiants en génie civil : un étudiant de chacune des deux universités a testé le système. Tous les deux ont suivi environ 60 heures de cours de géométrie descriptive.

Étudiants en architecture : Ces étudiants formaient le groupe le plus volumineux. Neuf étudiants étaient d'une université, trois d'une autre et un seul provenait d'une faculté privée. Les deux premiers groupes ont eu une formation semblable à celle qu'ont suivi les étudiants en génie civil, un des groupes ayant travaillé avec le système graphique AutoCad dans la discipline en question. L'étudiant de la faculté privée n'avait jamais suivi un cours de géométrie descriptive.

Même si le système a d'abord été conçu pour les étudiants en génie et en architecture, dont des représentants ont participé à la mise à l'épreuve, nous avons eu la chance de pouvoir diversifier cette clientèle et d'identifier les réactions d'étudiants provenant d'autres domaines tels les arts, le dessin industriel et les mathématiques. D'autre part, les élèves du secondaire ont aussi enrichi la mise à l'épreuve avec leurs opinions sur le système. Nous présentons ci-dessous cette clientèle.

Étudiants en art : cinq étudiants ont participé à l'évaluation du système. Ils n'avaient aucune connaissance de la géométrie descriptive. Ils avaient aussi une certaine peur due à la réputation de cette matière, souvent donnée de façon traditionnelle et dans laquelle la visualisation est fréquemment laborieuse et difficile.

Étudiants en mathématique : quatre étudiants ont participé à l'évaluation du système. Parmi eux, trois avaient déjà suivi le cours de géométrie descriptive et le quatrième était en train de le suivre. Ce dernier faisait face à beaucoup de difficultés pour arriver à comprendre les notions de base de la discipline.

Étudiants en dessin industriel : trois étudiants ont testé le système. Ils avaient, pour leur part, suivi quatre mois de cours de dessin dans lesquels ils avaient seulement étudié les solides géométriques .

Les élèves du secondaire : trois élèves ont participé de l'évaluation du système. Ils en étaient à leur seconde année (ce qui correspond au secondaire quatre dans le système québécois) dans une école où le dessin géométrique était enseigné dès la cinquième année du primaire. Il faut dire qu'au Brésil, le primaire est composé de 8 années d'étude et que le secondaire se fait en trois ans. Les participants avaient donc étudié le dessin géométrique pendant au moins quatre ans. Par contre, la géométrie descriptive n'avait pas été étudiée dans toute son ampleur.

En premier lieu, nous avons expliqué aux étudiants les motifs et la nature de notre recherche. Cette dernière était d'élaborer, à l'aide de la construction d'un outil, une méthode permettant d'améliorer l'enseignement de la géométrie descriptive.

En deuxième lieu, les étudiants ont fait un prétest portant sur la géométrie descriptive. Ce test peut être consulté à l'annexe 3.

En troisième lieu, ils ont travaillé avec le système pendant environ 4 heures. Dans une des universités, beaucoup de problèmes avec les ordinateurs sont survenus. Les étudiants ont donc passé un peu plus de temps à travailler pour pouvoir compléter toutes les activités et tous les exercices.

Lorsque les étudiants ont terminé leur travail avec le système, ceux-ci ont fait le post-test qui se trouvait à être le pré-test, dont les questions avaient été organisées autrement.

À la suite du post-test, chaque étudiant a passé une entrevue semi-structurée, dans laquelle les aspects suivants ont été abordés : une opinion générale du système; une appréciation du système, les éléments à corriger; les explications écrites; la présentation graphique, le contenu, le traitement des erreurs, la navigation, la possibilité de demander l'aide d'un professeur en ligne; le type d'activités préférées (manipulation directe, indirecte ou sans manipulation); les activités les plus motivantes, les activités les moins motivantes; le moment propice à l'utilisation du système dans un cours régulier de géométrie descriptive (avant, pendant ou après, ou individuellement). Les étudiants ayant déjà étudié la géométrie descriptive ont comparé, en terme de facilité d'apprentissage, l'enseignement traditionnel à celui qui était proposé par le système. Ils ont été invités à résumer ce qu'ils pensaient du système. Nous leur demandions par exemple comment ils en auraient parlé à un ami. Ils ont même donné une note sur une échelle de 1 à 5 afin de quantifier leur degré de satisfaction, leur intérêt et leur motivation à utiliser le système. Finalement nous les avons sollicités à nous donner des suggestions pour améliorer le système.

C'est ainsi que nous avons recueilli nos données nous permettant d'évaluer le système GDVisu@l. À la fin de cette cueillette des données, nous avons entre les mains les notes provenant du pré-test et du post-test lesquelles nous ont permis de faire une analyse quantitative fournissant quelques indications sur l'apport du système. De fait, nous parlons d'indications puisque tel que mentionné précédemment, le nombre d'étudiants ayant participé à la recherche est insuffisant pour assurer des résultats généralisables. Il n'y a pas eu non plus de recours à un groupe témoin qui aurait permis d'isoler la variable « usage de notre système » comme cause du progrès. Il faut noter que même si, à prime abord, nous avons voulu voir si les étudiants impliqués dans la recherche bénéficiaient d'un certain apport provenant du système, l'essentiel était ailleurs. Celui-ci se trouvait dans le regard que ces mêmes étudiants pouvaient jeter sur notre production, c'est-à-dire toutes leurs réactions face à ce nouvel outil et toutes les informations qu'ils pouvaient nous léguer en lien avec les divers aspects que l'on retrouvait dans les entrevues et qui seront traitées qualitativement à la section 3.4 de ce chapitre.

3.3. L'analyse quantitative

Comme nous l'avons déjà dit, le système a été conçu pour les étudiants en génie et en architecture. Les aléas de la mise à l'épreuve nous ont cependant amenée à travailler avec un groupe très hétérogène d'étudiants, certains ayant déjà étudié la géométrie descriptive, alors que d'autres n'en avaient pas eu l'occasion. Ceci nous permet de préciser quelque peu nos questions de recherche, en particulier les questions 3 et 4, en ajoutant les sous-questions suivantes :

- Est-ce que le Système GDVisu@l permet un apprentissage de la géométrie descriptive?
- Existe-t-il un lien (nous le nommerons ici *interaction*) entre le fait d'avoir déjà suivi un cours de géométrie descriptive et le degré d'apprentissage de la géométrie descriptive résultant de l'utilisation du système? (En d'autres mots, est-ce que le fait d'avoir suivi un cours de géométrie descriptive a un effet sur l'apprentissage de cette matière à l'aide du système?)

3.3.1. Les données

Les données qui ont été utilisées pour effectuer les analyses statistiques en regard des questions de recherche sont les suivantes :

La variable géométrie descriptive (gd). À savoir si les sujets ont déjà suivi un cours de géométrie descriptive avant l'utilisation du système. Les valeurs de « non » sont égales à 0 et les valeurs de « oui » sont égales à 1.

La variable prétest (pré). Un test de géométrie de 7 items a été administré aux sujets avant l'utilisation du système. Le total du test est sur 20.

La variable post-test (pos) où le même test de 7 items a été administré aux sujets mais après l'utilisation du système.

Cet échantillon était composé de 34 sujets dont 30 étudiants qui provenaient de divers programmes universitaires (génie, mathématiques, architecture, arts, dessin industriel) et du secondaire. À ce nombre, il faut ajouter 4 professeurs de géométrie descriptive qui ont passé les tests aussi. En tenant compte des questions de recherche, le tableau 3.1 montre comment les données se présentent :

	sujets	Pré test	Post test
Gd/oui	1	19,00	20,00
	2	17,00	20,00
	3	19,00	19,00
	4	19,00	20,00
	5	16,00	18,00
	6	11,00	14,00
	7	19,00	16,00
	8	15,00	20,00
	9	14,00	20,00
	10	15,00	16,00
	11	15,00	19,00
	12	14,00	20,00
	13	18,00	20,00
	14	17,00	20,00
	15	8,00	18,00
	16	7,00	8,00
	17	16,00	18,00
	18	15,00	20,00
	19	15,00	15,00
	20	7,00	17,00
	21	14,00	19,00
	22	12,00	15,00
		N=22 Moy.=14,64 E-t=3,69	N=22 Moy.=17,82 E-t=2,94
Gd/non	23	5,00	16,00
	24	5,00	17,00
	25	7,00	9,00
	26	7,14	17,14
	27	3,00	13,00
	28	9,00	18,00
	29	12,50	17,50
	30	3,00	16,00
	31	10,00	18,00
	32	9,00	20,00
	33	14,00	14,00
	34	14,00	15,00
		N=11 Moy.=8,22 E-t=3,90	N=11 Moy.=15,89 E-t=2,88

Tableau 3.1. Notes de prétest et post-test

3.3.2. Analyse de données

Maintenant, voyons le choix des tests statistiques les plus appropriés considérant les questions de recherche et les données disponibles.

Dans un premier temps, une analyse de variance avec mesures répétées a été réalisée; plus précisément, il s'agit d'une ANOVA à mesures répétées avec une dimension qui sépare les sujets en deux groupes (la variable « gd »). Ce type d'analyse est utilisé lorsqu'un même instrument de mesure est administré plus d'une fois aux mêmes sujets (donc que les mesures sont dépendantes entre elles). Ajoutons également que dans cette analyse, les sujets sont considérés comme un facteur.

Cependant, comme dans toute analyse, il y a des postulats à respecter. Si les postulats ne sont pas respectés, ils peuvent mener à des conclusions et des interprétations erronées. Dans le cas de notre travail, sans entrer dans les détails, les postulats de normalité, de sphéricité et d'indépendance entre les scores ont été respectés.

Les hypothèses statistiques sont les suivantes :

Effet simple $H_0 : \Sigma\alpha^2 = 0$ (la somme des effets du traitement est égale à 0)

$H_1 : \Sigma\alpha^2 \neq 0$ (la somme des effets du traitement est différente de 0)

Interaction $H_0 : \Sigma\alpha\beta^2 = 0$ (la somme des effets du traitement en tenant compte de la variable « gd » est égale à 0)

$H_1 : \Sigma\alpha\beta^2 \neq 0$ (la somme des effets du traitement en tenant compte de la variable « gd » est différente de 0)

Les résultats de l'analyse menée sur SPSS 8.0 sont présentées dans le tableau 3.2.

	Effect	Value	F	Hypotheses df	Error df	Sig.	Eta Squared
TEST	Pillai's Trace	,682	68,654 ^a	1,000	32,000	,000	,682
	Wilks' Lambda	,318	68,654 ^a	1,000	32,000	,000	,682
	Hotelling's Trace	2,145	68,654 ^a	1,000	32,000	,000	,682
	Roy's Largest Root	2,145	68,654 ^a	1,000	32,000	,000	,682
TEST * GD	Pillai's Trace	,268	11,733 ^a	1,000	32,000	,002	,268
	Wilks' Lambda	,732	11,733 ^a	1,000	32,000	,002	,268
	Hotelling's Trace	,367	11,733 ^a	1,000	32,000	,002	,268
	Roy's Largest Root	,367	11,733 ^a	1,000	32,000	,002	,268

a. Exact statistic

b. Design : Intercept+GD

Within Subjects Design : TEST

Tableau 3.2. Multivariate Tests^b

En premier lieu, il s'agit de regarder l'interaction « TEST*GD ». Au seuil de signification de 0,05, l'interaction entre le fait d'avoir déjà suivi un cours de géométrie descriptive et le degré d'apprentissage de la géométrie descriptive résultant de l'utilisation du système est significative avec une valeur de $p = 0,002$. Ensuite, il y a l'effet simple « TEST » qui est lui aussi significatif à 0,05.

3.3.3. Interprétation des résultats des tests

Pour commencer, disons que la taille de l'échantillon est extrêmement réduite, et par conséquent, le niveau d'inférence de nos résultats statistiques se limite seulement au groupe concerné. À lumière des résultats obtenus au niveau de l'interaction « test*gd », nous pouvons dire qu'il y a une différence significative entre le pré-test et le post-test en géométrie descriptive, mais que cette différence varie selon le fait que les sujets aient suivi ou non un cours dans ce domaine. En ce qui a trait à l'effet simple, nous sommes en mesure de dire qu'il y a une différence significative entre le pré-test et le post-test. Le graphique présenté dans la figure 3.1. illustre les résultats obtenus :

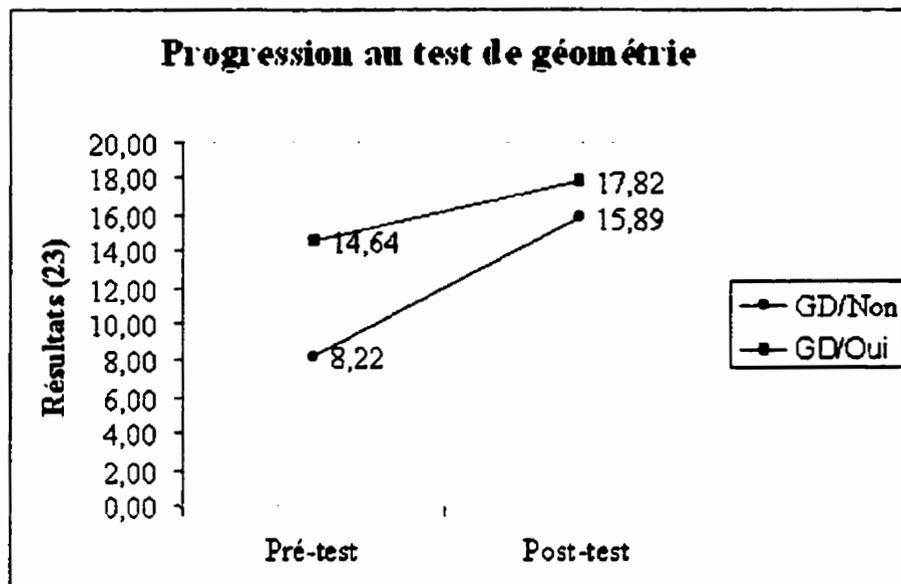


Figure 3.1. Résultats obtenus.

Nous faisons une mise en garde quant à l'interprétation de ces résultats. Une des questions de cette recherche concerne l'efficacité du système d'apprentissage. Étant donné l'absence de groupe témoin, il est difficile de conclure, hors de tout doute, que l'apprentissage soit réellement dû à l'utilisation du système. Le constat que nous avons pu faire est qu'ils ont fait des progrès en géométrie descriptive c'est pourquoi, tout au long de ce travail, nous parlons d'indications sur la valeur de ce système.

Bien sûr, à l'aide du graphique, on voit bien la progression significative des deux groupes entre le prétest et le post-test. Mais le doute qui subsiste est le suivant : dans quelle proportion l'apprentissage de la géométrie descriptive est-elle attribuable au système et non pas à la nature même des groupes (« gd ») ou de toutes autres causes? D'ailleurs sur le graphique, nous remarquons aussi que le différentiel est beaucoup plus grand entre les utilisateurs du système qui n'ont jamais eu de cours de géométrie descriptive et ceux qui en ont suivi.

3.3.4. Conclusion de l'analyse quantitative

Compte tenu des limites du devis dans lequel s'inscrit le « testing », c'est-à-dire un échantillon de petite taille, l'absence de groupe témoin et la possibilité d'un effet de pratique lors du post-test, il faut donc procéder à une interprétation prudente des résultats obtenus. En ce qui a trait à la question de cette recherche portant sur l'efficacité du système, nous pouvons dire qu'il y a une différence entre le pré-test et le post-test. Pour ce qui est de la sous-question, nous pouvons dire que la différence entre le pré-test et le post-test varie en fonction du fait que les sujets ont déjà suivi ou non un cours de géométrie descriptive. Ceux qui n'avaient jamais suivi de cours dans ce domaine, ayant moins de connaissances, pouvaient donc faire davantage de progrès à l'aide de l'outil qui leur était présenté. Nous avons noté la présence d'un progrès visible du côté des deux types de sujets étudiés (ceux qui ont suivi un cours et ceux qui n'en ont pas suivi). Quant à savoir maintenant quelle part d'apprentissage de la géométrie descriptive est réellement attribuable à l'utilisation du système, l'analyse statistique ne permet pas de se prononcer avec certitude sur ce fait étant donné les limites énumérées précédemment.

3.3.5. Commentaires sur des aspects particuliers à chaque groupe

Nous nous en sommes tenues à la réalisation d'analyses statistiques par sous-groupes d'étudiants (génie, architecture, etc...) dont nous ne reproduirons pas ici les données, les échantillons étant trop petits pour que nous puissions obtenir des résultats suffisamment significatifs pour être pertinents. Retenons simplement comme indication que les progrès les plus marqués (il y en a eu dans tous les sous-groupes) apparaissent dans les sous-groupes constitués par les étudiants étant moins formés en géométrie descriptive

Un détail accidentel mérite notre attention : un des élèves du secondaire a eu des problèmes avec son ordinateur. Ce pépin l'a forcé à partager un ordinateur avec un autre élève et a eu comme effet de le rendre moins actif personnellement dans son apprentissage. Or, il s'est avéré qu'il a eu un fort mauvais score au post-test... Bien sûr, il serait prématuré et abusif de notre part de tirer une conclusion à partir d'un phénomène plus qu'isolé, mais retenons

que l'observation va tout à fait dans le sens de nos attentes sur l'importance de l'activité de l'élève dans son apprentissage.

3.4. Analyse qualitative

L'analyse qualitative a été faite à partir des entrevues semi-structurées conformes au questionnaire de l'annexe 3. Nous avons utilisé le logiciel NUDIST pour faire l'analyse selon l'approche présentée par Paillé (1994). La procédure est décrite ci-dessous .

3.4.1. La méthode utilisée

Une fois transcrites, les entrevues ont été placées dans les fichiers *rawfiles* du système, en format texte et sans aucune ligne vide. La première tâche à réaliser a été de segmenter chacune des entrevues en unités de sens en les codant à l'aide d'un nom significatif. Pour ce faire, en lisant chaque phrase et en parcourant chaque paragraphe, nous nous demandions : qu'est ce que nous avons ici? Qu'est-ce que c'est ça? De quoi parle-t-on ici?

À partir de cette analyse minutieuse nous avons obtenu près de soixante-dix codes différents tels que *perception du système, contenu, image mentale, etc.* Nous avons ensuite regroupé ces codes dans diverses catégories. D'abord, ces catégories ont été définies. Ensuite, les propriétés de chaque catégorie ont été mises en évidence. Aussi, les conditions sociales d'existence des catégories ont été spécifiées. Finalement la forme sous laquelle les catégories apparaissent a été identifiée (l'intensité des sentiments, la nature des sentiments). Dans le système NUDIST, les catégories ont été rassemblées sur une branche d'un arbre schématique portant le nom de « verbatim », (voir figure 3.2). Dans le même arbre, nous retrouvons les caractéristiques de la population cible et les traitements qui sont les croisements avec les catégories et les caractéristiques.

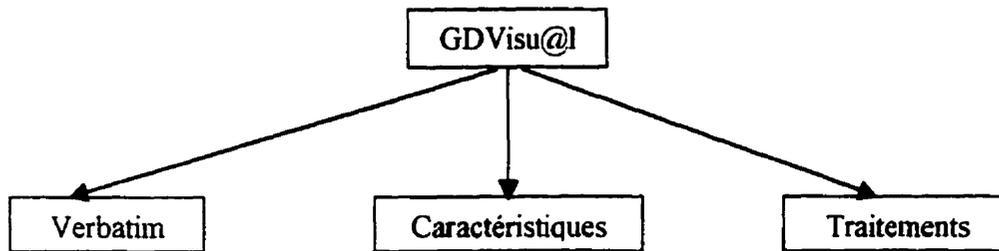


Figure 3.2. Schéma des éléments pour faire l'analyse qualitative.

Les verbatims - Les verbatims correspondent au fichier composé par les catégories. Chaque catégorie réunit une certaine quantité de codes ou d'unités de sens. Voici maintenant un relevé des catégories identifiées de même que les unités de sens qu'elles incluent :

- **SYSTÈME** : Perception du système, facilité d'apprentissage, différences individuelles, visualisation, facilité de visualisation, construction d'apprentissage, structure séquentielle, contenu du système, sens ludique, adjectifs utilisés pour se rapporter au système, utilisation du mouvement, apprendre avec l'erreur, ton intime, innovation.
- **CONTENU** : Solides, plans 3D, animations, rabattements, vidéo, vues, jeu.
- **ENSEIGNEMENT DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE** : Enseignement antérieur, attentes des professeurs, faiblesse dans l'enseignement de la géométrie descriptive, géométrie et mathématique, trauma, image mentale, visualisation et représentation, voir par rapport à imaginer, utilité de la géométrie descriptive.
- **CONSIDÉRATIONS** : Ce que les utilisateurs pensent du système, commentaires, suggestions, ce dont ils ont parlé avec leurs amis, recommandations.
- **PROBLÈMES** : Nomenclature, équipements, texte écrit, jeu, suggestions.
- **CONTRÔLE ET NAVIGATION** : Barre de contrôle, vitesse, carte de navigation, « petite feuille », bouton « suivant ».
- **ENCADREMENT** : Intervention, intervention « oui », intervention « non », professeur.
- **COMMENT ET QUAND UTILISER LE SYSTÈME** : Utiliser le système seul, utiliser le système avant le cours, utiliser le système pendant le cours, intercaler l'utilisation du

système entre les cours, utiliser le système pendant toute la durée du cycle (semestre), utiliser le système après le cours, besoins de l'accompagnement d'un professeur.

- **ACTIVITÉS** : Manipulation directe, manipulation indirecte, sans manipulation.
- **ATTITUDES** : Ce qu'ils ont le plus aimé, ce qu'ils ont le moins aimé, ce qui est le plus motivant et le moins motivants.
- **SENTIMENTS** : Intérêt, motivation, satisfaction.
- **MULTIMÉDIA** : Interactivité, apprentissage rapide, sauver du temps, efficacité, convivialité, récompenses, présentation visuelle, As-tu appris?

Les caractéristiques : Les caractéristiques de la population cible que nous avons considérées pour faire les croisements d'informations sont les suivantes :

- **INSTITUTION** : Université de Londrina, Université de Juiz de Fora, Cesulon (université privée), secondaire
- VILLES** : Londrina et Juiz de Fora.
- **COURS** : Architecture, génie civil, mathématique, arts, dessin industriel, cours secondaire normal.
- **LE PARTICIPANT A ÉTUDIÉ LA GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE** : Oui, Non.
- **PROFESSEURS** : 1, 2 et 3 (trois professeurs ont évalué le système comme experts en géométrie descriptive).
- **TECNOLOGUES EN TECNOLOGIE DE L'ÉDUCATION** : 1, 2 et 3 (trois experts en technologie éducative ont évalué le système).
- **COURS INCLUANT UNE FORMATION EN GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE** : architecture, génie civil, mathématique.
- **COURS N'INCLUANT PAS DE FORMATION EN GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE** : architecture, arts, dessin industriel, cours de niveau secondaire.

Les traitements : Les traitements représentent les croisements entre les caractéristiques et les catégories selon une matrice ou bien avec une unité de sens selon un vecteur. Le tableau 3.3 montre les matrices faites à partir des données obtenues lors des entrevues. Les matrices ont été faites en fonction de ce que nous voulions savoir sur chaque groupe afin de

pouvoir répondre à nos questions de recherche. Le seul vecteur qui a été fait est celui entre les « équipements » et les « villes ».

Catégorie ou Unité de sens	Caractéristiques			
	GD oui	GD non	Profs	Technologues
Perception du système	X	X	X	
Activités	X	X	X	
Enseignement de la géométrie descriptive	X	X	X	
Multimédia	X	X	X	X
Utilisation	X	X	X	
Interactivité	X	X	X	X
Attitudes	X	X		
Encadrement	X	X	X	
Problèmes	X	X	X	X
Considérations	X	X	X	X
Sentiments	X	X	X	X

Tableau 3.3. Matrices

Les croisements ont été faits à partir des entrevues qui ont été placées, dans leur langue d'origine (langue de réalisation, le portugais), dans NUDIST. Le système fournit un tableau et un rapport de chaque croisement. Quelques exemples sont présentés dans l'annexe 4. Les chiffres que nous retrouvons dans les tableaux indiquent quels sont les groupes qui ont parlé des sujets appartenant à chaque unité de sens ou à chaque code (le zéro signifie que le groupe n'a pas parlé d'un sujet donné, tandis que le 1 signifie qu'il en a parlé). Dans les rapports, nous pouvons observer ce que les membres de chaque groupe ont parlé de chaque unité de sens.

À partir de ces croisements, nous avons construit des tableaux afin de rassembler les idées qu'ont les membres d'un même groupe sur un même sujet. Ces tableaux que nous

retrouvons dans l'annexe 4 contiennent les commentaires des membres, traduits au français. C'est à partir de ces tableaux que nous avons fait l'analyse qui suit.

3.4.2. Analyse des entrevues des différents groupes

Toute l'analyse qui suit sera faite en suivant le schéma de la Figure 3.3, placé à la page 147. Ainsi, chacun des thèmes de ce schéma sera présenté en utilisant ce que les participants ont mentionné dans les entrevues.

3.4.2.1. Enseignement de la Géométrie en général – les problèmes et les implications

En nous basant sur le contexte des expériences antérieures des étudiants, il est utile d'analyser comment chacun des groupes (un groupe étant composé d'utilisateurs du système, qui ont déjà étudié la géométrie descriptive et un autre groupe dont les utilisateurs n'ont pas suivi une telle formation ou bien l'ont suivi de façon incomplète) a réagi aux nombreux sujets dont il est question dans l'entrevue. Il peut être intéressant aussi d'analyser ce qui est proposé spontanément par les participants tout au long de l'entrevue. De plus, nous considérerons aussi ce qu'ont dit les experts en géométrie descriptive à propos de ce sujet.

En analysant les propos des experts, nous pouvons avancer que ceux-ci viennent confirmer ce qui a été dit à propos de la problématique régnant dans l'enseignement de la géométrie descriptive un peu partout dans le monde. Un des experts en géométrie descriptive a dit :

« Au Canada, au Québec et aux États-Unis, la situation de la géométrie descriptive est semblable. C'est une discipline qui, jusqu'à récemment, était très peu respectée. Le système américain a omis d'introduire dans son programme d'enseignement la géométrie descriptive, ce qui explique pourquoi dans la majorité des écoles d'architecture contemporaine, nous ne retrouvons pas de géométrie descriptive dans les programmes. La situation est semblable au Canada. Tout récemment, avec la venue de l'informatique graphique, on réalise que la géométrie constitue un outil important. L'enseignement de la géométrie descriptive est en crise depuis de nombreuses années ».

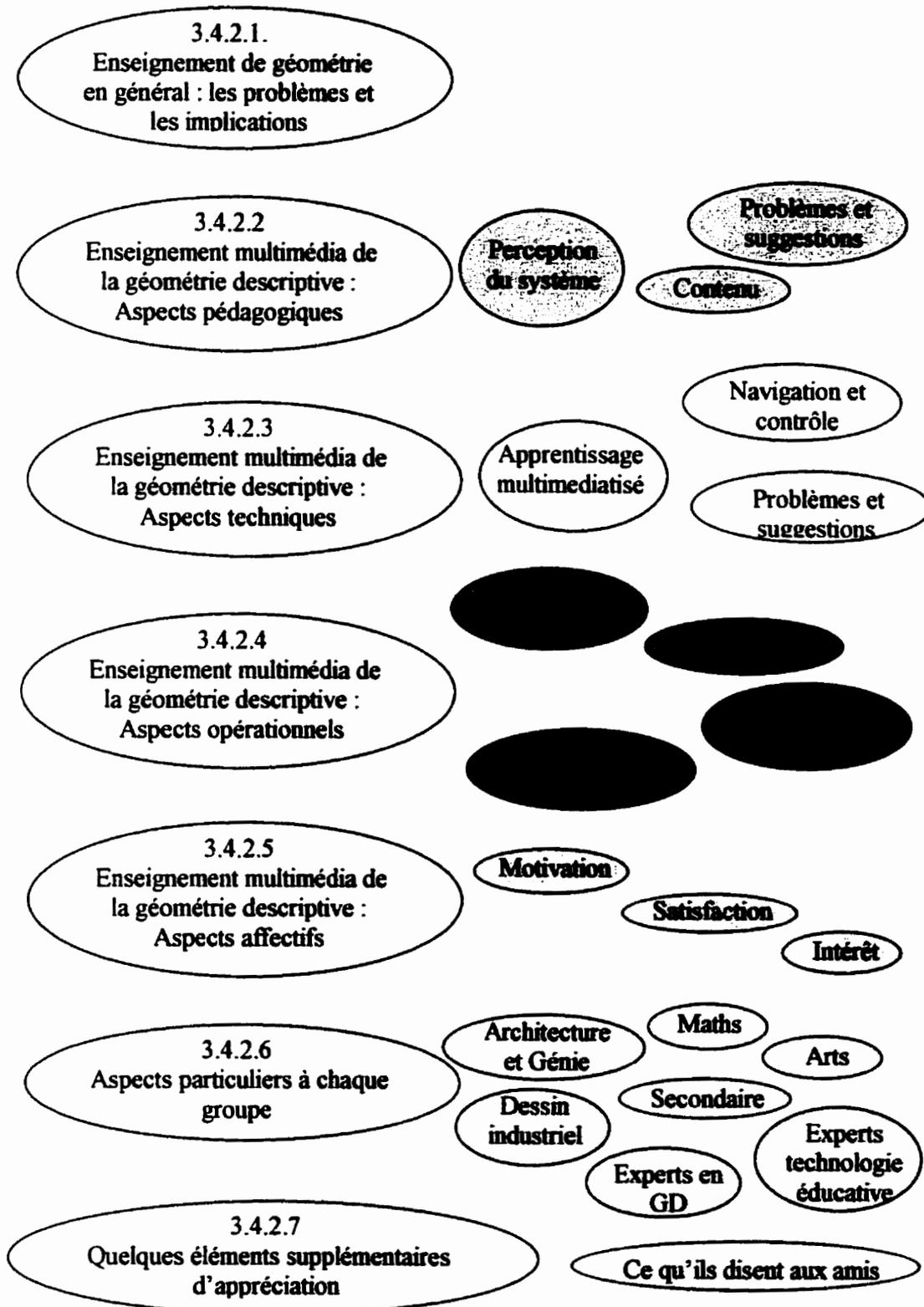


Figure 3.3. Schéma d'analyse qualitative

Il ajoute qu'au Québec, dans le cours collégial (CEGEP), entre le secondaire et l'université, la géométrie descriptive n'est pas enseignée comme une discipline à proprement parler, mais plutôt comme un cours de dessin technique. « À l'université et à la Polytechnique, elle est enseignée, évidemment, mais dans les écoles d'architecture, les étudiants n'ont que des cours comme le dessin, des cours en communication ou bien des cours de 3D (3 dimensions). La géométrie descriptive est un peu ignorée » dit cet expert en géométrie descriptive. Après sa longue expérience de plus de 30 ans de travail en géométrie descriptive, en dessin et communication et en dessin structural avec les étudiants d'architecture, cet expert a raconté que « (...) souvent les étudiants disent qu'ils sont très faibles en mathématique donc ils veulent faire quelque chose comme l'architecture. Alors, les étudiants qui sont faibles en mathématique sont faibles en logique. Il n'y a pas de mathématique dans la géométrie descriptive mais on utilise la logique, donc s'il y a un problème de logique, de pensée rigoureuse, c'est évidemment le conflit ».

À l'entrevue, quand nous avons demandé aux étudiants ce qu'ils pensaient du système ou, à d'autres moments, lorsque les étudiants nous ont fait part de leur appréciation du système quant à la facilité de visualisation qu'il offre, certains d'entre eux ont expliqué qu'habituellement, ils établissent un lien entre la géométrie et la mathématique et que de ce fait ils ont une certaine aversion face à la géométrie descriptive avant même de bien la connaître. Par contre, ils disent que par rapport au GDVisu@l ce qui est frappant est justement le contraire, c'est-à-dire, la facilité de réaliser la visualisation et l'évolution progressive de la perception des volumes, ce qui rend l'étude plus intéressante et interactive. Ils considèrent donc que ce système est valable et plusieurs fois, ils ont utilisé l'expression « on embarque dedans et on ne voit pas le temps passer ». Ils remarquent aussi que GDVisu@l cherche plutôt à démontrer les relations existant entre les points, les droites et les plans qu'à fournir des valeurs numériques celles-ci leur rappelant l'univers de la mathématique auquel ils sont rébarbatifs. Quelqu'un est allé jusqu'à dire que « le GDVisu@l est un système qui nous fait perdre la peur de la géométrie ».

Selon les étudiants, les traumatismes (ou traumatismes) reliés à la géométrie commencent quand ils débutent l'apprentissage de la géométrie spatiale et ils expliquent : « Quand on peut

visualiser comme on a fait avec le système, on constate que les choses sont simples. Normalement on mêle tout, on complique beaucoup et soudain un système comme celui-ci nous éclaire, comme il l'a fait avec le rabattement du plan, avec l'épure et avec la visualisation des solides en trois dimensions ».

Par rapport à cela, un des professeurs expert en géométrie descriptive a dit : « Le système montre à l'écran, d'une façon interactive, rapide et consistante pour l'étudiant, ce qu'auparavant il devait imaginer, ce qui auparavant était aussi la raison de leur trauma ». Ils n'ont plus besoin d'imaginer les yeux fermés comme le recommande un professeur de géométrie descriptive à des universitaires qui n'ont pas eu l'occasion de développer l'habileté de visualisation spatiale lors de leur passage dans les écoles du primaire et du secondaire.

Les étudiants le confirment : « On comprend mieux en regardant qu'en imaginant » et « avec le système, c'est beaucoup plus facile, sans doute ». Cette façon différente de travailler la géométrie peut apporter des changements dans la façon d'apprendre. Un étudiant a dit « quand j'ai vu la rotation du solide à l'écran de l'ordinateur, j'ai trouvé ça incroyable... L'image qu'on voit est plane, mais si on la bouge un petit peu, on a la notion de volume et on commence à croire que notre cerveau peut faire la même chose ». C'est justement cet effet que nous voulons créer dans le processus d'apprentissage des étudiants: arriver à visualiser des images mentales anticipatrices plutôt que *reproductrices*. Cette capacité d'anticiper l'image devrait apparaître à l'âge de 7 ou 8 ans soit dans la période des opérations concrètes de Piaget et Inhelder (1966a)¹. La pensée opératoire consiste à coordonner les états et les transformations. Les états sont conçus comme étant soit le point de départ de futures transformations soit le résultat de transformations ayant déjà eu lieu.

¹ Piaget et Inhelder classent les images dans un premier temps en *reproductrices* et *anticipatrices*. Les images reproductrices évoquent des objets ou événements déjà connus et peuvent être *statiques* lorsqu'elles portent sur un objet ou une configuration immobiles; *cinétiques*, lorsqu'elles évoquent figuralemment un mouvement, un changement de position ou finalement de *transformation*, lorsqu'elles évoquent figuralemment un changement de forme. Les images anticipatrices représentent par *imagination figurale* des événements non perçus antérieurement. Elles peuvent être classées comme cinétiques et de transformation.

Les étudiants qui avaient déjà fait un cours de géométrie descriptive nous disent : «on arrive à savoir par cœur les noms des plans, les règles et les méthodes, qu'en réalité, n'ont pas besoin d'être connus de cette façon. Si on voit les choses comme elles sont dans l'espace, on commence à créer nos propres méthodes pour faire les exercices demandés. Je pense que ça c'est le plus important ». Par rapport au système, ils disent que «c'est une façon (...) comment je dirais (...) différente, une façon qui motive, qui n'est pas une routine comme on fait normalement de dessiner sur papier avec le compas, des équerres,etc». D'autres étudiants ont dit ceci :« Il y a plusieurs choses que je n'avais pas bien saisies pendant les cours de géométrie descriptive. Par contre, en utilisant le système, j'ai vite compris »; « La partie graphique et l'interactivité, nous aident beaucoup à bien saisir les notions de la géométrie descriptive ». Un étudiant a soulevé un point que l'on a d'ailleurs pu constater à travers les résultats des tests : « de cette façon, grâce aux petits jeux aux explications rapides, le système capte notre attention et c'est pour cela que l'on arrive à apprendre. Je pense que même ceux qui ne savent rien à propos de la géométrie descriptive, seraient capables, (grâce au système), d'en apprendre au moins la base ».

Les étudiants ont notamment découvert quelques utilités de la géométrie descriptive en travaillant sur le système. Une étudiante a découvert l'utilité de la géométrie descriptive pour mettre des objets en perspective. Elle nous dit ceci : « La géométrie descriptive est la base pour travailler la perspective...on a besoin de savoir un tas de choses avant de commencer à travailler avec celle-ci ». La perspective, nous le savons, est très importante par exemple pour élaborer des projets d'architecture de qualité. Un autre étudiant dit comme suit : « j'ai bien aimé découvrir une fonction spécifique de la géométrie descriptive dans le cours d'architecture que j'ai suivi. J'ai bien apprécié, par exemple, l'exercice nous demandant de compléter le toit de la maison ». Selon un autre étudiant, le système fournit aussi des connaissances pouvant servir au dessin technique.

Ayant une vision plus large, un des experts en géométrie descriptive souligne l'utilité de cette discipline dans le milieu industriel là où la notion de VG (vraie grandeur) est très utile

pour construire ou pour fabriquer des objets tels que des vêtements, des voitures ou des avions.

Afin de faire le tour de la question sur l'importance que les étudiants accordent à la géométrie descriptive, nous allons voir maintenant les commentaires que ces étudiants ont faits en rapport à la représentation graphique. « Dans la conception d'un projet, il est très important de savoir se représenter des idées graphiquement. Celui qui travaille en architecture et avec le dessin est fortement lié à la création. Si nous ne savons pas comment exprimer ce que nous imaginons, déjà, nous nous retrouvons en présence d'un problème. Si nous ne savons pas mettre sur papier nos idées, les représenter, le problème se fait encore plus grand ». Un étudiant a fait une recommandation: « je dirais qu'il est bon utiliser le système lorsque l'on éprouve de la difficulté à passer de l'imagination à l'épure et vice versa ».

Brève conclusion de cette section

D'après ce que nous avons vu jusqu'à maintenant, nous pouvons dire que les étudiants ont noté davantage que le système facilite la visualisation spatiale. Les utilisateurs du système se sont aperçus que la géométrie descriptive pouvait leur être utile dans d'autres disciplines et qu'elle pourrait même être un outil intéressant dans l'exercice de leur future profession. De toute évidence, dans une approche plus théorique de la géométrie descriptive une telle constatation ne se fait pas aussi facilement. Il est intéressant de noter que ces mêmes utilisateurs croient que ce système peut les aider à développer des connaissances allant au-delà de leurs capacités cognitives. Ils sentent qu'ils peuvent aller plus loin et qu'ils peuvent utiliser le potentiel que leur offre leur capacité de visualisation spatiale. Il semble aussi que ce système fournisse une aide toute spéciale aux étudiants en difficulté d'apprentissage en dissipant leurs doutes leur permettant ainsi de dissoudre leur trauma. Ce trauma est lié à une fausse connaissance de la géométrie n'attribuant celle-ci qu'à un champ étroit de la mathématique (valeurs numériques). L'expert en géométrie descriptive confirme ce que nous avons fait ressortir dans la problématique traitant des difficultés d'apprentissage dans le chapitre 1.

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons considérer successivement les aspects pédagogiques, techniques, opérationnels et affectifs du système. Nous nous attarderons aussi sur certains aspects ayant un lien avec les groupes d'étudiants retenus et avec les experts qui ont fait la mise à l'essai du système.

3.4.2.2. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects pédagogiques

Dans les aspects pédagogiques, nous aborderons d'abord la perception du système pour ensuite nous arrêter aux contenus de ce système; finalement nous nous pencherons sur les problèmes rencontrés et sur les suggestions apportées par les participants.

Perception du système : - Lors de la conception du système, nous avons des objectifs bien précis. Ceux-ci ont été identifiés par les étudiants et par les experts qui ont testé le système. Le principal objectif était de faciliter l'apprentissage de la géométrie descriptive en améliorant la visualisation spatiale. Ceci se faisait par le biais d'animation et de manipulation des images. Nous avons tenté d'élaborer un logiciel ludique et intéressant dans lequel l'erreur de l'étudiant pourrait être travaillée et ensuite transformée en une réussite. Dans un tel logiciel, l'étudiant se trouverait donc constamment en apprentissage. Nous allons maintenant vous faire part de ce que les étudiants et les experts ont rapporté à ce sujet dans le corpus des entrevues.

Voici ce que nous a dit un des experts en géométrie descriptive : « J'ai bien aimé la forme ludique du système qui venait présenter d'une nouvelle façon un sujet reconnu comme étant difficile non seulement au Brésil, mais partout dans le monde. La géométrie descriptive est une matière qui provoque beaucoup d'échecs chez les étudiants ne possédant pas une bonne vision spatiale ».

De façon générale, les étudiants ont mentionné que le système facilite la visualisation spatiale. Ils disent qu'«avec le système, c'est plus facile de visualiser qu'à partir d'un livre

ou de ce qui est dessiné au tableau noir ». Ils ajoutent que « le mouvement facilite la visualisation. Dans les livres, sur le tableau ou bien à travers les paroles du professeur, les concepts demeurent difficiles à saisir. À l'ordinateur, on peut mieux voir ce qui arrive à travers le mouvement des images ».

De plus, les étudiants ont observé que « Les animations nous aident à visualiser la troisième dimension, ce qui dans un dessin normal n'est pas toujours possible ». Ils nous ont mentionnés que : « Le système suggère une façon différente de voir les objets de plusieurs points de vue et angles, et ce, par le biais de la manipulation ». Les étudiants nous ont partagé comment ils se sont sentis à certains moments de l'expérimentation de l'outil : « on a la sensation d'être en mouvement et de regarder les choses à partir d'angles différents » et « la manipulation aide la visualisation », aussi « on comprend mieux en regardant qu'en imaginant », « le système m'a aidé à apercevoir, plutôt que voir ». Les étudiants ont souligné les bénéfices apportés par une certaine liberté d'exploration : « on a le texte, la théorie et à leur côté l'image est présente et on peut la manipuler, la faire bouger. On explore l'image comme on veut. Cela est primordial pour la compréhension », « ...on peut voir ce que l'exercice demande ».

Le point de vue des étudiants a été renforcé par celui d'un expert en géométrie descriptive : « Je pense que l'animation et la géométrie sont inséparables. Tous les dessins sont bidimensionnels, peu importe l'endroit où ils sont faits, c'est en deux dimensions qu'ils sont produits. Cela veut dire que la seule façon de vraiment faire « sentir » la troisième dimension à l'étudiant est en lui faisant utiliser des lunettes spéciales ou en lui permettant de jouer avec l'animation des images. L'animation avec Cabri Géomètre est la meilleure façon d'expliquer la troisième dimension ».

Dans le système, les images fixes ou passibles de manipulation ont joué un rôle très important dans la facilitation de la visualisation, dans l'amélioration de la perception visuelle et conséquemment dans la compréhension des concepts de projections et de concepts plus spécifiques de la géométrie descriptive tels que l'épure, le rabattement et

autres concepts. Le discours des étudiants et des experts déborde d'exemples confirmant le rôle facilitateur des images.

Les aspects cognitifs (ou sémiotiques) et opérationnels de l'apprentissage sont fortement liés dans le système. Ce fait est évident selon un des experts en technologie éducative :

« Je pense qu'un point fort du système, est le fait qu'il faille travailler pour apprendre. On apprend en faisant les exercices. J'ai bien aimé ça, car c'est très interactif. Le système exige beaucoup la participation de l'étudiant au niveau cognitif et non pas juste pour «pitonner». Un effort cognitif est requis. Ce que j'ai beaucoup aimé aussi est le fait qu'on fasse un apprentissage en utilisant notre perception visuelle. Le cours porte sur la perception visuelle et l'on doit faire sans cesse appel aux habiletés que l'on acquiert tout au long de la formation dans le domaine de la perception si l'on désire réellement progresser dans le cours. C'est très bien . »

Nous avons essayé de donner au système un ton ludique grâce auquel l'étudiant ferait toujours face à un certain défi. «Les étudiants emploient même le mot « jouer » lorsqu'ils parlent du système» a dit un des experts en géométrie descriptive qui observait les étudiants travailler avec le système.

En plus du ton général qui est ludique, nous avons introduit dans le système un jeu de « patience » dont les cartes représentent les caractéristiques du plan. Ce jeu fonctionne comme une fixation du contenu « plans » qui constitue un concept de base de la géométrie descriptive. Celui-ci a été un sujet controversé. La plupart des étudiants ont beaucoup aimé le jeu. Ils rapportent ceci : « ce que j'ai plus aimé a été le jeu de patience, car on s'amuse et on apprend en jouant», « j'ai trouvé dans le jeu, l'activité la plus motivante (du système) ». Par contre, le jeu, à cause d'un certain manque d'information sur les règles ou les options alternatives, a provoqué le mécontentement chez certains aussi. Dû à sa longueur, le jeu a été l'activité qu'un étudiant a le moins aimé. Celui-ci nous a suggéré qu' : « il devrait y avoir un bouton pour sortir quand on est fatigué ». Les suggestions données par les

étudiants pour améliorer le jeu seront présentées dans une section ultérieure du présent chapitre.

Les étudiants sont unanimes lorsque vient le temps d'affirmer que le système facilite l'apprentissage de la géométrie descriptive aussi bien que celui de la perspective et du dessin artistique. Ils disent que la façon de présenter les activités, soit l'interactivité, éveille la curiosité et stimule l'apprentissage, celui-ci étant aussi facilité par la visualisation. Un étudiant de dessin industriel qui n'avait jamais étudié la géométrie descriptive a affirmé ceci : «oui, le système facilite l'apprentissage et je me prends comme exemple, car j'ai appris beaucoup de choses ».

Un des experts en géométrie descriptive renforce l'idée des étudiants: « oui, le système facilite l'apprentissage dans la mesure où il sert de support à l'apprenant. Même si l'étudiant travaille selon la méthodologie traditionnelle en commençant à explorer le point et en allant vers le plan², dès le moment où il utilisera la méthodologie offerte par le système, le casse-tête aura du sens. Le système peut accompagner une démarche d'apprentissage suivant la méthodologie traditionnelle». Un des experts en technologie éducative a énoncé ce qui suit : « Pour moi, c'est un cours qui n'est pas exigeant en terme de travail, mais d'efforts cognitifs. Ça veut dire que je n'ai pas le choix : j'ai un problème à résoudre et je ne peux pas le résoudre sans utiliser ma perception visuelle ».

Le fait de pouvoir dissiper les doutes au fur et à mesure qu'ils apparaissent en ayant un feed-back instantané sur ses erreurs contribue à faciliter l'apprentissage. Un étudiant a exprimé cette idée : «j'ai trouvé cela très intéressant parce que lorsque l'on fait l'exercice correctement, on le sait tout de suite (car le bouton «suivant » apparaît). Quand on fait une erreur, il y a une explication ».

² La plupart de la documentation traditionnelle relative à la géométrie descriptive va dans ce sens, tandis que le système commence du plan vers le point, soit du général vers le particulier.

Dans notre analyse de la cause des erreurs, nous avons fait ressortir les suivantes : le manque d'attention, le fait d'avoir hâte de terminer un exercice ou bien la méconnaissance de la réponse. Les étudiants nous ont confié ce qui suit : «parfois j'essayais de finir vite un exercice et je faisais des erreurs; le système me rappelait de faire attention aux points importants du problème...»; « je faisais beaucoup d'erreurs, mais je ne passais pas à l'exercice suivant, jusqu'au moment où j'ai compris que je devais lire avec beaucoup d'attention pour savoir quoi faire »; « si on fait une erreur, on n'avance pas; on se demande: pourquoi j'ai fait une erreur ? On est obligé de chercher l'erreur pour corriger l'exercice ». Dans ces exemples, on observe, une fois de plus, des métaconnaissances qui sont mises en action. À force de réaliser qu'il faille réussir chacun des exercices pour pouvoir continuer, l'étudiant s'habitue à faire attention à ces exercices.

Aussi, les étudiants ont souligné qu'en plus de la présence d'images et de la possibilité de faire de l'animation à partir de celles-ci, la présence d'explications rapides et de messages tel que «faire attention à ce point », les ont beaucoup aidés. C'est-à-dire que lorsqu'ils ne pouvaient plus avancer dans les exercices à cause d'une erreur, ils ne restaient pas «dans l'air » à ne rien pouvoir faire. Il est intéressant d'ajouter d'autres commentaires en relation avec ce sujet : « le feed-back est important pour qu'on ne stresse pas avec l'erreur »; « on peut manipuler l'erreur à notre faveur et on peut, grâce à l'apprentissage, la transformer en un succès»; « c'est exceptionnel, j'ai appris de mes erreurs »; « c'est une façon intéressante d'apprendre ».

Un des experts en technologie éducative, qui devait suivre le même cheminement que celui des étudiants, était attentif aux renforcements positifs (en forme de lumière verte) et aux interventions du système lorsqu'il faisait les exercices. Il a commenté : « je m'arrêtais pour voir s'il y avait un petit point rouge ou quelque chose du genre ou des images supplémentaires. Je pense que le feed-back doit être immédiat pour être efficace ».

Un des experts en géométrie descriptive a dit que :

« L'erreur dans la méthodologie traditionnelle (non seulement dans la géométrie descriptive) est généralement punie. Si l'étudiant échoue dans une tâche donnée, il a une note faible dans l'examen; il doit refaire le cours. L'étudiant reste longtemps avec la sensation d'avoir été puni parce qu'il n'a pas appris. Dans le système, c'est différent. L'erreur est un stimulus à chercher des nouveaux chemins. Il propose une nouvelle activité sans cependant souligner qu'il faille faire ainsi à cause d'une erreur commise. C'est une façon plaisante, claire et non précipitée pour l'étudiant de construire ses connaissances. Le système fait la part des choses. Il distingue très bien ce que l'étudiant a compris de ce qu'il a moins bien compris. Lorsque l'étudiant se bute à un obstacle ou bien commet une erreur, un message lui sera adressé : tu n'as pas *encore* compris ... Je pense qu'en utilisant ce mot «encore» dans diverses phrases «tu n'es pas encore prêt, on va essayer un petit peu plus» le système rend l'erreur constructive ».

Malgré cette réaction positive provenant de la plupart des individus qui ont essayé ou évalué le système en se penchant sur le traitement des erreurs, tous ne sont pas d'accord. Un des experts en géométrie descriptive a dit : « ben, moi je suis de l'ancienne école et je ne tape pas les épaules des étudiants quand ils font une erreur (en signe de félicitation ou d'encouragement). Peut-être ma position face à l'erreur est-elle contraire à celle de certaines pédagogues disant que le fait de faire des erreurs soit positif et soit une forme d'apprentissage, mais j'explique cela en disant qu'il s'agit d'un style différent ».

Le contenu du système a été perçu d'un regard propre à chacun des groupes étudiés. Selon qu'ils étaient constitués des étudiants qui connaissaient déjà la géométrie descriptive, des étudiants qui n'avaient jamais étudié la géométrie descriptive, des experts en géométrie descriptive ou bien des experts en technologie éducative, les avis sur le contenu présenté dans le logiciel changeaient quelque peu.

Les premiers ont comparé le contenu de géométrie descriptive offert dans le système à celui qu'ils avaient dû assimiler dans les cours réguliers. Les seconds se sont exprimés sur ce qu'ils pensaient, après expérience, de la géométrie descriptive et les experts se sont arrêtés sur la façon de présenter le contenu de la discipline. Il faut se souvenir ici que le système a été conçu pour être utilisé soit par des étudiants entamant un apprentissage dans l'univers de la géométrie descriptive soit par des étudiants en difficulté d'apprentissage dans cette même discipline.

Voyons maintenant, de façon générale, ce que chaque groupe a perçu par rapport au contenu présenté dans le système testé.

Les étudiants qui possédaient déjà des connaissances de base en géométrie descriptive ont dit que: « par rapport à ce que j'ai appris dans le domaine de la géométrie descriptive dans mon cours, la plus grande partie du contenu est exactement la même, bien qu'elle ait été une bonne révision. Il y avait des notions que je n'avais jamais vues comme par exemple, la partie sur la préparation de la perception visuelle. J'ai trouvé cela intéressant »; « le contenu correspond à celui du cours de géométrie descriptive I, car le cours de géométrie descriptive II renferme des éléments tels que le rabattement de plans, mais il est composé d'autres thèmes aussi » ; «je pense qu'il serait intéressant de travailler avec un tel logiciel avec un groupe d'étudiants faisant leurs premiers pas dans l'apprentissage de la géométrie descriptive. Les explications sont simples et facile à comprendre»; « le système m'a donné une base nécessaire pour pouvoir suivre le cours de géométrie descriptive II »; « ce que le système a de spécial, c'est qu'il montre comment on peut représenter le point, des droites et des plans en épure et aussi, il nous présente comment se forment les rapports entre ces éléments et comment ceux-ci apparaissent dans les dièdres. Dans l'optique de travailler sur un projet d'architecture, cela est très important ».

Les observations faites par les étudiants n'ayant jamais étudié la géométrie descriptive vont dans deux directions différentes. La première se rapporte au contenu de la géométrie descriptive comme discipline alors que la seconde se rapporte à l'utilité de la géométrie descriptive dans les autres disciplines. Dans la première, les étudiants disent ceci : «pour moi le contenu a été une nouveauté parce que je ne savais pas du tout de quoi traitait la géométrie descriptive »; « bien complet (le contenu), car un néophyte comme moi peut avoir une bonne idée de ce qu'est la géométrie descriptive » et «je ne sais pas tout ce qu'il y a à apprendre dans cette matière, mais je sais que j'ai beaucoup appris ». Quant aux étudiants qui se sont plutôt penchés sur la question de l'utilité de la géométrie descriptive, ils ont fait les remarques suivantes: « Le contenu est très bien, car il m'a donné des connaissances qui vont me servir en dessin technique et qui vont m'être utiles lorsque je

ferai le cours régulier de géométrie descriptive»; « Il constitue une base pour qui veut travailler la perspective ».

Un des experts en géométrie descriptive a parlé de façon plus générale, sur la manière dont le contenu de base de la géométrie descriptive devait être présenté en faisant une comparaison entre la façon traditionnelle de l'enseigner, et celle proposée par le système :

« Le fait de commencer du tout et d'aller vers les parties ensuite est très intéressant. La majorité des livres d'enseignement traditionnel de la géométrie descriptive vont exactement dans le sens contraire. Ils débutent par la représentation du point, celui-ci n'existant pas concrètement dans l'espace; personne ne peut élever la main dans l'espace pour prendre un point. Ensuite, les livres s'attardent sur les droites alors qu'on ne voit pas de droites détachées dans l'espace. Seulement à la suite de la découverte de ces concepts, un travail sur le plan est suggéré. Le plan est concret. On peut le toucher dans les murs, dans le plancher, dans les parois d'une boîte ou d'un emballage. Lorsque nous commençons à travailler avec le plan, nous pouvons comprendre par le fait même les droites comme étant l'intersection des plans et les points comme étant l'intersection des droites. Le système va dans ce sens. Il commence comme un jeu d'enfant; il est ludique. Il montre d'abord que nous pouvons jouer avec la forme et c'est seulement après coup qu'il habilite l'étudiant à analyser cette forme à partir du plan, des droites, des points qui la constituent. Je pense que cette façon d'aller du concret vers l'abstrait est très bien ».

Un des experts en technologie éducative fait une appréciation quant à la présentation du contenu :

« J'ai beaucoup apprécié le contenu. Premièrement, je pense que c'est un sujet qui se prête très bien à l'univers du multimédia par le fait qu'il soit constitué d'animations, de choses que nous pouvons bouger et aussi à cause de la présence des exercices. En fait, il s'agit de tout ce que l'on ne peut pas avoir dans un livre. Je trouve que le contenu en cause est très raffiné; on voit qu'il est bien travaillé et qu'il suit une progression logique. Je pense que c'est un avantage que vous soyez à la fois le concepteur et l'expert du contenu, parce que vous avez l'avantage de pouvoir sauter l'étape de rencontrer un expert de contenu, prendre des entrevues... Vous pouvez faire beaucoup de choses en lien avec le contenu et je crois que c'est idéal pour continuer de cheminer dans la voie de la créativité et de l'amélioration

des informations. Bref, vous pouvez concevoir un contenu et l'améliorer au fur et à mesure de vos découvertes. C'est plus efficace. J'ai bien aimé. J'ai appris et j'ai amélioré ma perception à cause des exercices. Même si j'oublierai peut-être dans quelques jours ce qu'est un plan vertical, je sais que j'ai quand même amélioré ma perception ».

Il y a plusieurs façons de concevoir et de bâtir un système éducatif. On peut utiliser une structure soit linéaire, soit hiérarchique ou bien de réseau. Vu la nature de cette discipline dans laquelle chaque concept constitue une base pour les prochains concepts à venir, nous avons choisi l'apprentissage guidé en suivant un processus linéaire. Les exercices sont présentés sous forme séquentielle étant donné que chacun d'eux constitue un pré-requis à l'exercice qui suit. De façon générale, les étudiants ne se sont pas plaints du manque de liberté pour choisir une séquence, mais ils ont plutôt préféré naviguer de façon séquentielle sans qu'il y ait danger de se perdre ou simplement pour suivre le déroulement didactique du système. Les étudiants ont fait les affirmations suivantes par rapport à la forme séquentielle du système :

« Le contenu du système est bon; il a une séquence logique »; « C'est un processus linéaire. Quand on finit un exercice on passe au suivant. Je trouve cela intéressant parce qu'on ne se perd pas dans le programme, on ne crée pas plusieurs liens à la fois »; « J'ai préféré naviguer avec le bouton qui nous amène à une séquence préétablie »; « à travers le bouton on pourrait avancer plus vite et sans danger de faire confusion »; « j'ai préféré, dès le début, le bouton qui nous permet d'aller directement à l'activité suivante ou au prochain exercice, car il nous aide à conserver une séquence correcte dans notre démarche; il nous empêche de nous détourner de l'objectif du programme » ; « J'ai préféré le bouton qui nous amène directement à l'activité recommandée à cause de l'évolution suggérée dans la séquence des exercices; il nous amène à un exercice correspondant à notre niveau d'apprentissage »; « Je me suis aperçu de l'existence d'une évolution graduelle entre chaque module nous permettant d'accéder à un autre niveau de connaissance »; « D'une certaine façon, on apprend vraiment, car si on ne réussit pas un exercice, on n'avance pas »; « D'ailleurs, c'est progressif. On saisit de plus en plus les notions même si toutefois on réalise que lorsque l'on approche de la fin, c'est plus difficile. Avec cette façon

d'aborder le contenu, soit étape par étape, on comprend peu à peu le principe. Il me semble que le contenu est assez bien exploité ».

Le système a un index général et des index pour chaque module. L'étudiant peut accéder à ces index quand il le veut, mais à cause de la linéarité du système décrite ci-haut, il peut faire seulement les exercices selon la séquence préétablie.

Malgré le fait que les étudiants aient trouvé normal la nécessité de suivre une séquence préétablie, un des technologues en éducation a fait des observations très pertinentes que nous devons prendre en considération :

« C'est très, très, très linéaire. Ça ne m'a pas trop dérangé, mais je crois qu'une telle organisation du système se trouve à limiter quelque peu son utilisation. Étant très linéaire, il semble s'adresser qu'à un petit groupe d'individus, soit ceux qui débutent dans la matière. Quelqu'un qui aurait de l'expérience dans ce domaine serait probablement plus intéressé s'il n'avait à travailler que dans le module 3 du système. Autrement, les motivations de ces personnes-là qui auraient à passer par toutes les sections faciles s'en trouveraient grandement diminuées. Vous ne donnez pas le droit de sauter des étapes. En ce qui concerne les débutants, ça va. Cela est adéquat aussi pour les étudiants n'ayant pas beaucoup de discipline dans leurs stratégies d'apprentissage. Par contre, pour quelqu'un qui a accumulé plus de connaissances sur le sujet ou bien qui travaille sur Internet tous les jours ou du moins qui est à l'aise avec la navigation libre, pour tous ces gens, le système devient beaucoup moins intéressant».

Quand nous parlons d'apprentissage, nous devons considérer les différences individuelles des étudiants pour bien comprendre un sujet. Ces différences peuvent être de plusieurs natures. En voici quelques exemples : à quelle vitesse la personne capte une idée, de quelle façon l'idée est captée, quelle est la capacité de la personne à comprendre une notion à partir d'un certain nombre d'activités, etc. Nous devons prévoir, dans notre outil, des alternatives pour que tous les étudiants puissent comprendre. Les observations des étudiants et des experts sur les différences individuelles ont été bien pertinentes. Ils reconnaissent le besoin de chacun de prendre son temps pour comprendre tranquillement. Pour ceux qui ont de la difficulté à visualiser, il y a un module spécial dans le système qui consiste en une exploration de la perception visuelle. Les étudiants y sont menés

automatiquement dans le cas où ils ne réussissent pas les tests du module initial. Un des experts en géométrie descriptive observe souvent qu'il y a un pourcentage considérable d'étudiants qui ont une perception très forte, pouvant peut-être s'expliquer soit par une cause génétique ou par le fait qu'elle ait été développée aux cours des expériences de l'étudiant d'une façon dont on ignore. Cet expert pense qu'il s'agit d' «un cadeau naturel » et il ajoute que «Normalement, la perception spatiale des étudiants est très faible ». Il se rapporte au moment auquel l'étudiant doit se servir du système : « Certains étudiants n'éprouvent aucune difficulté et ils apprennent très vite, tandis que d'autres éprouvent des difficultés. Le choix de se préparer avant le début du cours et de continuer les exercices pendant le cours devrait être laissé à la discrétion de l'étudiant mais le système devrait toujours être à la disposition de l'étudiant ».

Pour leur part, les étudiants démontrent avoir aussi une idée intuitive des différences individuelles lorsqu'ils parlent : « Parfois, notre façon de capter une information est plus lente que la vitesse de l'ordinateur. S'il se passe quelque chose, très vite on peut retourner en arrière et revoir l'explication »; «Dans un groupe, il y a toujours des gens qui ont plus de difficulté à visualiser que d'autres » et «Il est impossible de tout avoir dans un système. Chaque personne a des doutes, des questionnements différents. J'ai aussi trouvé intéressante la possibilité qu'il y ait interaction entre l'étudiant et le professeur. Il est important que l'étudiant ne se sente pas seul ».

Un des experts en technologie éducative nous a donné l'idée suivante : « les animations, j'ai aimé ça, mais j'aimerais avoir quelque chose qui viendrait les accompagner comme une narration, un texte, qui apparaîtrait à la fin et qui se trouverait à compléter ce qui se passe dans l'animation. Il y a des étudiants qui préfèrent juste voir (l'animation de l'image) et il y en a d'autres qui préfèrent voir l'image et avoir la possibilité de lire ce qui est dit à propos de cette image en même temps. Cette dernière idée serait une deuxième façon de renforcer l'apprentissage de certains élèves». Il est vrai que le son n'a pas été utilisé dans le système. Cela s'explique par le fait que nous ne savions pas avec quels types d'ordinateurs nous pourrions travailler. Nous aurions pu utiliser un texte qui accompagne les animations, mais

nous avons voulu que «des figures parlent plus que les mots ». Cette phrase est d'ailleurs citée dans le système.

L'approche utilisée pour élaborer le système a été davantage celle du constructivisme. Un des experts en géométrie descriptive a dit par rapport à cela que «La construction de la connaissance à travers le système se fait d'une façon plaisante, claire et sans précipitation. Même l'erreur est constructive ».

L'articulation des étudiants avec les contacts humains pendant qu'ils utilisaient le système a été une de nos préoccupations lors de la conception et du développement de notre système. Nous avons essayé, d'une part, de faire en sorte que dans le logiciel, lorsque nous nous adressons à l'étudiant la communication soit faite sur un ton intime. L'expert en géométrie descriptive a remarqué cette particularité du traitement: «la façon de s'adresser à la personne qui utilise le système en utilisant le pronom personnel «tu»³ et en disant par exemple: «Tu vas faire ça maintenant », «Tu vas voir cela », a créé une ambiance intime et montre une attention spéciale tournée vers la personne qui est en train de travailler avec le système ». D'autre part, nous avons eu comme préoccupation de mettre l'étudiant en contact avec un professeur même si celui-ci allait être à distance. L'expert qui vient de nous partager ses idées a remarqué notre préoccupation et a expliqué que «L'éducation à distance pour nous (les Brésiliens) est un fait nouveau dans le monde de la méthodologie et de l'éducation. Elle est très profitable pour la personne qui est ou bien en train d'apprendre un nouveau sujet comme la géométrie descriptive par exemple ou bien qui est en train de réviser ses connaissances. Pour ces personnes, il est important de pouvoir compter sur quelqu'un qui pourrait venir éclaircir à tout moment leurs doutes, et ce, même à distance ».

Un grand nombre d'adjectifs a été utilisé dans des contextes des plus variés. Afin de vous donner une idée générale du degré d'appréciation du système avec lequel sont ressortis de

³ Le « tu » en français correspond au « tu » en portugais. Toutefois il n'est pas utilisé dans toutes les régions du Brésil. Presque partout, on utilise le « voce » qui correspond au « tu » mais qui se conjugue comme le « on ».

l'expérience les divers participants, nous vous présenterons ici toute une gamme d'adjectifs constituant une «salade » en fait qui en traduira la saveur:

« **Fantastique**, bien **différent** des méthodes d'apprentissage par lesquelles je suis déjà passé » ; « Il (le système) utilise un langage **facile** » ; « C'est vraiment la façon la plus **intéressante** et **facile** d'apprendre la géométrie descriptive » ; « Il (le système) nous fait travailler sur les concepts plus difficiles d'une façon détendue » ; « C'est un **bon** système d'enseignement pour ceux qui commencent à apprendre la géométrie descriptive » ; « Il (le système) facilite la visualisation et conséquemment la compréhension de la discipline de façon **dynamique** et **directe** » ; « La partie portant sur la perspective et les droites et figures a été la **plus intéressante**, parce qu'il est très difficile de voir dans l'espace ces phénomènes, tandis qu' avec GDVisu@l on peut les visualiser d'une façon très intéressante » ; « Pour ceux qui aiment la géométrie descriptive, pour ceux qui l'ont déjà étudiée et pour ceux qui en font pour la première fois, le système est **intéressant** » ; « Le système est **très bon**, **très pratique** » ; « Il (le système) me semble bien **innovateur**, **pratique** et **didactique** et de **grande** utilité pour tous les étudiants qui ont besoin de la géométrie descriptive pour travailler (génie, arts, architecture, mathématiques) » ; « J'ai trouvé beaucoup plus **facile** de visualiser à l'aide du système que lorsqu'on a devant nous qu'un tableau noir avec des dessins. C'est beaucoup plus **pratique** de travailler avec le système, « **funny** » » ; « Sans contredit, les exercices de vision spatiale ont été faits de façon **concrète** et **ludique** » ; « L'apprentissage devient beaucoup plus **agréable** et **intéressant** » ; « La didactique est **bonne** » ; « Cette façon **ludique**, **interactive** et **plaisante** que le système nous fait connaître répond à l'attente des professeurs et vient combler le vide qui a été créé il y a belle lurette dans le monde de l'enseignement de la géométrie descriptive » ; « Il s'agit d' une technologie **innovatrice** ; les points sur lesquels le système ne peut pas donner d'éclaircissements , un professeur « **online** » est là pour vous servir ».

Brève conclusion de cette section

Compte tenu de ce qui précède, on peut affirmer que les objectifs visés pendant la conception du système ont été atteints, car les étudiants et les experts nous ont

spontanément fait part de plusieurs observations qui constituent des points que nous avons, dès le début, considérés comme étant importants dans la création d'un nouveau système. Voici quelques-uns de ces points. Le système doit :

- être ludique et intéressant; il doit motiver l'apprentissage de la géométrie descriptive;
- favoriser l'activité à travers l'interactivité;
- permettre à l'étudiant de construire sa connaissance;
- considérer les différences individuelles et le rythme des étudiants
- traiter l'erreur de façon positive et donner un feed-back instantané à l'étudiant.
- respecter, dans son contenu, une démarche linéaire.
- faciliter la visualisation et conséquemment l'apprentissage en favorisant l'utilisation de différents médiums, dont l'animation et la manipulation directe qui jouent un rôle important dans la compréhension de la troisième dimension à partir de figures bidimensionnelles;
- considérer les difficultés des étudiants.

Contenu :- Indépendamment de la façon dont le contenu a été perçu par chaque groupe, les étudiants ont fait des commentaires bien spécifiques tels que :

Solides : Sept étudiants sur trente ont parlé des solides. De façon générale, ils ont trouvé très intéressante la visualisation des solides sans avoir besoin de faire des maquettes, opération qui prend beaucoup de temps. Un étudiant a dit qu'il devrait y avoir présence de solides dans tous les modules. C'est donc signe que les solides semblent être quelque chose de bien concret pour lui. Les étudiants ont bien aimé manipuler les solides. Un étudiant a eu de la difficulté à faire les exercices sur le nombre de faces des solides parce que ceux-ci étaient représentés par leurs arêtes et lorsqu'ils étaient en mouvement, les arêtes se mélangeaient et rendaient ainsi la visualisation difficile. Si les solides avaient une texture quelconque sur leurs faces peut-être serait-il plus facile de les visualiser. Un étudiant a dit que la partie sur les solides a été la moins motivante parce qu'il connaissait déjà ce sujet. Un autre a dit qu'il a bien aimé voir les projections des prismes, des pyramides et autres solides.

Un prochain pas qui pourrait venir compléter le système pourrait être celui de la visualisation des solides appliquée à chaque domaine d'utilisation de la géométrie descriptive de façon à rendre possible son utilisation dans le traitement de cas particuliers.

Plans : Une seule étudiante a parlé plus spécifiquement de l'étude des plans. Elle a dit qu'elle avait toujours éprouvé beaucoup de difficulté à saisir ce qu'était le rabattement des plans, mais que l'utilisation de la visualisation de cette opération est venue faciliter sa compréhension. Elle a trouvé intéressante la façon de représenter un plan en se servant de ses traces. Elle avait appris d'une autre façon et elle raconte : «Je n'avais jamais pensé que l'on aurait pu représenter un plan en utilisant les droites d'intersection de deux plans. «Wow!», c'est clair, on peut bien visualiser. C'est tout ce dont on a besoin pour construire l'épure du plan ». Elle a dit aussi qu'elle avait beaucoup de difficulté à mémoriser le nom des plans, celui-ci étant associé aux caractéristiques de chacun des plans. L'activité dans laquelle elle devait remplir la fiche de chaque plan en manipulant le plan et en observant les changements dans son épure a beaucoup facilité, selon elle, la compréhension et la mémorisation de ces caractéristiques.

Rabattement : Deux étudiantes sur trente ont suggéré l'introduction d'un module sur le rabattement, ce qui est déjà prévu pour les modules qui seront développés d'ici peu. Le rabattement peut être appliqué à une droite, à un plan ou à une figure. La visualisation des rabattements de plans pourrait ultérieurement compléter notre système en faisant un lien entre le rabattement, opération géométrique et des opérations quotidiennes telles que la fermeture ou l'ouverture d'une porte.

Objets 3D : Trois étudiants sur trente ont parlé des objets en trois dimensions et de la forme sous laquelle ils figuraient dans la GDVisu@l. Nous avons retenu deux citations qui résument l'essentiel de leurs propos, lesquels allaient tous sensiblement dans la même direction : « Avec le système, grâce à l'animation, on peut voir la troisième dimension »; « C'est bien de pouvoir manipuler les objets 3D et de pouvoir en observer tous les détails : faces, arêtes et angles».

Vues : Deux étudiants sur trente ont trouvé que les activités sur les vues des objets étaient les plus motivantes étant donné qu'elles facilitaient la visualisation des solides.

Brève conclusion de cette section

Étant donné le fait que le système n'est pas complet, nous pensons y ajouter de nouveaux sujets dont les méthodes descriptives (le rabattement y figurera) toujours dans le but de montrer les applications pratiques de la géométrie descriptive qui peuvent se faire dans les domaines de l'architecture, de génie ou qui peuvent aider à la construction d'objets utiles servant aux professeurs et aux étudiants.

Problèmes et suggestions : - La plupart des étudiants ont dit que les textes écrits étaient clairs. Malgré cela, ils ont remarqué quelques problèmes qui ont posé des difficultés à la compréhension des activités et des exercices. D'abord, nous présenterons les observations qui ont été faites par les étudiants et par les technologues et ensuite les suggestions que ces gens ont faites afin de pouvoir résoudre les problèmes soulevés.

Les étudiants trouvant que les textes des activités et des exercices étaient appropriés justifient leurs avis: « Je pense que les textes étaient bien compréhensibles et didactiques»; « Les explications sont claires et directes. En plus, les chemins proposés pour résoudre les exercices sont pratiques. On peut accomplir les tâches rapidement et avec succès »; «Si on compare les textes du système avec les explications théoriques que j'ai eues en géométrie descriptive I, j'ai trouvé qu'ils (les textes) étaient écrits selon un bon niveau d'écriture. Je n'ai pas fait le cours de géométrie descriptive II parce que je n'ai pas réussi à suivre les explications du professeur »; « J'ai trouvé que c'était bien expliqué. Le langage est accessible et c'est facile à comprendre »; « Pour moi cela a été facile de m'orienter dans les activités proposées, car l'orientation (guidage) a été très bien élaborée autant dans les explications fournies sur les activités que dans la façon de passer à l'activité suivante en poussant sur le bouton «suivant » »; « Peut-être que pour quelqu'un qui connaissait déjà la géométrie descriptive manquerait quelque chose, mais pour moi, qui ne connaissais rien de la géométrie descriptive, tout était bien expliqué. On pouvait bien comprendre ce que

l'exercice demandait »; « Les textes sont simples et objectifs. Comme le système en est un qui est visuel, si on devait beaucoup lire, on perdrait le goût. Dans ce cas, il serait préférable de prendre un livre »; « Les explications sont bonnes. Elles nous permettent d'avoir une bonne notion sur le sujet »; « Les explications étaient bonnes et donnaient les informations nécessaires à la réalisation des exercices ».

En dépit de ce qui précède, les étudiants ont soulevé quelques problèmes qu'il importe de prendre en considération : « Le système, dans son ensemble, est bien clair. Seulement, quelques éléments m'ont rendue confuse, comme par exemple, lorsqu'il y avait beaucoup d'abréviations. C'était difficile pour quelqu'un qui n'avait jamais fait de géométrie descriptive ... »; « On n'utilise pas les termes α , α_1 , α_2 . La nomenclature est différente et cela a rendu difficile la compréhension ce que l'on devait faire »; « Quelques textes sont incomplets. On a des doutes quand on fait les exercices. Le jeu de cartes en est un bon exemple. Je n'ai même pas réussi à compléter 75% du jeu. Quelqu'un a dû m'expliquer comment jouer correctement. Les autres exercices font plus appel à des connaissances intuitives; il n'y avait pas de problèmes »; « Parfois, les questions devenaient un peu confuses et on ne savait pas quoi faire. Par exemple, lorsqu'il s'agissait de faire des manipulations indirectes et ce, dans l'ordre des options, on ne comprenait plus »; « J'étais un peu perdu dans les premiers exercices, mais après en avoir faits quelques-uns, j'ai pu mieux comprendre les énoncés. J'ai bien compris »; « Il y a certaines questions sur lesquelles j'ai dû m'arrêter plus longuement. Pour une personne qui commence dans le domaine, les explications devraient être plus détaillées »; « J'ai trouvé ça bien, mais quelques-unes des questions étaient un peu difficiles à comprendre. J'ai dû les lire plusieurs fois pour bien les saisir... Dans la situation 4, j'ai eu de la difficulté à comprendre comment il fallait inscrire les caractéristiques des plans sur la fiche. C'est seulement après avoir beaucoup lu que j'ai compris »; « Dans l'ensemble des activités, outre quelques hésitations, je n'ai pas rencontré de grands problèmes. Dans la partie des axes x, y et z, les explications sont un peu obscures. J'ai trouvé que les explications étaient très brèves, alors si on ne les comprend pas très bien dès le début, on va avoir des problèmes plus tard ». Cette observation est très pertinente parce que l'exercice dans lequel les étudiants ont eu le

plus de difficulté, dans le post-test, a été celui portant sur les coordonnées d'un point dans l'espace.

Un des experts en géométrie descriptive a émis certaines réserves quant aux tests utilisés au début des activités pour évaluer, selon l'échelle Van Hiele, le niveau de compétence des étudiants en géométrie. L'expert a aussi formulé certaines réserves sur la façon d'aborder la notion de la perception spatiale telle que présentée dans le module 1 : « Malgré le fait que ces tests soient bien respectés dans la littérature, nous avons eu beaucoup de commentaires et de critiques dans notre groupe parce que souvent, les gens qui ont créé ces tests ne sont pas nécessairement compétents en géométrie. Ce sont plutôt des psychologues et des didacticiens, voire même des mathématiciens, ayant peu d'aptitudes en la matière. C'est pourquoi je m'interroge quant à la validité de ces tests ». Cependant, comme nous l'avons mentionné en 2.2.3.2, nous avons tout de même décidé d'utiliser ces tests parce qu'ils étaient déjà validés par Saad et Davis (1997).

Brève conclusion sur cette section

Les étudiants et les technologues ont donné des suggestions pour améliorer le système sur le plan pédagogique. Le tableau 3.4 à la page suivante présente les points qu'il conviendrait d'améliorer.

Ces suggestions seront très importantes pour améliorer le scénario d'interaction c'est-à-dire, les aspects pédagogiques de l'interaction de l'étudiant avec le contenu exploité dans le système.

	POINTS À AMÉLIORER	À court terme	À moyen terme	Lors de la révision
Informations textuelles	Améliorer le texte présentant le jeu et préciser davantage la nature des erreurs comises (répétition de carte, double click...).			
	Améliorer la formulation des phrases se rapportant aux objets tridimensionnels en question devant être manipulés afin d'en faire découvrir le nombre de «faces». Mettre en évidence le terme «face»			
	Enrichir l'énoncé de l'exercice portant sur la figure de l'hexagone. On devrait fournir un exemple simple.			
	Insérer un glossaire contenant des termes tel que VG (vraie grandeur).			
Innovations suggérées	Autoriser la reproduction des pages explicatives pour les utilisateurs n'ayant pas toujours accès à un ordinateur.			
	Introduire des activités de rabattement d'une figure dans le plan des activités de transformation du plan ainsi que le VG (vraie grandeur) de la figure.			
	Introduire des exercices additionnels à la fin du système. Ceci pourrait constituer une forme d'autoévaluation ou d'évaluation formative.			
	Utiliser un système de type AutoCAD ou CABRI pour faire dessiner les épures au lieu d'utiliser des manipulations indirectes.			
Renforcer ce qui existe déjà	Assurer l'accessibilité à des solides à tout moment afin d'inciter à la manipulation.			
	Bâtir un plus grand nombre d'exercices de manipulation directe.			

Changer ce qui existe	Réduire le nombre de textes et proposer plus d'animations.			
	Élaborer des modules plus courts (moins de deux heures).			
Par rapport aux exemples	Fournir des exemples concrets de la vie quotidienne de sorte que les utilisateurs en saisissent les applications possibles.			
	Faire référence à des objets du quotidien. Faire en sorte que chaque nouvelle page écran soit attrayante: un élément de surprise, une image, un changement de toile de fond et autres détails susceptibles de capter l'attention afin de garder celle-ci en éveil au moment de la transmission de l'information.			
Corriger ou reconsidérer	S'assurer que la coordonnée change de signe (+ et -) lorsqu'il y a déplacement d'un point par rapport à l'axe y.			
	Remplacer les tests diagnostiques. Essayer de les substituer par d'autres qui tiennent en compte les propriétés topologiques, affines, projectives et métriques des objets.			

Tableau 3.4. Suggestions pour améliorer le système du point de vue pédagogique.

3.4.2.3. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects techniques

La transposition informatique d'un savoir de référence comme la géométrie descriptive peut apporter une nouvelle façon d'entrevoir cette discipline. Nous traiterons d'abord ici de l'apprentissage en utilisant le multimédia, des particularités de la navigation et du contrôle du système et finalement des problèmes d'ordre technique rencontrés par les étudiants.

Apprentissage multimédiatisé : Les quatre groupes ont donné leurs opinions sur le multimédia. Ils ont mentionné la présentation visuelle, l'interactivité, la convivialité, l'efficacité, l'économie de temps pour apprendre, les renforcements positifs que le système offre et s'ils ont appris ou pas avec le système.

Présentation visuelle : D'une façon générale, les étudiants et les experts ont trouvé que la présentation visuelle était très bonne, très belle, très claire, aérée, etc. Un des experts en géométrie descriptive, qui est aussi un artiste, observe : « Quelqu'un qui travaille dans le domaine sait que le visuel a un lien avec le plaisir, donc les pages, le fond, le type et la couleur du caractère, tout cela est important ». Par rapport aux couleurs utilisées, quelqu'un les a trouvées « ... frappantes, mais elles ne sont pas fatigantes. Elles attirent l'attention, nous faisant regarder dans leur direction. C'est intéressant à regarder ».

Par contre, plusieurs problèmes ont été remarqués par rapport à l'utilisation des couleurs. Quelques étudiants d'architecture et de génie ont eu une certaine difficulté à visualiser ce qui était écrit quand le caractère était vert sur un fond jaune par exemple. Ce problème a été corrigé tout de suite après que les premiers étudiants l'eurent remarqué. Les étudiants de Dessin industriel, plus habitués à travailler avec la programmation visuelle, ont fait des remarques très pertinentes par rapport à l'utilisation des couleurs, ce qui a été corroboré par les experts en technologie éducative. Un des ces étudiants observe : « Il y a de pages où la couleur du fond et du caractère sont complémentaires; une fait ressortir l'autre et donc les deux sont plus évidentes ».

Les observations des technologues en éducation vont dans le même sens que celles des étudiants : « Il y a des problèmes par rapport à la couleur de fond de la page écran et celle des caractères. Ex. : le caractère d'une couleur et le fond qui nuance avec elle, soit bleu clair et bleu foncé. Il y a des moments que ça devient intelligible... »; « Par rapport aux couleurs, il y en a quelques-unes un peu tranchées dans la typographie. Il y a toujours des contrastes où on ne voit pas, comme le mauve sur le noir, ce sont des choses à éviter. Le mauve sur le noir ne se voit pas »; « J'ai remarqué à quelques endroits qu'il y avait un fond très brillant et du texte là-dessous. Peut-être ce qui est moins agréable c'est de ne pas être capable de lire, surtout quand le texte est trop petit. Ce n'était pas juste la couleur, mais le fait qu'elle soit très, très forte... ».

Par rapport aux images, d'une façon générale, les étudiants ont trouvé qu'elles étaient très bonnes ou même excellentes « Les images sont bien simples et bien propres ». Il y a eu

aussi quelques cas particuliers où ils avaient de la difficulté à identifier les figures en perspective, à cause de la position, de la grandeur et de la couleur.

Un des experts en technologie éducative a dit :

« Au niveau des images, il y a plusieurs types d'images. Par exemple on va prendre les personnes qui sont autour de la maison (exercice 6 du module 1, voir page 119). Elles ont une qualité qui est un peu moins bonne que celle de la petite maison avec l'arbre (exercice 5 du module 1, voir page 118), avec la petite cabane en arrière. Ça c'est très joli. Dans les blocs du début aussi, ça va assez bien. On voit qu'il n'y a pas une uniformité dans la présentation d'image graphique et de temps en temps on voit qu'il y a un style pour le moulin, pour la tour, le campanile (exercice 4 du module 1, voir pages 116 et 117) et après, un autre style pour les quatre personnes qui regardent la maison (page 119)».

Un étudiant de Dessin industriel a trouvé quelques animations un peu lentes, tandis que les technologues n'ont pas vu de problèmes à ce propos et ils remarquent : « Dans l'ensemble, quand on parle des animations, ça c'est pas mal, je trouve. Tu te sers toujours du même logiciel, et il y a une constance là-dedans »; « Par rapport aux animations, les graphiques, il n'y a pas de problèmes »; « Animations: j'ai aimé ça, j'aimerais avoir quelque chose qui l'accompagne, soit une narration, soit un texte qui apparaisse à la fin, qui renforce ce qui se passe dans l'animation, mais l'animation comme telle c'était d'une bonne qualité. Parfois, il y a des étudiants qui préfèrent seulement voir et il y a d'autres qui préfèrent lire aussi. Alors, c'est une deuxième façon de renforcer ».

Les étudiants du secondaire n'ont pas parlé beaucoup, mais il semble que pour eux la présentation visuelle était bien. Ils ont dit : « La présentation est d'une bonne qualité »; « J'ai trouvé intéressant et plus facile de visualiser quelques images »; « J'ai trouvé bonne la présentation, principalement la partie des animations et de manipulation. Cela rend facile la visualisation ».

Par rapport à l'organisation de l'écran, quelques étudiants ont parlé d'une page en particulier, où ils ont trouvé un peu de problème à gérer les trois divisions qu'il y avait. Un étudiant a dit : « Il y a une page où il y a trois divisions et on doit bouger la barre de contrôle vertical pour bien visualiser ce qu'il y a dans chaque morceau. Ça je n'ai pas aimé. Je ne trouve pas intéressant ». L'opinion des technologues est similaire à celle des étudiants : « Ce que j'ai aimé peut être le moins à la fin, c'est quand il y a beaucoup de fenêtres. Il faut chercher les informations dans une fenêtre supérieure et après, répondre dans une fenêtre intermédiaire,... il y a trois fenêtres et pour moi, qui travaille beaucoup sur les ordinateurs, je suis capable de me débrouiller avec ça, mais pour un étudiant ça peut devenir un problème de compréhension. On lui parle de quelque chose et visuellement il faudrait qu'il se réfère à ça... il faut remonter. Je sais que n'est pas très grave, mais à la fin je me suis dit : pour quelqu'un qui n'est pas un expert avec les fenêtres, ça peut devenir un problème ». Vraiment, cela vient renforcer l'observation de l'étudiant et on doit certainement améliorer cette page.

En parlant encore de l'organisation des écrans, un autre expert en technologie a dit «La conception des écrans... Personnellement j'aime les choses visuelles très belles ... Je pense que la conception des écrans comme telle, ça pourra être toujours plus raffinée. Il faut toujours choisir où mettre notre effort. Vous avez mis beaucoup d'effort dans la partie pédagogique, alors... Mais ça n'empêche pas l'apprentissage par exemple. C'est juste une préférence personnelle comme artiste».

Interactivité: Quelques étudiants ont parlé de l'interactivité ou du manque d'interactivité dans le système. Ils ont dit : « Il est interactif. Il permet à quelqu'un qui n'a aucune notion de géométrie descriptive d'arriver à travailler avec ce sujet »; « En fait, ce qui m'a beaucoup plu dans ce système a été la rapidité d'apprentissage du sujet, possible grâce à l'interactivité »; « Seulement avec le système j'ai pu avoir une notion, à cause de la partie graphique, de l'interactivité... ».

Le plus grand nombre d'étudiants d'un même cours qui ont le plus parlé sur l'interactivité ont été ceux d'Arts et cela peut être un indice que pour ces étudiants, l'habitude de créer,

faire des activités est très importante et ils ont trouvé cette possibilité dans le système. Ils ont dit : « J'ai bien aimé la façon d'être interactive »; « Les activités sans manipulation j'ai trouvé... je ne sais pas quoi dire... on ne fait pas d'interaction avec le système, on devient paresseux »; « J'ai trouvé que le contenu a été très bien présenté pour être interactif »; « On peut interagir avec le système, en plus de mieux visualiser les solides ».

Un des experts en technologie éducative a fait une remarque intéressante : « J'ai bien aimé ça, c'est très interactif parce que ça exige beaucoup de participation de l'étudiant au niveau cognitif, pas juste pour regarder ou «piloter», mais de l'effort cognitif ».

Convivialité : On peut remarquer que quelques mots apparaissent fréquemment lorsque les étudiants commentent la façon de travailler avec le système, d'y naviguer : facile, simple, pratique. Il semble que la barre de boutons, la façon d'avancer vers l'activité suivante sans se perdre a plu beaucoup à la plupart des étudiants, même à ceux qui n'ont pas l'habitude de travailler avec les ordinateurs. On rapporte ici ce qu'ils ont dit :

« Même si la personne ne sait pas bien travailler à l'ordinateur ou avec internet, comme moi, c'est **facile** de travailler avec le système »; « Excellent, **facilite** la vie des étudiants moins habiles avec les ordinateurs »; « Les explications sont claires et directes. Les chemins pour résoudre les exercices sont **pratiques**. Les tâches peuvent être faites avec rapidité et succès. C'est une façon **pratique** et rapide de manipuler le système. En plus, les fonctions des boutons sont claires et **faciles** à comprendre »; « La barre de contrôle du système **facilite** la navigation »; « L'interface est **facile** de compréhension et auto-explicative »; « Il est bon de pouvoir retourner, de pouvoir revoir ce qu'on a fait sans avoir besoin d'une commande très compliquée »; « Je n'ai pas utilisé toutes les possibilités du système, mais j'ai trouvé **facile** d'arriver où je veux. J'ai utilisé plus la petite feuille, parce que c'était plus **facile** »; « Je pense que la façon de finir tous les exercices, avec le bouton « suivant », rend plus **facile** la compréhension du fonctionnement du système »; « J'ai préféré utiliser le bouton qui va directement à l'activité recommandée, car c'est plus **simple** »; « C'est plaisant de travailler avec le système, **simple, pratique** »; « J'ai trouvé

simple de naviguer dans le système. Les icônes sont intelligibles et il est agréable de passer d'une page à l'autre, partout. J'ai trouvé intéressant. Il marche bien ».

Efficacité : L'efficacité du système devient évidente quand on analyse les réponses des étudiants à la question (peut-être un peu tendancieuse) « As-tu appris avec le système? ». Les étudiants qui ont déjà étudié la géométrie descriptive parlent plus d'avoir éclairci des doutes qui sont restés de l'enseignement traditionnel, sur le renforcement que le système a donné pour ce qu'ils savaient déjà, sur l'amélioration de leur perception spatiale, tandis que les étudiants qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive auparavant admettent clairement qu'ils ont appris et donnent des exemples de ce qu'ils ont appris. Les premiers disent :

« Oui, principalement dans la partie des plans. J'ai toujours eu des problèmes pour apprendre par cœur les noms des plans (horizontal, profil...) et maintenant, à cause de la façon dont vous avez fait, avec la manipulation des plans, les traces des plans, la fiche à remplir, j'ai appris. J'ai pensé que ces choses là n'allaient jamais rentrer dans ma tête »; « Oui, j'ai appris mais j'ai aussi dissipé des doutes sur le comportement des plans et aussi les coordonnées x, y et z. Cela était un doute, parce que je ne pouvais pas visualiser ces opérations ou éléments »; « Je pense que j'ai appris, car quand je faisais une erreur, je comprenais le pourquoi de l'erreur tout de suite »; « On apprend toujours. J'ai vraiment appris. Je me souvenais de ce que j'avais oublié et j'ai appris plus »; « Je pense que j'ai appris, car avant j'avais un grand problème pour représenter mes images mentales en l'épure et maintenant je peux faire ça »; « Je fais présentement le cours géométrie descriptive et j'étais une étudiante très faible tout le temps. Le système m'a beaucoup aidé lors de cette fin de cours régulier parce que je n'avais pas beaucoup de connaissance pour l'examen. Maintenant j'ai pu faire l'examen. Le professeur nous a donné un travail avec beaucoup d'exercices et personne ne savait comment faire. Moi, je ne savais pas non plus, mais maintenant je peux le faire⁴ »; « Certainement, le système m'a donné une plus grande

⁴ Cette étudiante a été choisie par son professeur de géométrie descriptive pour être la monitrice du cours l'année scolaire suivante à cause de sa progression après l'utilisation du système.

vision spatiale. J'ai bien appris »; « La façon de présenter la matière est claire. Même quelqu'un sans notions de géométrie descriptive peut vraiment apprendre »; « Dans ce style, avec les petits jeux, avec les explications rapides, le système captive notre intérêt et on apprend vraiment. Même ceux qui savent rien sur le sujet, je pense qu'ils arrivent à apprendre »; « Oui, j'ai appris même à raisonner d'une façon différente dans certains cas ».

Les étudiants qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive semblent plus enthousiastes quand ils parlent de ce qu'ils ont appris, en utilisant toute une nomenclature propre à la géométrie descriptive :

« Oui, j'ai appris. Je ne savais pas ce que c'était une épure, je ne savais pas faire une épure »; « Quelle question? J'ai beaucoup appris, certainement. Maintenant je sais qu'est-ce que c'est une épure, un rabattement, ... Avant quand quelqu'un parlait de ces choses je n'avais pas la moindre idée »; « Certainement, parce que cela a été un bon exercice de vision spatiale fait d'une façon concrète et ludique »; « Oui, j'ai appris parce que la didactique, la forme des exercices facilite bien l'apprentissage »; « Oui, parce que j'ai mis beaucoup d'effort et le système est bon »; « Certainement que j'ai appris, ahahah...(rires). Dans ce dernier module où on joue en simulant un jeu de patience avec les cartes, on voit qu'on a vraiment appris. J'ai trouvé très intéressante cette partie. J'ai appris, sans doute »; « Oui, j'ai appris à mieux visualiser les images »; « Oui, car le système permet qu'on apprenne de nos erreurs »; « J'ai trouvé cela bien. J'ai beaucoup appris malgré les problèmes du système et des ordinateurs ».

Même les experts en technologie éducative, qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive mais qui ont suivi le même cheminement que les étudiants, admettent avoir appris avec le système : « Oui, oui, oui, j'ai appris des choses... J'ai un aperçu et je comprends maintenant qu'est-ce qui se passe »; « J'ai bien aimé et je peux dire à la fin que j'ai appris et que j'ai amélioré ma perception à cause des exercices. Même si j'oublie c'est quoi un plan vertical, j'ai quand même amélioré ma perception. Je ne suis pas certaine que je vais me souvenir de tous les termes, car le système n'est pas dans ma langue maternelle,

ça fait que je peux oublier plus facilement, mais je pense que les concepts et les principes sont dans ma tête ».

Rapidité d'apprentissage : Il semble que la rapidité, la vitesse d'apprentissage pour faire les exercices est une préoccupation constante pour les étudiants. Ils ont démontré cela en disant : « Les explications sont claires et directes. En plus, les chemins suggérés pour résoudre les exercices sont pratiques et les tâches peuvent être faites avec rapidité et succès »; « Le système nous fait gagner du temps. Le professeur a dépensé deux mois pour donner la matière et je n'ai rien appris. Avec le système, en deux jours ou quatre heures, j'ai appris beaucoup plus que le professeur a essayé de nous faire apprendre pendant les deux mois »; « Je dirais à mes amis : j'ai fait un cours fantastique, dans lequel j'ai appris beaucoup sur la géométrie descriptive, dans un court laps de temps »; « Je pense que c'est une très bonne façon d'apprendre, où l'apprentissage est plus rapide »; « La visualisation permet une meilleure et plus rapide compréhension. La manipulation des corps dans l'espace facilite aussi la compréhension et on peut apprendre mieux et plus rapidement ».

Récompense : Comme dernière caractéristique des aspects qui touchent l'apprentissage grâce au multimédia, il faut présenter ce que quelques étudiants ont mentionné sur le renforcement positif offert quand ils réussissent un exercice. Ils disent « On devient plus motivé pour voir comment est l'exercice et ne pas faire des fautes, pour que le petit signe rouge n'apparaisse pas »; « J'ai bien aimé quand il y avait une récompense pour faire un exercice correctement »; « J'ai aimé les éloges quand on réussit un exercice, ces petites choses... ».

Brève conclusion sur cette section

Les observations des experts et des étudiants sur l'apprentissage multimédiatisé ont touché à des points bien intéressants et d'une grande envergure. Nous pouvons noter que le point qui a posé quelques problèmes a été la présentation visuelle en ce qui a trait à la typographie, soit à sa grandeur ou à sa couleur en relation avec celle du fond de l'écran. À part de cela, il faut améliorer l'organisation de l'écran de quelques exercices. Nous

pouvons aussi noter que le système est facile à utiliser; il est convivial et apprendre à l'utiliser ne représente pas une surcharge de tâche à l'étudiant. D'une façon générale il a accompli son rôle car les étudiants qui avaient déjà étudié la géométrie descriptive ont pu faire une bonne révision de la matière, tandis que ceux qui ne l'avaient jamais étudiée, ont appris beaucoup de choses. Pour ceux qui avaient des difficultés d'apprentissage dans un cours traditionnel, le système a représenté un moyen rapide et efficace d'apprendre.

Navigation et contrôle : - Pour naviguer dans le système l'étudiant pouvait utiliser trois méthodes différentes. En général, à la fin de chaque exercice apparaît un bouton « suivant » qui amène l'étudiant à la prochaine activité ou exercice. Si l'étudiant décide de suivre le déroulement normal, il peut toujours avancer en utilisant ce bouton. S'il décide d'arrêter pour continuer après, en retournant au système, il peut simplement cliquer sur l'icône qui représente une petite feuille de papier et il sera amené par le système à l'activité recommandée, car la barre de contrôle s'adapte à chaque étudiant. Il peut aussi décider de retourner pour refaire un exercice ou voir ce qu'il a déjà fait, ce qui lui reste à faire et pour cela, il est préférable d'utiliser la carte du module. À Juiz de Fora, les ordinateurs ont présenté plusieurs problèmes et le système aussi; les étudiants ont donc eu beaucoup de difficulté à passer à la prochaine activité grâce au bouton « suivant ». Ils ont beaucoup utilisé la petite feuille. C'est ce que reflètent les réponses à la question sur comment ils ont préféré avancer dans le système.

Les étudiants qui ont préféré avancer grâce à la petite feuille justifient leur choix en disant: « Elle avance plus vite »; « J'ai trouvé plus facile »; « L'ordinateur avait des problèmes »; « Elle était déjà dans le programme et il était plus facile de changer d'exercice »; « Elle était pratique et simple »; « Elle était plus rapide. On clique et elle nous amène à l'exercice recommandé. On ne perd pas de temps »; « Elle amène directement à l'activité recommandée »; « Il était déjà implicite qu'elle nous amènerait à l'exercice suivant celui qu'on avait fait auparavant »; « Elle est tellement plus simple, elle va directement à l'activité. J'aime bien les choses rapides et simples »; « Quelqu'un m'a dit de l'utiliser la première fois quand j'en ai eu besoin et après, pour ne pas perdre de temps, je l'ai toujours utilisé »; « Je l'ai utilisé à cause de l'évolution séquentielle des exercices par rapport à

l'apprentissage »; « J'ai beaucoup travaillé avec les programmes graphiques et à travers l'icône on va directement à ce qu'on veut ».

Quelques étudiants ont parlé du bouton « suivant » qui apparaissait après chaque activité ou exercice fait avec succès. Ils ont dit : « J'ai préféré dès le début le bouton qui va directement à la prochaine activité, parce que ça facilite le suivi de la séquence correcte, sans sortir de l'objectif didactique du système »; « J'ai utilisé le bouton pour l'activité recommandée pour suivre la séquence préétablie »; « Avec le bouton qui permet d'aller directement à l'activité recommandée, car on peut avancer plus vite et sans danger de confusion »; « Le bouton pour l'activité recommandée, il fonctionne comme un raccourci ».

Plusieurs, sans que ce soit la majorité, ont utilisé et apprécié la carte : « À travers la carte, on peut savoir à peu près ce qu'on a fait, sur tout le contenu. Généralement mes collègues ne l'utilisaient pas. À travers la carte on peut savoir ce qu'on a déjà fait, quel était le contenu. J'ai bien aimé la carte, mieux que la petite feuille parce qu'on pouvait retourner aux questions qu'on avait déjà faites, on pouvait lire sur quoi portaient les exercices et les activités, on pouvait savoir où on est rendu. Je pense que la carte est mieux pour savoir où on doit aller et ce qu'on a fait déjà »; « J'ai utilisée la carte et la petite feuille. Si on veut voir ce qu'on a fait déjà, la carte est mieux ». Certains ont moins aimé la carte et ils le justifient : « J'ai utilisé la carte et les icônes. Les icônes sont plus intéressants »; « J'ai préféré la petite feuille. À travers la carte on peut voir où est-ce qu'on est par rapport à l'ensemble des activités, mais la petite feuille est plus facile. Si on a fait une erreur, on reste au même endroit. Si on réussit, on passe, le système nous amène à la prochaine activité »; « La carte n'est pas bien visualisée »; « La carte, je l'ai utilisée une fois seulement »; « Moi, je n'ai utilisé la carte qu'une seule fois »; « La carte, je l'ai utilisé seulement au début »; « J'ai préféré le bouton qui va directement, car la carte est un peu confuse ». Il y a ceux qui n'ont pas de préférence : « J'ai utilisé soit le bouton pour l'activité suivante, soit la carte. Si on veut revoir ce qu'on a fait, c'est mieux la carte. Dans le cas contraire, le bouton. Les deux sont intéressants »; ceux qui les ont utilisés avec un but précis : « J'ai utilisé la carte pour retourner dans un exercice où j'avais des doutes »; et

aussi ceux que ne l'ont pas utilisée pour une bonne raison : « Je n'ai pas essayé la carte parce qu'elle n'a pas fonctionné dans ma machine ».

Nous ne pensons pas que la carte soit vraiment compliquée. Ce qui arrive c'est que le bouton qui amène à l'activité suivante ou la petite feuille sont très pratiques et en plus la curiosité de savoir quel est le prochain exercice amène parfois l'étudiant à oublier l'autre possibilité pour naviguer dans le système.

D'une façon générale, les étudiants ont trouvé facile la navigation dans le système en utilisant la barre de boutons. Ils remarquent qu'elle a des similitudes avec la barre de navigation de l'Internet, mais qu'elle est plus facile, car il n'y a pas la possibilité de se perdre comme dans l'Internet, en créant plusieurs liens. Même pour ceux qui n'ont pas l'habitude de travailler avec un ordinateur ou bien naviguer sur Internet, utiliser le système a été facile. Nous verrons dans ce qui suit, ce que les étudiants ont dit de façon générale sur la navigation dans le système.

« Je ne suis pas très bonne avec les ordinateurs et je n'ai pas compris toutes les fonctions des éléments de la barre de contrôle. J'ai vu que lorsque on passe la souris sur les boutons il y avait une phrase dans un rectangle qui expliquait ce qu'il faisait, mais j'ai utilisé davantage la petite feuille et le bouton «Stop» »; « Le système est facile à opérer. Les boutons sont faciles à manipuler et à comprendre, parce qu'il y a une explication pour chacun d'eux »; « Les boutons sont bien expliqués et facilitent le travail dans le cas où on aurait un doute »; « Intéressant parce qu'on ne se perd pas dans le système. Il ne crée pas plusieurs liens. C'est un processus linéaire. Si on finit une activité on passe à la suivante. Ce n'est pas la même chose qu'aller sur l'Internet où on touche les boutons et après on ne sait pas plus où on était au début »; « Les deux sortes de navigation ont été intéressantes. La carte n'est pas visible. Je pense qu'il devrait y avoir un type de fenêtre dans l'interface du système où on pourrait visualiser la carte pour savoir où on est rendu. Je pense que cela pourra nous situer plus facilement dès le début du travail sur le système »; « Je l'ai trouvé intéressant aussi pour la facilité d'accès »; « Le système lui-même nous amène à la prochaine activité. Il n'est pas difficile de naviguer »; « C'est une façon pratique et rapide

de manipuler le système. En plus, les fonctions des boutons sont claires et faciles à comprendre »; « Excellent. Facilite la vie des étudiants moins habiles avec les ordinateurs »; « La façon de naviguer nous donne la liberté d'aller à un endroit où on était déjà, d'arrêter, sans tout refaire »; « Le système de contrôle rend facile l'accès aux exercices. Intéressant, mais parfois il ne marche pas⁵ »; « Je pense que le fait de tous les exercices finissent de la même façon (avec le bouton pour la prochaine activité) facilite beaucoup la navigation »; « La navigation est facile même pour ceux qui ne sont pas habitués à naviguer sur l'Internet ou même travailler à l'ordinateur »; « Très bon. À mon avis c'est le meilleur contrôle possible, principalement pour ceux qui ont déjà un contact avec l'Internet »; « Je trouve cela bien parce que si on veut retourner où on était avant, on peut le faire. Donc, on ne reste pas enfermé sans pouvoir sortir »; « Je pense que c'est bon parce qu'on ne se perd pas. Si on a un problème, on a la barre avec les différentes fonctions pour nous aider »; « Très claire, très bonne, très facile vraiment »; « Elle est bonne, car elle facilite beaucoup l'utilisation du système »; « La forme plus utilisée est le « toolbar » comme on dit. C'est la base, ce qu'on a besoin comme référence pour naviguer. On y va directement et on clique. Note 10 pour ça ».

Les experts en technologie éducative ont parlé aussi de la façon de naviguer dans le système. Leurs remarques vont dans le sens de celles formulées par les étudiants :

« J'ai aimé la barre de contrôle, parce que c'était clair pour moi, selon les icônes, et aussi avec le texte qui va avec chaque icône. C'était clair pour moi les fonctions et c'était toujours visuel, disponible pour moi pour sélectionner. J'ai trouvé ça très bien. La carte, pour moi n'était pas toujours assez claire, ne spécifiant pas où j'étais, parce qu'il n'y avait rien pour m'indiquer ce que j'avais fait, ce que je n'avais pas fait. C'était tout avec des numéros, mais pour un étudiant qui ne connaît pas la matière, les numéros 1, 2, 3, n'indiquent pas grand chose ».

« Je trouve que le système de navigation est très bien, il est très clair. La page qui explique la fonction de chaque bouton est partie très vite. Peut-être devrait-il y avoir la possibilité de sortir quand l'étudiant a bien lu ça, selon moi. Il peut y avoir un lien qui explique que les informations vont être en

⁵ La machine de cet étudiant ne fonctionnait pas bien.

haut dans la barre de boutons, et que si on passe la souris sur chacun, l'explication va apparaître dans le champ du message. Il n'est pas évident le petit calepin sur lequel on va aux exercices... sont des icônes personnalisés... Il y a les chiffres et le petit calepin... sont deux façons, je ne sais pas si ça sera vraiment bien démarqué... »

« La barre de contrôle est parfaite car elle suit le modèle de tous les types de tableau de contrôle qu'on voit dans l'Internet. On doit suivre un modèle, quelque chose que l'utilisateur connaît très bien et qu'il pense : ça va être ici et quand je voudrais changer, il sera là. Dans quelques pages écran il faut parcourir l'écran dans le vertical pour voir le bouton « suivant » en bas. Parfois je suis resté quelques temps en attendant que le bouton « suivant » apparaisse jusqu'au moment où je me suis aperçu que je devrais parcourir l'écran pour le chercher. Donc, le bouton « suivant » devrait être placé un peu plus haut. En général il est dans les paramètres, il n'a pas rien de compliqué, rien d'étrange, qui nous laisse en promenant en cercles dans l'écran. Je pense qu'il est direct, bien propre, et cela est très important, la propriété visuelle est très importante. Illustrer ne signifie pas charger d'images, de périphériques et cochonneries qui peuvent déranger ».

Brève conclusion sur cette section

Il semble que d'une façon générale, la navigation dans le système n'est pas compliquée. Comme la structure du système est linéaire, l'étudiant n'a pas besoin de se préoccuper beaucoup de la navigation et à chaque fois qu'il finit un exercice ou une activité, il clique sur le bouton « suivant » pour continuer. La barre de contrôle adaptative facilite la tâche de navigation sans faire en sorte que l'étudiant se sente perdu. Dû à la grande hétérogénéité des usagers du système, il faut peut-être introduire une page accessible en tout temps, en expliquant comment faire la navigation et le contrôle dans le système.

Problèmes et suggestions :- Le système présente quelques problèmes techniques que les étudiants et les technologues ont remarqués. Quelques-uns ont déjà été corrigés, mais d'autres le seront seulement, si nécessaire, après de nouvelles applications du système avec les améliorations déjà introduites. Les suggestions présentées par les étudiants et technologues seront citées dans cette section.

Texte écrit : Les principaux problèmes techniques en rapport avec le texte écrit réfèrent à la lisibilité de ce dernier. Les étudiants remarquent : « En ce qui a trait au contenu, je l'ai trouvé excellent, mais je pense que le texte doit être plus détaché et avec un caractère plus grand. J'ai une excellente vision, mais je pense que quelqu'un avec un petit problème visuel va avoir de la difficulté à lire »; « La partie que j'ai trouvée plus confuse a été celle où apparaissent trois fenêtres à l'écran : on doit les manipuler pour lire le texte et faire l'activité ».

Ce problème de fenêtres revient chez les technologues en éducation : « Ça me semble très précis. Il y a le problème de perte des explications parce qu'elles vont plus bas, mais ça, qu'est-ce que tu veux? ». Une chose qui ne fut pas observée pour les étudiants, mais qui a été remarquée par les technologues, est celle de la centralisation du texte :

« Tout est centré dans l'écran. Si la typographie est un peu plus grosse, il faut aligner à gauche. Il ne faut pas faire des phrases trop longues parce que parfois les gens se trouvent avec une phrase... Et quand il y a un texte, il faudra que les textes ne soient pas trop longs, qu'ils soient assez succincts, assez précis. Parfois les gens sautent une phrase et se perdent... La phrase est tellement longue qu'ils lisent la première ligne, la seconde et ils se trouvent dans la quatrième sans avoir lu la troisième. Ça arrive des fois ».

Le problème des couleurs du caractère et du fond de l'écran a été bien traité par les technologues : « Il y a des problèmes par rapport à la couleur du fond de la page écran et celle des caractères. Ex. : le caractère d'une couleur et le fond en nuance avec elle, soit bleu clair et bleu foncé. Il y a des moments que ça devient inintelligible... »; « Il y a des pages où il y a des espaces vides et des caractères trop petits. Il faut augmenter un peu la grandeur du caractère ».

Organisation de l'écran : Un étudiant a dit, par rapport à l'organisation de l'écran : « La partie que j'ai trouvée plus confuse a été celle où apparaissent trois fenêtres à l'écran qu'on doit manipuler pour lire le texte, faire l'activité... Cette partie je l'ai trouvée confuse, mais les autres non ». Un des technologues a renforcé l'idée que cela n'est pas bon. Il a dit :

« Ce que j'ai aimé peut-être le moins à la fin, est quand il y a beaucoup de fenêtres. Il faut chercher les informations dans une fenêtre supérieure et après répondre dans une fenêtre intermédiaire,... il y a trois fenêtres et pour moi, qui travaille beaucoup sur les ordinateurs, je suis capable de me débrouiller avec ça, mais pour l'étudiant ça peut devenir un problème de compréhension. On lui parle de quelque chose et visuellement il faudrait qu'il se réfère à ça... même à ça ou un peu auparavant où on a des exemples en haut et des questions de Vrai ou Faux qui sont un peu plus basses... on se perd... il faut remonter. Je sais que ce n'est pas très grave, mais à la fin je me suis dit : pour quelqu'un qui n'est pas un expert avec les fenêtres, ça peut devenir un problème».

Les autres technologues ont dit : « Dans quelques pages écran il faut parcourir l'écran à la verticale pour voir le bouton « suivant » en bas. Parfois je suis resté quelques temps en attendant que le bouton « suivant » apparaisse jusqu'au moment où je me suis aperçu que je devais parcourir l'écran pour le chercher. Donc, le bouton « suivant » devrait être placé un peu plus haut »; « Je pense que la conception des écrans comme telle, pourrait être toujours plus raffinée ».

Problèmes divers et suggestions mentionnées dans les entrevues : Les étudiants et les technologues ont donné les suggestions suivantes pour améliorer les textes écrits. Voir tableau 3.5.

	POINTS À AMÉLIORER	À court terme	À moyen terme	Lors de la révision
Typographie	Par rapport aux couleurs, il y en a quelques-unes qui sont un peu tranchées dans la typographie.			
	Maintenir le même type de caractère dans les activités.			
	Avoir la possibilité d'imprimer les pages explicatives pour ceux que n'ont pas toujours accès à un ordinateur.			
	Il y a des petits détails au niveau de la typographie centrée. Je suggère qu'elle soit alignée à gauche.			
	La typographie n'est pas assez grosse. Il faut utiliser meilleur l'espace pour pouvoir mettre la typo un peu plus grande.			
	Utiliser la typo un peu plus grasse et avec un contraste de couleurs par rapport au fond.			

Images et animations	Il y a quelques images trop petites pour bien visualiser. Un exemple est celui de la petite maison avec des personnages qui se voit de différents angles.			
	Améliorer quelques images en perspective, comme celles de l'exercice de trouver l'objet qui passe de trois façons différentes dans les tablettes trouées.			
	Au niveau des images, il y a plusieurs types d'images. Par exemple on va prendre les personnes qui sont autour de la maison. Elles ont une qualité qui est un peu moins bonne que celle de la petite maison avec l'arbre, avec la petite cabane en arrière.			
	J'ai trouvé quelques animations un peu lentes.			
Organisation de l'écran	Changer la façon de présenter l'activité où apparaissent trois fenêtres qui doivent être bougées pour tout voir.			
	L'organisation de quelques page écran ont été un peu confuse à mon avis, comme par exemple celle avec les objets et ses projections.			
	Je pense que la présentation visuelle du programme doit être améliorée. Il faut créer une identité visuelle pour lui, mettre des caractères modèles, les layouts des pages modèles aussi.			
Navigation	La page qui explique la fonction de chaque bouton est partie très vite. Peut-être devrait-il avoir le contrôle pour sortir quand l'étudiant a bien lu ça.			
	Il pourrait y avoir un lien qui explique que les informations vont être en haut dans la barre de boutons, et que si on passe la souris sur chacun, l'explication va apparaître dans le champ du message.			
	Le jeu de cartes est trop long et fatigant. Il faut mettre un petit bouton pour permettre de sortir si on veut.			
	Il n'est pas évident le petit calepin sur lequel on va sur les exercices (petite feuille). Il y a les chiffres et le petit calepin... sont deux façons, je ne sais pas si ce sera vraiment bien démarqué...			
Recommandations	Utiliser des ordinateurs plus performants parce que lorsque il y a un problème à l'ordinateur notre raisonnement est coupé.			
	Que le plus grand nombre d'universités possible adoptent le système, car il est efficace et très utile.			
	Il manque de l'utiliser, de le mettre en pratique et distribuer pour mon école aussi.			

Tableau 3.5. Suggestions pour améliorer le système du point de vue de la technologie éducative.

Équipements : La plupart des participants ont dit que tout leur a plu dans le système. Ce que les étudiants ont moins aimé ce sont les problèmes occasionés par les machines et le serveur (vitesse et puissance). Même si ceci est un problème extérieur à la conception du système, il faut le considérer comme une source potentielle d'embarras pour les utilisateurs. Pour nous il est important de signaler le problème, ce qui pourrait permettre aux utilisateurs de le prévoir et éventuellement de le régler.

Les observations des étudiants qui suivent, montrent bien la raison de leur mécontentement :

« Quand la machine avait un problème, pour moi c'était un supplice »; « Les problèmes avec la machine interrompaient mon raisonnement »; « La seule chose que je peux suggérer est de corriger les petits problèmes. À part de cela, je pense que ça va »; « Je n'ai pas aimé les problèmes de l'ordinateur et je pense qu'il manque une introduction »; « Je n'ai pas testé le professeur virtuel à cause des problèmes d'ordinateur »; « J'ai pris plus de temps pour faire toutes les activités du système à cause des problèmes d'ordinateur »; « Je n'ai pas aimé les petits imprévus avec l'ordinateur »; « Je n'ai pas aimé refaire les exercices tout le temps à cause des problèmes d'ordinateurs ».

Selon le vecteur⁶ qui donne l'intersection entre les problèmes reliés aux équipements et les villes où les mises à essai ont été faites, on peut constater que c'est seulement à Juiz de Fora que les étudiants ont remarqué des problèmes par rapport aux équipements comme il est indiqué dans la figure 3.4. Le nombre de problèmes enregistrés, même s'il est limité à un seul établissement peut être considéré comme assez élevé.

⁶ Dans le logiciel d'analyse qualitative utilisé, c'est-à-dire, le Nudist, le vecteur correspond au croisement d'un concept ou nœud avec les caractéristiques de la population cible par exemple.

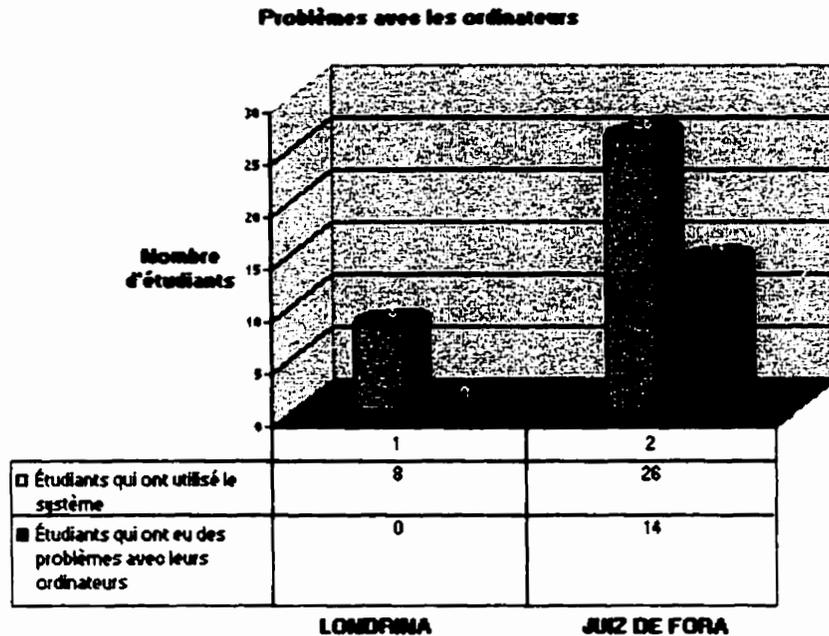


Figure 3.4. Comparaison entre le total d'équipements utilisés et ceux qui ont présenté des problèmes, par ville.

Brève conclusion sur cette section

Dans n'importe quel domaine, il faut que les équipements et que le serveur fonctionnent bien pour que le système puisse offrir à l'étudiant un apprentissage efficace et pas ennuyant. Les étudiants et les experts ont cité des problèmes et ont suggéré quelques solutions. Il faut vraiment régler ces problèmes pour améliorer les modalités d'interaction, entre l'utilisateur et la machine.

3.4.2.4. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects opérationnels.

La mise en pratique des idées utilisées pour concevoir le multimédia a été faite au moyen d'activités et d'exercices. Dans cette partie, nous allons donner les idées qui sont ressorties au sujet de ces activités pendant l'entrevue aussi bien que l'opinion des étudiants et des experts sur l'encadrement et sur comment utiliser le système.

Types d'activités : Parmi les types d'activités qu'il y a dans le système, les plus importantes sont celles de manipulation directe (des images qui bougent), manipulation indirecte (dessiner à partir d'options écrites, qui ajoutent des éléments graphiques à la figure initiale) et sans manipulation (multiple choix ou répondre Vrai ou Faux pour des affirmations).

Manipulation directe : La manipulation directe a été la préférée. Vingt-cinq individus de trente-deux ont choisi cette activité en première place. Ils ont trouvé fantastique de pouvoir bouger les objets 3D avec la souris. Ils observent : « Quand on voit que cela est possible, on est étonné et on pense : comment ça se peut? Comment puis-je prendre ce solide et observer toutes les faces, les arêtes, les sommets de différents angles? »; « J'ai bien aimé bouger les figures, car cela rend bien facile la visualisation »; « On a envie de bouger les images »; « C'est comme prendre l'objet dans la main »; « On peut bien visualiser »; « Ce sont les plus motivantes, car elles facilitent la compréhension »; « On apprend mieux et plus vite »; « Je pense que de cette façon on peut voir, manipuler les formes, voir de différentes positions ». Un des professeurs de géométrie descriptive remarque :

« La manipulation directe est excellente. Dans une fraction de seconde elle explique ce que le professeur peut prendre plusieurs minutes pour dessiner au tableau s'il est très bon pour le faire avec la craie ou bien dans la préparation de son matériel didactique. Combien de temps il dépense pour préparer un dessin ou quelque chose qui va faciliter la compréhension de l'étudiant ? La manipulation, la question du mouvement, de pouvoir utiliser non l'image statique pour apprendre, mais plutôt les objets en mouvement, c'est ça qui a toujours manqué dans l'apprentissage de la géométrie descriptive. Donc, je trouve la manipulation directe très intéressante ».

Un des technologues en éducation a dit « J'ai aimé la manipulation directe. C'est plus direct... Comme tâche c'est plus agréable. J'ai moins à réfléchir. Pour moi c'est une tâche plus agréable, d'être capable de manipuler directement sur un objet. C'est comme si je pouvais le prendre dans ma main. On a l'impression qu'il est concret et de plus on oublie qu'on est devant un ordinateur. C'est plus agréable ».

Manipulation indirecte : Il est intéressant de noter que les activités de manipulation indirecte ont généré des controverses. Un étudiant d'architecture a trouvé que la manipulation indirecte était confuse, tandis qu'un autre a trouvé qu'elle sera bonne pour les néophytes. Un étudiant de génie civil suggère qu'elle est une bonne méthode pour ceux qui ont déjà un peu de connaissance; l'étudiant de mathématique, qui a éprouvé beaucoup de difficulté à faire une épure, a bien aimé ce type d'activité. D'autres étudiants ont donné leurs avis : « Cette méthode rend facile la réalisation des exercices d'épure, car si on a les options, on peut suivre une séquence logique et faire le dessin »; « J'ai bien aimé ça parce qu'avant je ne savais pas faire une épure et quand j'ai réussi à construire, j'ai bien aimé, j'ai fait du nouveau ».

Même les experts en géométrie descriptive avaient des idées opposées par rapport à la manipulation indirecte. Ceux qui ont aimé moins ce type d'activité expliquent que « La manipulation indirecte présuppose un apprentissage antérieur. L'étudiant a un «pool» d'options et s'il n'est pas passé par une situation semblable graphiquement, s'il n'était pas guidé, je ne dis pas qu'il ne va pas réussir à le faire, mais il va prendre beaucoup de temps pour la comprendre, même s'il a l'aide d'un professeur. Ce type d'activité j'ai trouvé difficile »; « Je suis un peu moins sympathique à cette approche-là, parce que, insérer des erreurs (parce que parmi les options il y en a quelques-unes qui sont fausses), provoquer les gens à faire des erreurs, d'une façon implicite, peut être questionné comme technique ». Par contre, un autre expert en géométrie descriptive démontre une préférence pour ce type d'activité : « J'ai trouvé tout le système intéressant, mais ce qui m'a le plus touché ont été les activités de manipulation indirecte, où il y a une liste de procédures, un chemin pour construire l'épure d'un prisme droit, d'un triangle. Ça j'ai trouvé excellent ».

Il reste à savoir comment ont réagi les étudiants qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive. Ils disent « J'ai préféré la manipulation directe, mais la manipulation indirecte a été bonne aussi »; « Quand je me suis aperçu, j'utilisais déjà la manipulation indirecte, celle des phrases. C'est là que j'ai vu que j'étais capable de dessiner des parallèles... après choisir une phrase avec la procédure. J'ai plus aimé cette activité »; « La plus motivante a été celle de construire l'épure, parce qu'avant je ne savais pas qu'est-ce qu'était une épure ».

et j'ai bien aimé quand j'ai réussi à visualiser ». Il semble que la manipulation indirecte, bien qu'elle soit plus difficile à comprendre par les étudiants que la manipulation directe, retient leur attention, peut-être parce qu'elle représente plus de défi et que la réussite est considérée comme quelque chose d'important.

Sans manipulation : Les activités sans manipulations, pour choisir si l'affirmation était Vraie ou Fausse ont été considérées les moins motivantes. Un étudiant explique son opinion : « Les activités sans manipulation j'ai trouvé très... je n'ai sais pas quoi dire... on ne fait pas d'interaction avec le système, on devient paresseux ».

Préférence par rapport aux types d'activités : Trois différentes combinaisons sont apparues pour l'ordre de préférence des activités de manipulation directe (MD), manipulation indirecte (MI) et sans manipulation (SM). En ajoutant les chiffres 1, 2 et 3 après les sigles, cela veut dire l'ordre qu'elles ont été choisies. (Ex : MD1 ça veut dire qu'il a choisi la manipulation directe en premier). La figure 3.5 montre les préférences pour les activités.

23 individus ont choisi : MD1 – MI2 – SM3

7 individus ont choisi : MI1 – MD2 – SM3

2 individus ont choisi : MD1 - SM2 – MI3

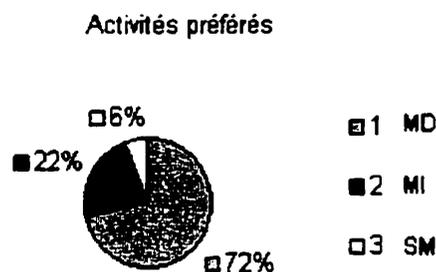


Figure 3.5. Activités préférés selon les étudiants et les experts.

Parmi les 25 individus qui ont choisi la manipulation directe en premier, seulement deux ont choisi les activités sans manipulation en deuxième. Cela peut être un indicatif que la

manipulation directe des objets géométriques facilite davantage la visualisation spatiale, le principal problème des étudiants pour comprendre la géométrie descriptive. Quand ils manipulent les objets virtuels, ils montrent qu'ils n'ont pas eu des expériences concrètes de manipulation dans la période des opérations concrètes, ce qui rend difficile actuellement la visualisation spatiale. Parmi les sept individus qui ont préféré la manipulation indirecte en premier lieu, six ont passé par module 1, celui qui prépare les individus pour avoir une bonne perception visuelle. Trois de ces individus n'ont jamais étudié la géométrie descriptive auparavant. Ce fait suggère qu'avec une bonne perception visuelle il est plus facile de bien comprendre la manipulation indirecte qui exige une plus grande abstraction que la manipulation directe.

Le fait que seulement deux individus, parmi 32, avaient choisi les activités sans manipulation en deuxième lieu, activités considérées par la plupart des étudiants comme plus ennuyantes que les autres, peut suggérer simplement une question de goût ou bien une absence de volonté à mettre beaucoup d'effort dans la résolution de la question qui requiert une certaine abstraction et l'établissement des relations entre les procédures pour construire l'épure.

Brève conclusion de cette section

Les étudiants optent pour un enseignement de la géométrie descriptive inspiré du constructivisme, car la manipulation directe, préférée par la majorité des étudiants, est celle qui donne plus la sensation de « faire » quelque chose pour apprendre. Cependant, l'interaction entre les trois types d'activités semble indispensable.

Encadrement : Une des fonctionnalités du système est la possibilité de demander l'aide d'un professeur de façon synchrone (à travers le « chatting ») ou asynchrone (à travers le courriel ou l'échange des messages), en plus de la possibilité de communication audio jusqu'à la visioconférence où les partenaires communiquent par audio et vidéo. L'observation et le contrôle de l'interface de l'étudiant à partir d'une machine à distance

sont aussi possibles. Malheureusement cette façon de faire l'encadrement n'était pas complètement disponible au moment de la mise à l'essai au Brésil; quelques systèmes qui rendent possibles ces opérations n'étaient pas disponibles dans les machines utilisées par les étudiants. Dans le cas où tout a fonctionné correctement la plupart des étudiants n'ont pas demandé l'aide du professeur en ligne pour plusieurs raisons présentées dans ce qui suit.

Quelques étudiants qui n'ont pas demandé l'aide du professeur en ligne ont justifié cela en disant qu'ils ne connaissaient pas de cette possibilité, peut-être parce qu'ils n'ont pas lu les informations sur la fonction des icônes. Quelques-uns ne l'ont pas utilisé parce qu'il y avait un professeur à leur côté : « Quand j'avais un doute je trouvais plus facile vous demander personnellement ». C'est vrai, parce que les machines avaient tellement de problèmes qu'il était toujours nécessaire qu'un de nous reste dans la salle pour les régler. Un étudiant explique : « C'est une bonne idée, mais on n'a pas réussi à l'utiliser à cause des problèmes de l'ordinateur et du serveur ». Quelques étudiants justifient le fait de ne pas l'avoir utilisé : « Je ne l'ai pas utilisé parce que le système a offert les données et les sources nécessaires pour résoudre les exercices »; « Je n'ai pas posé des questions parce que je n'avais pas de doutes. Il n'y avait pas de raison pour l'utiliser »; « Je ne l'ai pas utilisé, mais je pense que c'est merveilleux de pouvoir demander de l'aide quand on a un doute »; « J'ai trouvé intéressante la possibilité mais je ne l'ai pas utilisée parce que je n'ai pas éprouvé de grandes difficultés. La plupart de mes erreurs ont été causées par le manque d'attention plus que par ignorance de quelque chose »; « C'était le petit bonhomme? Je n'ai pas cliqué sur lui parce que la seule fois que j'ai eu un doute, je t'ai appelée, et toi aussi, tu étais un professeur. C'était la même chose. Je n'en ai pas eu besoin. Si j'avais eu besoin, j'aurais cliqué partout parce que je suis curieuse »; « Ça dépend un peu de l'étudiant, parce que parfois si on essaie une fois de plus l'exercice, on découvre sa propre erreur. Si on demande toujours une explication, je ne sais pas si ça serait toujours bon. Je pense que ça dépend de l'étudiant. Il y en a quelques-uns qui aiment se casser la tête ». Ce qui vient d'être présenté, montre la nécessité de bien exposer le système aux élèves avec toutes ces fonctions avant de commencer à l'utiliser. C'est sûr que dans certains cas, il manque des connaissances fondamentales au niveau de l'informatique.

Les étudiants qui ont demandé l'aide du professeur en ligne remarquent « J'ai demandé de l'aide et j'ai trouvé que la réponse a dissipé mon doute »; « Je l'ai utilisée et je suis d'accord. Très bonne cette possibilité de demander de l'aide ».

En tout cas, même ceux qui n'ont pas demandé de l'aide pensent que « Si j'étais à la maison ou quelque chose du genre, ça serait excellent, car si on a un doute et qu'on n'a pas le professeur à côté, on peut demander l'aide par l'Internet et on l'éclaire. Ça devient facile »; « Excellent, ce n'est pas toujours que nous avons un professeur à notre côté pour nous orienter. Avec le système on devient indépendant pour travailler aussi en dehors de la classe »; « Il est impossible d'avoir tout dans un système. Chaque personne a un doute différent. Cette intégration entre l'étudiant et le professeur est bien importante, elle est nécessaire pour que l'étudiant ne se sente pas seul »; « C'est bon, car on ne reste pas longtemps à se casser la tête. Si l'on a une doute et qu'on n'a pas un matériel à lire pour enlever le doute, c'est plus facile d'appeler le professeur. J'ai trouvé intéressant et nécessaire, car ça permet à l'utilisateur du système un accompagnement optionnel dans la résolution des exercices »; « Intéressant, parce que les doutes d'interprétation sont fréquents »; « C'est une possibilité innovatrice ».

Un des experts en technologie éducative voit les avantages de la possibilité de demander de l'aide : « Je pense que c'est idéal, parce que si on est devant un système informatique tout seul, et si on a un problème, qu'est-ce qu'on fait? C'est très bien avoir accès à un professeur pour compléter l'apprentissage, pour des questions, c'est très bien, j'ai aimé ça ».

L'opinion des experts en géométrie descriptive montre d'un côté, ce que serait l'idéal et de l'autre côté, les difficultés pratiques que l'implantation d'une intervention par un professeur en ligne peuvent poser. Un des experts trouve l'idée formidable et observe que nous ne sommes pas encore habitués à l'éducation à distance et aux possibilités qu'elle nous offre. Il trouve intéressant l'idée que l'étudiant puisse dissiper un doute en demandant l'intervention d'un professeur. Il rappelle qu'il y a certains étudiants qui n'ont pas de

courage de lever la main pour poser des questions et qui attendent toujours que quelqu'un le fasse : « S'il ne lève pas la main parce qu'il est gêné, le professeur ne sait pas qu'il a un doute; l'étudiant reste avec le doute et ça pourra l'empêcher de suivre son apprentissage. S'il peut envoyer un message au professeur en demandant quelque chose, personne dans la classe ne va savoir qu'il avait un doute et il pourra dissiper ». D'un autre côté, un des experts en géométrie descriptive soutient que c'est une question de disponibilité : « Peut-être qu'avoir en temps réel un contact avec un prof c'est trop demander, dans notre contexte Nord américain, ça veut dire que j'ai 140 étudiants dans ma classe. Si 140 étudiants me demandent 140 questions en même temps, je pense que je suis un peu misérable. Je devrais avoir un message, il entre dans ma boîte, je peux l'ouvrir et je peux répondre. Répondre en temps réel ça veut dire ... ça c'est questionable, parce que je n'aurais pas de disponibilité ».

Il est intéressant de noter l'importance que quelques étudiants accordent au professeur comme médiateur de l'apprentissage mais il est encore plus intéressant de voir qu'ils ne considèrent pas le professeur virtuel comme quelqu'un qui existe vraiment; ils parlent beaucoup de la « présence d'un professeur ». Ils disent : « Utiliser le système pendant le cours, pour que l'étudiant puisse apprendre avec un professeur à son côté »; « Je pense qu'il faut avoir un professeur pour donner l'orientation, avant ou après utiliser le système, mais je pense qu'il est nécessaire »; « Utiliser le système pendant le cours, car si l'étudiant a un doute, le professeur peut l'aider »; « Mais le système ne doit pas se remplacer totalement à la présence du professeur »; « Oui, le système peut faciliter l'apprentissage de la géométrie descriptive, mais ne doit pas substituer l'explication du professeur. Il doit être utilisé pendant le cours, parce qu'il ne peut pas dissiper tous les doutes. Je pense que la présence d'un professeur est encore indispensable ».

Brève conclusion de cette section

Le système tel qu'il a été conçu permet l'assistance et l'interaction avec les étudiants, mais probablement dû aux limitations de l'informatique, il devient plus nécessaire de compter sur la participation effective d'un professeur dans le processus d'apprentissage. Parfois, le

problème peut avoir une relation avec la matière en soi et d'autres fois être de nature informatique; la possibilité de le résoudre pourrait sécuriser l'étudiant. Du côté du professeur, cela peut représenter une surcharge notable de travail, dépendant de la quantité d'étudiants qu'il a ou de sa disponibilité.

Intégration pédagogique : En fonction des différentes façons de penser par rapport à l'encadrement, les étudiants et les experts ont suggéré le meilleur moment pour utiliser le système ou faire son intégration pédagogique.

Utiliser le système avant le cours régulier. Les étudiants qui ont suggéré que le système doive être utilisé avant le cours régulier, expliquent que cela peut enlever la sensation de difficulté de la discipline et aussi peut faciliter la visualisation et même l'apprentissage dans le cours régulier. Ils proposent d'utiliser le système pour donner un bref aperçu, puis une meilleure visualisation pour ensuite compléter l'explication dans la classe. Ils justifient leurs opinions de la façon suivante: « Utiliser préalablement, parce que c'est un langage clair, facile. Si on commence par une explication compliquée, pour ceux qui ne savent pas encore comment faire, qu'est-ce qui va arriver ? »; « Avant parce que le système est bon pour éveiller la curiosité de l'étudiant par rapport à la géométrie descriptive, enseigner à travers la pratique d'exercices, enlever les doutes pendant la réalisation des activités et exercices mais il ne doit pas se substituer totalement à la présence d'un professeur »; « Moi, qui n'avais jamais étudié la géométrie descriptive, je pense qu'avant le cours cela fonctionne très bien, car si on a un problème, le professeur peut nous orienter après ». On doit remarquer ici que dans la plupart des cas, quand les étudiants parlent d'un professeur, ils pensent à un professeur présent dans la classe.

Un des experts en technologie éducative a témoigné :

« Moi, je mettrais le système avant parce qu'avec très peu de connaissance en ça, j'étais capable de réussir. Alors moi, si je peux, ceux qui sont intéressés doivent être capables. La façon par laquelle sont présentés les exercices, comme un défi, ce n'est plus un défi sauf si je n'ai pas de connaissance. Comme ça, si je n'ai aucune connaissance de la discipline, je suis obligé de réfléchir et il devient plus facile de me rappeler après. Mais ça peut être

appliqué après aussi. Ma préférence, c'est cependant de l'utiliser au début, parce que je ne connais pas encore la matière. Si je la connais, cela devient plus une répétition de ce que j'ai vu dans la classe; c'est moins intéressant pour moi ».

Un des experts en géométrie descriptive suggère que le système devrait être à la disposition des étudiants quelques mois avant le cours de géométrie descriptive et que ce devrait être le choix de l'étudiant de se préparer avant le début du cours et de continuer les exercices pendant le cours.

Pendant les cours réguliers : L'idée d'un professeur présent dans la classe continue ici. Il semble que l'idée d'un professeur virtuel n'a pas encore été assimilée. Le contact humain est encore très important pour les étudiants : « Je pense que la présence d'un professeur est encore indispensable ». Ils trouvent que c'est mieux d'utiliser le système pendant un cours régulier « pour que l'étudiant puisse apprendre en ayant le professeur à proximité »; « Avec le professeur pour enlever les doutes pendant que les étudiants travaillent sur le système »; « Car, en plus du propre système et du professeur virtuel, l'étudiant pourra avoir un « vrai » professeur à son côté »; « Comme une aide pratique ». Un des étudiants rappelle que « À partir du module 3, ce serait préférable d'être utilisé en classe, parce qu'un néophyte pourra avoir beaucoup de doutes ». Le module 3 est celui où on commence à travailler le vocabulaire spécifique de la géométrie descriptive (vraie grandeur, ligne de terre, ligne d'appel, etc) et les concepts plus importants de la discipline (épure, rabattement, etc.). L'idée initiale était vraiment d'utiliser le système comme une sorte d'aide dans un cours régulier comme le suggère un étudiant « Cela pourra beaucoup faciliter. Le professeur explique quelque chose et dit : maintenant on va voir une animation ou quelque chose du genre ». L'intervention d'un professeur « online » a surgi en cours de route quand le travail collaboratif avec Pavel (1999) a commencé.

Après le cours : Les étudiants qui ont proposé que le système doive être utilisé après le cours expliquent qu'il peut servir pour compléter les notions données en classe, qu'il fonctionne comme un complément de l'enseignement régulier, comme un dernier contact pour vérifier que les étudiants ont bien appris. Ils pensent que « Premièrement l'étudiant

doit avoir quelques bases théoriques avant d'aller devant l'ordinateur, pour qu'il puisse avoir plus de facilité à manipuler le système» ou bien parce que « Comme ça on peut appliquer ce qu'on a appris avec l'ordinateur ». L'idée de la présence d'un professeur reste forte « Je pense que le professeur doit premièrement expliquer, cela ne doit pas changer, mais le système utilisé en dehors de la classe peut aider beaucoup »; « Après le cours parce que je trouve qu'il est encore nécessaire d'avoir le professeur pour guider l'étudiant ».

Seulement le système : Il y a eu quelques étudiants qui pensent qu'en respectant certaines conditions, le système pourrait être utilisé comme la seule source d'apprentissage : « Dans le cas où le professeur virtuel fonctionne bien et qu'il existe la possibilité de demander de l'aide via Internet, on pourrait utiliser seulement le système »; « Si quelques énoncés étaient améliorés, je pense qu'il n'y aurait pas besoin d'un professeur à côté de l'étudiant. Je pense que le système est autosuffisant ». Un étudiant qui n'avait jamais étudié la géométrie descriptive avant suggère: « Utiliser seulement le système parce qu'il est bien programmé et les explications sont très bonnes ». Cet étudiant a eu un bon résultat dans le post-test, donc il a vraiment appris avec le système. Un autre étudiant est allé plus loin en disant : « ...je pense que dans le futur, la tendance sera seulement l'ordinateur» comme en faisant une prévision du futur de l'éducation en général.

Tout le cycle : Quelques étudiants pensent que le système pourra être utilisé pendant tout le cycle : « Avant le cours, il peut aider l'étudiant à bien visualiser ce qu'il doit dessiner. Pendant le cours, il pourra être utilisé comme un auxiliaire du professeur et après le cours, comme un renforcement du sujet étudié. Si l'étudiant a un ordinateur chez lui, il peut l'utiliser quand il veut »; « Il pourra être utilisé pendant tout le cycle, mais principalement comme un premier contact et comme dernier contact pour vérifier si on a vraiment bien appris. On peut passer par le système plusieurs fois sans s'ennuyer ».

Les professeurs donnent leurs avis : « Si j'avais déjà accès au système, je ne spécifierais pas à quel moment il devrait être utilisé. Si les étudiants avaient l'accès à l'Internet et si le système était tout prêt, je pense qu'il serait le thème du premier cours. Il serait divulgué même à titre de curiosité. Il pourrait servir à réveiller l'intérêt, à renforcer les concepts

pendant l'apprentissage et à fixer les connaissances après l'apprentissage » et « En tous les cas ça vaut la peine, car chaque cas est un cas et chaque étudiant a un potentiel différent ».

Brève conclusion de cette section

Comme nous l'avons vu, les opinions sur l'intégration pédagogique du système GDVisu@l varient beaucoup et elles montrent que celui-là peut être utilisé à des moments différents. L'utilisation du système dans un établissement où les étudiants n'ont pas de maturité ou de familiarité avec l'informatique ou avec d'autres systèmes multimédia devrait être tout au long d'un cours régulier de géométrie descriptive car ça pourrait permettre aux étudiants d'améliorer leurs capacités de perception et de visualisation, augmentant ainsi l'efficacité de l'apprentissage dans ces cours. Dans une étape suivante, après que l'idée du changement ait été acceptée, l'utilisation du système tout seul serait plus facile et efficace. Il faut que le concept d'enseignement à distance soit intégré par l'étudiant pour qu'il puisse mieux accepter le professeur virtuel comme un vrai professeur.

Problèmes vécus : Par rapport aux aspects opérationnels un des problèmes est que nous n'avons vraiment pas testé la demande d'aide au professeur à distance, soit parce que les étudiants l'ignoraient, soit parce que le système ne donnait pas cette possibilité quand l'étudiant en avait besoin ou soit parce qu'il n'a pas eu besoin de demander quelque chose au professeur pendant l'utilisation du système.

3.4.2.5. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : Aspects affectifs

Par aspects affectifs, nous entendons ici motivation, satisfaction et intérêt des étudiants et des experts par rapport au système.

Motivation : Les étudiants se sont prononcés sur les activités ou sur certains aspects qu'ils ont trouvé plus ou moins motivants.

Activités moins motivantes. Plusieurs étudiants ont dit que c'était moins motivant de travailler sur une activité d'un sujet déjà connu. Si nous retenons cette information il peut sembler que pour les étudiants qui connaissent déjà la géométrie descriptive le système n'était pas motivant, mais ce n'est pas ça que nous observons dans leurs commentaires.

La partie théorique a aussi été citée comme moins motivante, mais on ne peut pas l'éliminer dans un système comme celui-ci. Parmi les différents types d'activités, celles qui ont été qualifiées de moins motivantes ont été les questions pour répondre à choix multiples, les questions sans manipulation, les questions qui présentaient des alternatives, et celles qui n'avaient pas d'images graphiques ou d'animations. Un étudiant a cité une activité sur les solides où il fallait bouger mentalement la figure pour trouver deux figures semblables (test pour le niveau 3 de Van Hiele, présenté par la figure 2.35). Cette question était l'une des plus difficiles et je pense que la difficulté, quand elle est grande, provoque une démotivation.

Plusieurs étudiants ont dit qu'il était démotivant d'éprouver des problèmes avec les machines et la basse vitesse des ordinateurs. Même si cela n'est pas un problème du système en soi, il faut considérer que pour que les étudiants se sentent motivés à travailler, tout doit bien marcher.

Activités plus motivantes. Quelques étudiants ont dit que toutes les activités ont été motivantes et que chacune avait une motivation différente. Les activités citées comme plus motivantes pour la plupart des étudiants ont été celles où ils pouvaient voir les exercices, visualiser les épures (5); celles avec manipulation directe (4); celles avec des figures en perspective et projections (4); les solides qu'ils pouvaient manipuler (3); celles avec manipulation indirecte (3); les animations (2);

Plusieurs caractéristiques ont été citées une fois : Les exercices d'évaluation; les graphiques; le jeu de cartes; les vidéos; le défi qui existe dans chaque activité; le sens ludique des activités et exercices; les exercices de perception visuelle; les animations ou explications qui apparaissent lorsqu'on fait une erreur; la notion de mouvement (voir de

différents points de vue); l'exercice des bouteilles (exercice 1 du module 1), celui des objets semblables (de la partie de perception spatiale).

Je trouve intéressant d'examiner quelques opinions directes des étudiants sur les raisons des motivations dans certains cas : « C'est motivant quand on n'a pas beaucoup d'erreurs et on voit la petite lumière verte »; « Les activités plus motivantes ont été celles de construire l'épure. J'ai bien aimé parce que je ne savais pas faire et quand j'ai réussi, j'ai été content et j'ai fait les exercices à nouveau »; « Celles de visualisation, où on a la sensation de mouvement, qu'on voit les objets de différents points de vue »; « Sans doute la plus motivante a été la question de travailler le jeu apprendre/pratiquer, réussir/continuer, échouer/rester... C'est bien ça. Il est stimulant, c'est un défi. On doit travailler avec le défi parce que cela qui est devant un ordinateur aime le défi. C'est pour ça que les jeux à l'ordinateur sont dans leur apogée ».

Un des technologues en éducation a dit que les activités les plus motivantes pour lui ont été les exercices avec les points de vue, soit une caméra, soit le phare : « J'ai bien aimé ça parce qu'il sort de quelque chose de très lié à la vie quotidienne ».

Satisfaction : Les étudiants se sont exprimés sur les activités qu'ils ont plus ou moins aimées.

Activités moins aimées : Huit individus sur 34 ont dit qu'il n'y avait rien qu'ils n'ont pas vraiment aimé. Les choses citées comme moins aimées ont été, dans cet ordre : le temps d'attente à cause de la vitesse des machines ; les problèmes techniques avec le serveur et les machines; les exercices sur la localisation d'un point dans l'espace ; la manque de lisibilité de quelques pages écran ; quelques énoncés incomplets ; la clarté de quelques questions; trop de choses à lire; beaucoup d'information dans un même cadre, manque de définition de quelques termes (ex : VG), imprécision de quelques images en perspective, jeu des plans (fatigant et répétitif), de mémoriser des noms (termes spécifiques de la géométrie descriptive).

Activités plus aimées : La liste des aspects et des activités que les étudiants ont le plus aimés est longue et reflète bien les différences individuelles d'un groupe assez hétérogène comme celui qui a participé à cette étude. Un grand nombre d'étudiants a parlé sur la facilité de visualisation comme étant ce qu'ils ont plus aimé dans le système. Je trouve intéressant de citer toutes les opinions sur cela, car l'objectif majeur du système est de faciliter la visualisation et, en conséquence, de faciliter l'apprentissage de la géométrie descriptive. Les étudiants ont dit :

« Les choses que j'ai plus aimées ont été : la présentation, le contenu et la **facilité de visualisation** »; « J'ai plus aimé la façon de **pouvoir voir**, manipuler les formes, les **voir** à différentes positions. Parfois si quelqu'un nous parle des formes, on ne réussit pas à **visualiser** correctement »; « J'ai plus aimé la **facilité de visualiser** car, dans un livre ou même au tableau noir c'est parfois difficile. Dépendant de la façon d'expliquer du professeur, on ne comprend pas. Le système nous montre, nous pouvons bouger l'image, nous pouvons **voir** »; « J'ai aimé les animations qui nous aident à mieux **visualiser** la troisième dimension, qu'on ne peut pas toujours visualiser au dessin normal. Quand on voit une animation, on **voit** à l'écran la troisième dimension »; « J'ai aimé les illustrations et les animations, car elles **facilitent la visualisation** »; « J'ai plus aimé la **facilité de visualisation**, car j'ai pu me souvenir des choses que j'avais déjà apprises et j'ai pu mieux les comprendre. Tout a été bien clair pour moi »; « J'ai aimé les activités sur les plans, **voir** les épures des plans »; « Ce que j'ai plus aimé c'était la **facilité de visualisation** des plans dans les exercices de projection ».

Ensuite, on présente les autres caractéristiques appréciées par les étudiants; elles concernent la façon générale avec laquelle le système a été conçu et quelques aspects particuliers (projections, manipulation directe, manipulation indirecte, traitement des erreurs, jeu, vitesse d'apprentissage) :

« J'ai tout aimé : la façon qu'il a été conçu, les animations, la façon interactive, les éloges quand on réussit un exercice, ces petites choses »; « J'ai aimé tout le développement des exercices. J'ai tout aimé : les graphiques, les dessins ont été très bons, la possibilité de

manipuler les figures... »; « J'ai plus aimé la partie ludique du système »; « Des exercices de projections en général. J'ai plus aimé le module trois, avec les projections des figures, des triangles »; « J'ai plus aimé voir les projections des prismes et des pyramides »; « De l'importance donnée aux relations entre les points, les droites et les plans plutôt qu'aux valeurs, aux mesures, aux chiffres. Pour un néophyte c'est bien intéressant »; « Ce que j'ai plus aimé a été bouger, manipuler les images »; « J'ai bien aimé bouger les objets 3D. J'ai trouvé cela génial »; « J'ai plus aimé construire les épures avec les options, en découvrant comment les faire »; « J'ai trouvé toutes les parties intéressantes, mais celle qui m'a le plus touché a été celle où on avait une liste d'options, un chemin à suivre pour faire l'épure d'un triangle, d'un prisme droit. J'ai trouvé cela excellent »; « J'ai bien aimé le petit jeu de patience où on apprend en jouant. J'ai aimé aussi dessiner les épures en choisissant les options »; « J'ai trouvé le jeu de cartes très intéressant car d'une façon ou d'autre, on apprend les caractéristiques des plans »; « J'ai bien aimé avoir un feed-back immédiat quand j'ai fait une erreur. J'ai pu voir tout de suite quelle était mon erreur »; « Vraiment ce que j'ai plus aimé dans le système d'enseignement a été la vitesse d'apprendre (et moi je suis une preuve de cela) permise par l'interactivité »; « De l'interface, parce qu'est de facile compréhension et auto explicative »; « J'ai aimé les images des plans animés, les couleurs, la vidéo sur les ombres »; « J'ai plus aimé la partie graphique. Je pense que c'est parce que je suis le cours de dessin industriel »; « J'ai aimé justement le fait du système de relier la connaissance au visuel, à la pratique; l'acquisition de la connaissance et ensuite avoir l'opportunité de pratiquer. Cette relation est bien travaillée. J'ai bien aimé le dernier module où on joue, on simule un jeu de patience avec les cartes. Là on voit qu'on a vraiment appris».

Intérêt : L'intérêt des étudiants et experts par rapport au système peut être mesuré de plusieurs façons. On doit dire que, en principe, tous les étudiants ont eu un intérêt intrinsèque car tous ont été des volontaires pour faire la mise à essai. Quelques-uns ont été attirés par la curiosité d'essayer un multimédia sur la géométrie descriptive, d'autres par la curiosité de connaître quelque chose sur une discipline qui avait très mauvaise réputation selon leurs collègues. Parmi ceux qui n'avaient pas encore étudié la géométrie descriptive, il y avait ceux qui n'avaient pas non plus l'obligation de l'étudier. Plusieurs étudiants

étaient dans la semaine d'examens finals de leurs cours et même comme ça, ils ont testé le système jusqu'à la fin et ont passé l'entrevue après cela. Une étudiante a dit pendant l'entrevue : « Je ne suis pas restée plus de temps hier parce que je devrais étudier pour un examen, mais je voulais toujours voir ce qui venait après et ce qui venait après... » Un autre étudiant s'est offert pour tester les prochains multimédia que nous produirons. Un troisième a démontré son intérêt en expliquant : « Je devais rester deux heures et je suis resté trois heures. Aujourd'hui c'est samedi, je me suis levé tôt le matin, j'ai raté l'autobus, mais je suis là... » Cet étudiant était élève du cours de Dessin industriel, un programme où la géométrie descriptive n'est pas un cours obligatoire. Dans un sens plus large une étudiante a démontré son intérêt en disant : « L'enseignement assisté par ordinateur nous apporte toujours un plus grand intérêt et un plus grand contrôle aussi ». Un des technologues a dit que son intérêt par le système était grand, même si le sujet n'était pas intéressant pour lui, le système en soi était pour lui très intéressant.

Brève conclusion de cette session

Les sentiments des étudiants et experts qui ont évalué le système (leur intérêt, satisfaction et motivation) sont représentés à la figure 3.6. Ils ont donné une note de 1 à 5 pour chaque item, 5 représentant la plus haute cote.

En considérant le grade moyen comme étant 2,5 on s'aperçoit que la totalité des participants ont été contents avec le système, tout en remarquant que 82,4 % se sont placés comme très motivés, 67,6 % comme satisfaits et 73,5% comme très intéressés.

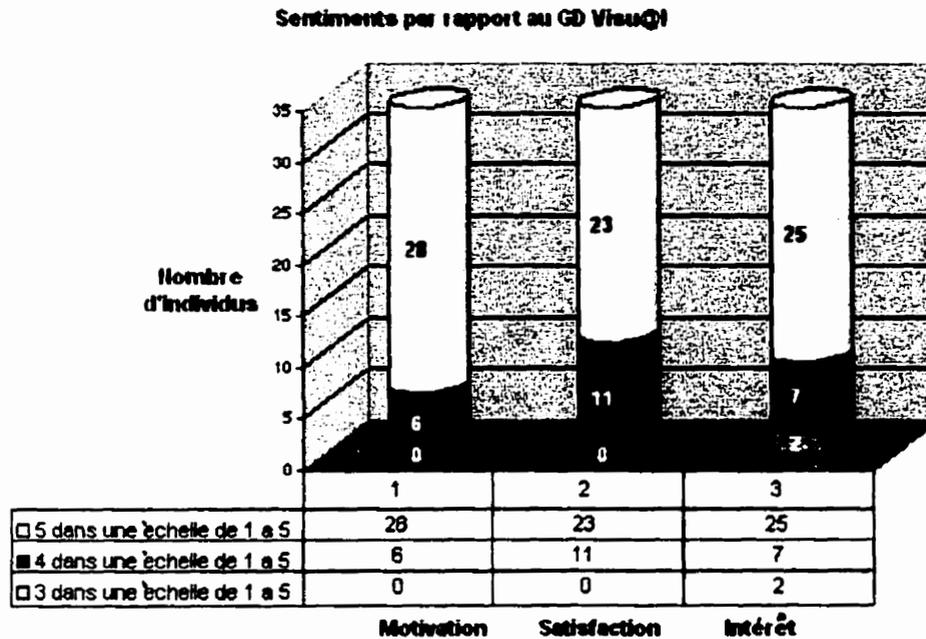


Figure 3.6. Sentiments par rapport au système

3.4.2.6. L'enseignement multimédia de la géométrie descriptive : aspects particuliers à chaque groupe.

Dans cette section, nous allons analyser les groupes séparément en faisant des observations sur leurs niveaux de pensée géométrique selon Van Hiele. Nous allons faire des commentaires plus détaillés en regardant quelques étudiants particuliers.

Étudiants en architecture et en génie civil : Il y avait deux étudiants en génie civil et treize en architecture, dont un étudiant en architecture qui était néophyte relativement à la géométrie descriptive. Dans les tests initiaux, pour vérifier le niveau de pensée géométrique selon Van Hiele, parmi les treize étudiants en architecture, huit ont atteint le niveau 4 (le plus élevé mesuré), un a atteint le niveau 3 et deux ont atteint le niveau 2. Les deux étudiants en génie civil ont atteint le niveau 3.

D'une façon générale, ces deux groupes ont un profil semblable soit dans les résultats du pré-test et du post-test, soit dans les réponses données lors de l'entrevue. Les cours en

génie et en architecture exigent de la part des étudiants des habiletés communes, par exemple : la visualisation spatiale des objets représentés en projection et la capacité de représentation des objets 3D à travers les projections. À cause du plus grand nombre d'étudiants en architecture, les réponses données par ce groupe sont plus variées que celles données par les étudiants en génie civil mais ce sont, en général, des variations sur le même sujet. Cependant, il est intéressant de noter que les activités de manipulation indirecte ont généré des controverses. Un étudiant en architecture a dit que la manipulation indirecte lui semblait confuse, alors qu'un autre disait qu'elle serait bonne pour les néophytes. Un étudiant en génie civil a contredit cette opinion en disant que la manipulation indirecte est une bonne méthode pour ceux qui ont déjà un peu de connaissances. Les étudiants néophytes et ceux en difficulté d'apprentissage relativement à la géométrie descriptive ont répondu à ces deux opinions controversées. Voyons ce que chacun d'entre eux a dit :

Étudiants en architecture : « Je l'ai trouvé un peu confuse [la manipulation indirecte] » ;
« Intéressante, bonne pour les néophytes ».

Étudiants en génie civil : « Facilite les exercices d'épure, car si on a les options on peut suivre une séquence logique et faire le dessin » ; « Bonne méthode pour ceux qui ont déjà un peu de connaissance sur le sujet ».

Étudiant en mathématique avec difficulté pour apprendre la géométrie descriptive : « J'ai bien aimé parce qu'avant je ne savais pas faire une épure et quand j'ai réussi à en construire une, j'ai bien aimé, et j'ai recommencé ».

Étudiant en architecture qui n'avait jamais étudié la géométrie descriptive : « J'ai plus aimé la manipulation indirecte. Quand le professeur me demande de représenter un point sur le papier, je ne comprends pas bien ce qu'il veut dire. Avec le système, on peut visualiser cette opération ».

Étudiants en arts qui n'avaient jamais étudié la géométrie descriptive : « Je me suis rendu compte que j'utilisais naturellement la manipulation indirecte, celle des phrases. C'est là que j'ai vu que j'étais capable de dessiner des parallèles... après avoir choisi une phrase dans la procédure. J'ai préféré cette activité » ; « L'activité la plus motivante a été celle de construire l'épure, parce qu'avant je ne savais pas ce qu'était une épure et j'ai bien aimé quand j'ai réussi à visualiser ».

L'étudiant en architecture qui n'avait jamais étudié la géométrie descriptive a manifesté des opinions bien particulières comparativement à celles des autres étudiants en architecture et à celles des étudiants en génie civil qui étudient la discipline dans la première année de leurs cours. Il semble que cet étudiant ait reconnu l'importance de la géométrie dans le cours d'architecture ou même dans les autres disciplines. « Dans le cours d'architecture, on n'a pas géométrie descriptive comme discipline. On a la géométrie appliquée à l'architecture qui, théoriquement, est le dessin géométrique et on travaille seulement les thèmes qu'on va utiliser. On n'a pas une introduction au dessin analytique avant de commencer le dessin architectonique. On y entre d'un coup et les doutes on les éclaire en classe. Il n'y a pas un programme avec un contenu préétabli. Les notions de géométrie descriptive nous manquent beaucoup »; « La géométrie descriptive est la base pour travailler la perspective. Dans mon cours d'architecture on entre d'un coup dans la perspective et on devient presque fou. J'en ai discuté avec mes collègues : on a besoin de savoir un tas de choses avant de commencer à faire de la perspective ». Il dit encore : « Je pense que l'utilisation de l'ordinateur devrait être intercalée avec les cours traditionnels. L'étudiant devrait avoir un cours avec l'ordinateur et après un autre pour travailler sur papier, pour que l'ordinateur ne devienne pas une habitude, car quand on travaille avec l'ordinateur, on ne veut plus travailler sur papier ».

Cet étudiant a eu une note de 9/20 au pré-test et a été un des étudiants qui a atteint seulement le niveau 2 par rapport au niveau de pensée géométrique selon Van Hiele. Il a donc fait le Module 1 pour travailler la perception visuelle. Il y a eu un progrès incroyable après l'utilisation du système et il est arrivé à 20/20 dans le post-test. En plus, il a été le seul étudiant en architecture à préférer la manipulation indirecte parmi les différents types d'activités (manipulation directe, indirecte et sans manipulation), en choisissant pourtant celui qui exige le plus d'effort cognitif. Rappelons ici ce qu'il a dit sur la manipulation indirecte : « J'ai plus aimé la manipulation indirecte. Quand le professeur me demande de représenter un point sur le papier, je ne comprends pas bien ce qu'il veut dire. Avec le système, on peut visualiser cette opération ».

Étudiants en mathématique : L'opinion des étudiants en mathématique sur le système est à peu près semblable à celle des étudiants en génie civil et en architecture. Quatre étudiants en mathématique ont testé le système, deux ont atteint le niveau 4 de pensée géométrique selon Van Hiele et deux ont atteint le niveau 2. Ces deux étudiants méritent une étude de cas plus attentive.

Un de ces étudiants a eu une note plus basse dans le post-test que dans le pré-test (19/20 dans le pré-test et 16/20 dans le post-test). Cet étudiant a eu des problèmes avec son ordinateur et a été obligé de partager un ordinateur avec un collègue. Ils ont eu des problèmes dans les activités de manipulation indirecte et celui qui a eu la note de post-test plus basse que celle du pré-test, a été un des deux étudiants (parmi 32) qui a mis en troisième place ce type d'activité, même après celles sans manipulation. Ce fait suggère que le système ne doit pas être utilisé par plus d'un étudiant par machine, c'est à dire qu'il est plus approprié pour l'enseignement individuel. Un autre exemple du même type a été observé chez les étudiants du secondaire.

L'autre étudiant du cours de mathématiques qui mérite une étude de cas plus approfondie est celui qui s'est révélé très faible dans le pré-test avec une note 7/20 et a atteint seulement le niveau 2 de pensée géométrique selon Van Hiele. Il a fait le Module 1, pour travailler la perception visuelle. Pendant l'entrevue, il a dit qu'il avait beaucoup de difficulté d'apprentissage dans le cours régulier de géométrie descriptive. Il a dit : « Je fais présentement le cours de géométrie descriptive et j'étais un étudiant très faible, tout le temps. Le système m'a beaucoup aidé pour l'examen final du cours régulier parce que je ne savais pas grand chose pour l'examen. Maintenant, je peux faire l'examen. Le professeur nous a donné un travail avec beaucoup d'exercices et personne ne savait comment les faire. Moi, je ne savais pas non plus, mais maintenant je peux les faire »; « Dans mon cours régulier de dessin, on a eu peu de chose sur la géométrie descriptive, mais je n'ai rien compris, même pas le concept d'épure. Avec le système, sans avoir un professeur à côté, en 4 heures, j'ai appris plus qu'en deux mois avec mon professeur. De cette façon, avec les petits jeux, avec les explications rapides, le système attire notre attention et on arrive à apprendre. Même ceux qui ne savaient rien avant, je pense qu'ils sont capables d'apprendre

au moins la base de la géométrie descriptive ». Cet étudiant a été un des sept qui a préféré la manipulation indirecte. Il a dit : « J'ai bien aimé parce qu'avant je ne savais pas faire une épure et quand j'ai réussi à en construire une, j'ai bien aimé, j'ai recommencé ». Cet étudiant a commencé les exercices de manipulation indirecte en faisant soixante six essais pour réussir à choisir l'ordre de treize options pour faire une épure et en faisant cinquante-cinq tentatives pour réussir huit options dans un autre exercice. Au final d'une série de six exercices de manipulation indirecte, il a fait huit essais sur huit options, avec succès, ce qui indique qu'il a maîtrisé la méthode et a compris la logique de construction d'une épure, concept clé dans la géométrie descriptive.

Par rapport aux étudiants qui n'avaient jamais étudié la géométrie descriptive (Arts, Dessin Industriel et secondaire), chaque groupe a eu des résultats bien particuliers.

Étudiants en arts : Les étudiants en Arts ont eu un écart considérable entre leurs notes des pré-tests et des post-tests (entre 10 et 13 points sur 20). Aucun des ces étudiants n'avait étudié la géométrie descriptive et ils avaient même de mauvaises impressions reçues des étudiants des autres cours, qui avaient étudié la discipline. Les étudiants ont dit : « Je n'avais aucune connaissance en géométrie descriptive. Tout a été nouveau pour moi »; « Avant d'utiliser le système, la géométrie descriptive était pour moi comme le « Chinois » et je suis content d'avoir eu la chance de commencer à l'apprendre d'une façon facile à comprendre ». Un autre ajoute : « Je dirais que le GD Visu@l est un système qui nous fait perdre la peur de la géométrie ». Un étudiant reconnaît que ce qu'il a appris de la géométrie descriptive avec le système va lui être très utile dans le cours de dessin technique ainsi que dans le cours régulier de géométrie descriptive qu'il doit suivre.

Parmi les 4 étudiants en Arts, un a atteint le niveau 4 de pensée géométrique de Van Hiele, un autre a atteint le niveau 3 et les deux autres le niveau 2. L'étudiant qui a atteint le niveau 4 a été un des sept qui a choisi la manipulation indirecte en première place parmi les 32 étudiants. Il raconte : « Je me suis rendu compte que j'utilisais naturellement la manipulation indirecte, celle des phrases. C'est là que j'ai vu que j'étais capable de dessiner des parallèles... après avoir choisi une phrase dans la procédure. J'ai plus aimé

cette activité. Avant, je ne savais pas ce qu'était une épure et j'ai bien aimé quand j'ai réussi à visualiser ce que c'était ». Cet étudiant a commencé les exercices de manipulation indirecte avec un grand nombre d'essais (52 essais pour 8 procédures) et a fini la série de six exercices avec 9 essais pour 8 procédures, ce qui montre qu'il a compris la logique utilisée pour faire une épure.

Étudiants en dessin industriel : Les trois étudiants en Dessin Industriel ont démontré qu'ils avaient une bonne visualisation spatiale, ayant atteint le niveau 4 de pensée géométrique selon Van Hiele, et, par conséquent, ont été dispensé de faire le Module 1. Bien qu'ils aient montré une excellente perception des éléments pris en compte pendant la conception du système, et ayant fait des suggestions très pertinentes pour l'améliorer, ils n'ont pas fait beaucoup d'effort pour améliorer leurs notes dans les tests. Seulement un des étudiants a eu une différence entre la note du pré-test et celle du post-test (8/20 dans le pré-test et 18/20 dans le post-test). Un autre a conservé sa note de 14/20 et le troisième s'est amélioré seulement d'un point, de 14 à 15/20. Le fait de ne pas avoir un intérêt direct pour le sujet, comme les étudiants en génie civil et en architecture, peut-être la raison de ce petit profit.

Un des étudiants en Dessin Industriel avait suivi un cours préparatoire rapide pour entrer dans une université qui exigeait la géométrie descriptive comme préalable. Il a dit : « Cette façon de présenter la géométrie descriptive s'éloigne de l'enseignement traditionnel avec papier et crayon, qui est très fatigant : imaginer les formes, imaginer comment elles sont en épures. Avec le système, c'est beaucoup plus facile, sans doute ». Ces étudiants n'ont pas de géométrie descriptive dans leurs cours, bien qu'il y en ait dans d'autres universités. Ils ont seulement un cours de dessin dans lequel ils étudient les solides géométriques. Un de ces étudiants a dit : « Normalement, on relie la géométrie aux mathématiques et quand on parle d'un logiciel de mathématiques, les gens font « argh!!! », comme pour dénoncer une certaine aversion... Ce qui m'a frappé avec le GDVisu@l a été justement le contraire. C'est un programme intéressant, on embarque dedans et on ne voit pas le temps passer. Hier, je devais travailler dessus pendant 2 heures et j'ai travaillé 3 heures. Aujourd'hui nous sommes samedi, je me suis réveillé tôt pour venir ici et finir mon

travail... ». Un des étudiants suggère que le système soit utilisé avant un cours régulier et il justifie son opinion en disant : « Moi, qui n'avais jamais étudié la géométrie descriptive, je pense que le cours fonctionne très bien avant, car si on a un problème le professeur peut nous orienter après ».

Un autre étudiant en Dessin Industriel suggère que le système puisse être utilisé pendant tout le cycle d'apprentissage. Il dit : « Il pourra être utilisé pendant tout le cycle, mais principalement comme premier contact et dernier contact pour vérifier si on a vraiment bien appris. On peut passer par le système plusieurs fois sans s'ennuyer ».

Les étudiants en Dessin Industriel sont habitués à travailler avec les solides géométriques, ils ont eu un cours uniquement sur ce sujet. Ils ont trouvé fantastique de pouvoir bouger les solides à l'écran. Un de ces étudiants a dit : « J'ai beaucoup aimé bouger les objets 3D. Quand on voit que cela est possible, on est étonné et on pense « comment ça se peut ? Comment puis-je prendre ce solide et observer toutes ses faces, ses arêtes, ses sommets sous différents angles ? » J'ai trouvé cela fantastique ».

D'une façon générale, ce que ces étudiants ont le plus aimé dans le système a été la partie graphique, les images et les animations. Un étudiant explique l'importance de l'aspect graphique : « Ce qui m'a le plus touché est la facilité avec laquelle la personne qui utilise le système manipule les images. On a le texte, la théorie et ensemble on a l'image qu'on peut manipuler, bouger. On explore l'image comme on veut et ça, c'est primordial pour la compréhension ».

Un des étudiants qui travaille déjà avec la programmation visuelle, observe : « Sans doute le plus motivant a été de travailler le jeu apprendre/pratiquer, réussir/continuer, échec/reste où tu es... C'est bien ça. Il est stimulant, c'est un défi. On doit travailler avec le défi parce que lorsqu'on est devant un ordinateur on aime le défi. C'est pour ça que les jeux à l'ordinateur sont à leur apogée ». À cause de sa pratique en programmation visuelle, les opinions de cet étudiant ont été prises en compte au même niveau que celles des experts en technologie éducative. Ses suggestions et recommandations étaient pertinentes et ont été

précieuses. Il a présenté la meilleure synthèse du système quand on lui a demandé «Qu'est-ce que tu dirais à un ami sur le système ? ». Il a répondu :

« Premièrement, j'essaierais de lui expliquer de quoi on parle, qu'est ce que c'est un système multimédia pour travailler la géométrie descriptive. Ensuite, je vais lui expliquer ce qu'est la géométrie descriptive, je vais parler des projections. Après cela, je vais lui dire rapidement que le système est dans les paramètres qu'on trouve sur l'Internet. Après cela, je vais dire qu'on peut s'asseoir devant l'ordinateur, apprendre et on ne va pas avoir la sensation que les mathématiques sont un « monstre » et que le logiciel est ennuyeux, car dans la réalité ce n'est pas le cas. Quand on parle d'un logiciel de mathématiques les gens font « argh!! » comme quelqu'un qui n'aime pas ça. Ce que j'ai remarqué, c'est que c'est un logiciel intéressant, on peut bien «voyager» avec lui... Je pense que cela explique ce qu'est le système, la discipline et s'il est intéressant ou pas. Après cela, s'il veut, il pourra essayer lui-même ».

Étudiants du secondaire : Les trois élèves du secondaire n'ont pas eu de comportement semblable. Un des élèves avait une bonne perception spatiale et a atteint le niveau 4 de pensée géométrique de Van Hiele. Cet étudiant a eu un écart de 11 points entre le pré-test et le post-test. Un autre a atteint le niveau 3, avec un écart de 9 points entre les tests et le troisième élève a atteint le niveau 2, ayant un écart de seulement deux points entre les tests. Cet étudiant a eu des problèmes avec son ordinateur et il a du travailler avec un copain. On voit ici le même problème que l'étudiant en mathématiques qui a partagé un ordinateur avec un autre étudiant. Une fois de plus, on dit que le système doit être utilisé pour l'enseignement individualisé. Si l'on ne tient pas compte de ce dernier étudiant et des pauvres résultats qu'il a obtenus dans les tests, on peut dire que les étudiants du secondaire ont fait un grand progrès, car la moyenne de 7 (5 et 9) dans le pré-test est montée à 17 (16 et 18) dans le post-test.

Les étudiants du secondaire n'ont rien dit de plus que les autres étudiants en général. Ils étaient très jeunes, entre 15 et 16 ans, ils n'avaient pas un intérêt particulier pour la géométrie, mais ils ont quand même fait un bon progrès. Je pense que c'est dû, en partie, au fait d'avoir des cours de dessin géométrique au primaire et au secondaire, car dans l'école où ils étudient cette discipline est dispensée dans les dernières années du primaire et du

secondaire. Cela n'est pas normal au Brésil et l'école où ces étudiants vont, a un programme spécial. Peut-être serait-il intéressant de faire une nouvelle recherche en essayant le système avec des étudiants du secondaire des écoles où le dessin géométrique est enseigné et avec ceux dont l'école ne l'enseigne pas, pour ensuite comparer les résultats.

Experts en technologie éducative : Le système a été testé par deux technologues en éducation et un des étudiants en Dessin industriel a joué le rôle de technologue à cause de son expérience en programmation visuelle. Ces trois personnes ont suivi la même démarche que celle suivie par les étudiants, en faisant les activités et les exercices. Seul l'étudiant en Dessin industriel lisait le portugais. Pour les autres technologues, francophone et anglophone, je lisais les questions pour qu'ils puissent faire les activités. Pendant l'entrevue, ils ont parlé des caractéristiques du système, de ce qu'ils ont pensé de l'interactivité, de la convivialité du système, de l'encadrement. Ils ont fait beaucoup de recommandations et de suggestions.

Par rapport aux caractéristiques du multimédia, ils ont parlé des images, des animations, des manipulations, de la qualité des écrans, des couleurs et ils ont fait des suggestions pour améliorer ce qui n'était pas très bon.

À propos des images, ils ont observé qu'il y en avait de plusieurs types et que leur qualité variait beaucoup. Ils suggèrent une plus grande uniformité par rapport au traitement et à la qualité des images.

Ils ont été unanimes à dire que les animations sont bonnes, qu'il y a une certaine constance (nous avons toujours utilisé le même logiciel pour les réaliser). Mais un des technologues a suggéré que les animations soient accompagnées d'une narration, ou d'un son, ou d'un texte, car il y a différentes façons d'apprendre et certains étudiants sont plus auditifs que visuels. Un des technologues a suggéré qu'on utilise des objets et des situations du quotidien pour faire les animations.

Ils n'ont trouvé aucun problème par rapport aux activités de manipulation. Ils ont bien aimé cela et ils ont dit que, pour ceux qui n'ont pas encore une bonne visualisation spatiale, ce type d'activité peut beaucoup les aider.

Ils ont parlé longuement de la qualité des pages-écrans. Ils ont observé que le système ayant été conçu sur une longue période et ayant pris en compte certaines évolutions, il y a un manque d'uniformité. Ils suggèrent d'améliorer les couleurs, le fond de l'écran par rapport à la couleur de la typographie, pour faciliter la lisibilité des textes écrits. Par rapport à la typographie encore, ils ont parlé de la taille des caractères utilisés, de la façon de les disposer (centré ou à gauche) toujours dans le but d'améliorer la lisibilité et la compréhension des textes écrits. L'utilisation de caractères plus gros pourrait non seulement améliorer la lisibilité mais également occuper les espaces vides dans certaines pages-écrans, selon les technologues. Ils disent que si les gens passent trop vite sur les textes, qui sont des consignes, et qu'ils ne les ont pas lus adéquatement, alors il y a souvent des tâtonnements. « Ils se promènent dedans. Peut-être que les gens ont compris, mais comme ils n'ont pas suivi les consignes, ils y vont un peu instinctivement, ils se trompent et ils ne savent pas pourquoi », a dit un des technologues. Donc, le texte écrit est très important et doit être bien planifié et présenté.

Par rapport à la compréhension des textes écrits, le technologue qui lisait le portugais remarque : « Dans l'ensemble des activités, il y a eu une ou deux questions que je n'ai pas comprises, mais en général je n'ai pas eu de grands problèmes. Dans quelques questions, j'ai eu un peu de difficulté à comprendre ce que le texte voulait m'expliquer, ce qu'il voulait me demander, ce dont il voulait m'informer et ce qu'il voulait que je fasse ». Il explique que c'était des cas isolés. Il en a cité un, celui qui traite des axes x , y et z , où les explications sont un peu obscures et passent très vite. Il ajoute que « si on ne comprend pas très bien cette partie, on va avoir des problèmes plus tard ».

Par rapport à la disposition des textes écrits à l'écran, les technologues ont remarqué quelques problèmes telle que la multiplicité de fenêtres dans une même page écran. Ils croient que cela peut poser des problèmes à ceux qui ne sont pas habitués à travailler avec

l'ordinateur. Dans le cas cité, l'étudiant devait chercher les informations dans une fenêtre supérieure et ensuite répondre dans une fenêtre intermédiaire. Un des technologues prévient : « Je sais que ce n'est pas très grave, mais à la fin je me suis dit : pour quelqu'un qui n'est pas un expert avec les fenêtres cela peut devenir un problème ».

Un des technologues suggère que chaque page écran soit une surprise, pour saisir l'attention de l'utilisateur, sa curiosité, pour bien travailler après avec cette curiosité et l'intérêt éveillé.

Un autre, qui est en plus un artiste, a dit qu'il a aimé les beaux éléments visuels mais que, dans ce sens, il y a beaucoup de choses qui peuvent être améliorées par rapport à la visualisation spatiale. Cependant, il remarque que le manque de beauté n'empêche pas l'apprentissage.

Par rapport à l'interactivité, les technologues ont trouvé que, malgré quelques petits problèmes, le système de navigation était très bien fait et qu'il était très clair. Selon un des experts, la barre de contrôle est parfaite, car elle suit le modèle de tous les types de tableau de contrôle qu'on voit sur l'Internet. Un des technologues a observé que la page qui explique la fonction de chaque bouton disparaissait très vite. Il suggère que l'étudiant puisse en avoir le contrôle pour sortir quand il a bien lu les informations sur les fonctions des icônes, ou bien qu'il pourrait y avoir un lien expliquant que les informations vont être en haut dans la barre de boutons et que, si on passe la souris sur chacun, l'explication va apparaître dans le champ de message. Il trouve que les icônes, comme la petite feuille et celle pour accéder à la carte du module actuel (représenté par le chiffre relatif au module), sont des icônes personnalisées et qu'elles ne sont pas évidentes à déchiffrer. Dans quelques pages écran, il faut faire dérouler l'écran à la verticale pour voir le bouton « suivant » en bas. Un des technologues suggère que ce bouton soit placé un peu plus haut, mais il dit que « En général il est dans les paramètres, il n'y a pas rien de compliqué, rien d'étrange, qui nous laisse nous promener en cercles dans l'écran. Je pense qu'il est direct, bien propre, et cela est très important, la propreté visuelle est très importante. Illustrer ne signifie pas charger d'images, de périphériques et de cochonneries qui peuvent déranger ».

Les technologues ont fait des suggestions intéressantes qui pourront beaucoup enrichir les prochains modules du système. L'un d'entre eux a suggéré d'utiliser des objets du quotidien pour donner des exemples. Il dit : « Par exemple, quand vous faites les projections d'un cylindre, utilisez un objet pour représenter le cylindre, comme un verre, une boîte ». Cela pourrait réduire l'aridité qui rapproche la géométrie des mathématiques et l'amener plus près de la vie courante, de la réalité des étudiants. Un autre a renforcé cette idée en disant :

« ... Si on parle de multimédia, on parle de tous les médias et j'aimerais voir quelque part des photographies de quelque chose, même si c'est seulement un écran de bienvenue au début, quelque chose en architecture, des architectes, je ne sais pas quoi, quelque chose qui existe dans le vrai monde au lieu d'avoir toujours des dessins. Ça va ajouter. Si on est sur Internet, il y a toujours des contraintes techniques qu'il faut considérer. J'aimerais voir aussi de la narration, dans certaines places, partout, en coordination avec les médias, ça veut dire, une animation et une narration qui se passent en même temps, quelque chose qui bouge et quelque chose qui m'explique, pour utiliser plus de média ».

Il suggère aussi que l'utilisation du système soit divisée en portions plus petites parce que faire les activités exige beaucoup d'effort cognitif et une très longue période peut être fatigante pour l'étudiant. Il ajoute : « Ce que j'aimerais, dans la navigation, soit sur l'index, soit sur la carte de l'unité, c'est voir ma progression et mes résultats, quelque part, un écran avec mes résultats, mon score... C'est intéressant pour un étudiant de voir ça. Ça sera très intéressant pour l'étudiant de pouvoir voir son progrès en forme de réussite, où il est dans le moment, mais aussi en termes de réussite ».

La seule personne qui a questionné la linéarité du système a été un des technologues, car tous les autres ont trouvé très bien la façon séquentielle et progressive avec laquelle les activités et les exercices ont été planifiés. Il dit que, pour ceux qui ont déjà quelques connaissances de la géométrie descriptive, cela peut être ennuyant de passer par tous les modules pour arriver à ce qui les intéresse. Il faut se souvenir que le système a été conçu pour les étudiants qui commencent à apprendre la géométrie descriptive ou pour ceux qui

ont des difficultés dans cette discipline. Pour donner plus de liberté à l'utilisateur, on devrait changer le paradigme d'apprentissage guidé ainsi que plusieurs autres principes qui ont guidé la conception du système. On pourra, dans le futur, penser à un autre type de logiciel avec des caractéristiques différentes de celui-ci et prévoir les choses que ce technologue a suggérées.

Pour finir, voici ce que les technologues ont pensé du système :

« J'ai trouvé l'expérience amusante. Elle a été très agréable, surprenante. Je pense que ça atteint son but. Je trouve que le système a l'esprit de la visualisation, pour que l'étudiant puisse visualiser les concepts en trois dimensions. C'est ça la géométrie descriptive, c'est le 3D et quand il y a des animations, je trouve ça le *fun*. Un exemple, au début, dans les premiers exercices, où on a fait pivoter pour voir s'il y a des triangles, des losanges. D'ailleurs, le système est progressif. On voit de plus en plus de choses et, comme je le disais, à la fin, il devient plus difficile, mais comme on a abordé cette notion-là tridimensionnellement, étape par étape, on commence à comprendre le principe ».

« Je me suis aperçu que dans le déroulement de l'utilisation du système on a une évolution graduelle. Pendant qu'on parcourt les différents modules on accumule des connaissances. Bien qu'il présente des petits problèmes d'ordre visuel, dans l'ensemble il me semble fonctionner très bien ».

« Je l'ai bien aimé à cause de tous les exercices, j'ai bien aimé ça. Je pense que c'est un point fort du système, le fait qu'il faut travailler. On apprend en faisant les exercices. J'ai bien aimé ça, c'est très interactif parce que cela exige beaucoup de participation de l'étudiant au niveau cognitif, pas juste pour pironner, mais un effort cognitif. Ce que j'ai beaucoup aimé aussi est qu'on fait l'apprentissage par perception visuelle. Alors, le cours est sur la perception visuelle et on doit beaucoup utiliser cette habileté pour progresser dans le cours. Alors, c'est un cours qui exige certaines habiletés pour progresser, mais ce sont toujours les mêmes habiletés qu'on veut que l'étudiant apprenne, alors, c'est très bien. Je trouve que c'est très bien. Il y a très peu de chose présenté en texte. Tout est présenté visuellement ce qui correspond bien au domaine de la visualisation».

C'est vrai que le système a besoin d'améliorations du côté de la typographie, des images, des couleurs et de l'organisation des écrans. Il faut prendre du recul et reprendre page par page pour voir comment on peut raffiner le système.

Experts en géométrie descriptive : Trois experts en géométrie descriptive, des professeurs de cette discipline, ont testé le système. Parmi eux, deux étaient brésiliens et parlaient portugais. L'autre était d'origine hongroise et ne comprenait pas le portugais. Pour lui, j'ai dû lire les textes des activités et exercices. Ils ont parlé de l'enseignement de la géométrie descriptive en général, de leur perception du système, de quand et comment l'utiliser, des types d'activités, des caractéristiques qu'ils ont observées par rapport à l'enseignement multimédia et ils ont apporté leur contribution à l'amélioration du système.

D'une certaine façon, les professeurs confirment ce que les étudiants ont dit sur le trauma relié à la difficulté d'imaginer dans l'espace les choses qu'ils voient représentées dans le plan. Cette difficulté, selon les experts, est due à la déficience du système scolaire. Un des professeurs a dit que « Le système GDVisu@l montre à l'étudiant d'une façon interactive, rapide et consistante ce qu'avant il devait imaginer ». En observant les étudiants travailler sur le système, il a entendu les étudiants qui disaient : « C'est bon de jouer de cette façon » en démontrant une satisfaction pendant qu'ils apprenaient la géométrie descriptive tandis que les étudiants de l'enseignement traditionnel ont une certaine peur de la discipline et sont anxieux d'achever le cours de géométrie descriptive ».

Selon les experts en géométrie descriptive, le système facilite la visualisation et, en conséquence, l'apprentissage de la géométrie descriptive. Selon eux, le système enseigne à voir les figures de façon tridimensionnelle et peut servir de support à la méthodologie traditionnelle. Un des experts explique que « Il [le système] motive la visualisation dans l'espace et la représentation des projections de certaines formes que normalement on n'a pas envie de faire ». Un autre ajoute : « Tous les dessins sont bidimensionnels, peu importe la forme de représentation. Ça veut dire que la seule façon de vraiment faire sentir la troisième dimension est à travers des lunettes spéciales ou avec l'animation. L'animation avec *Cabri Géomètre* est la meilleure façon d'expliquer la troisième dimension ».

Le traitement de l'erreur, comme il est fait dans le système, a généré des opinions controversées parmi les professeurs. Deux ont trouvé l'idée très bonne, mais l'autre n'était pas d'accord. Ceux qui ont trouvé l'idée bonne ont dit « Excellent, l'erreur ne devient pas une punition. C'est une façon différente de voir l'erreur. "Tu as fait une erreur? Ça va, tu peux essayer de nouveau" »; « L'erreur, dans la méthodologie traditionnelle (non pas seulement dans la géométrie descriptive), est généralement punie. Si l'étudiant échoue, il a une note basse à l'examen, il doit refaire le cours, il reste longtemps avec la sensation qu'il a été puni parce qu'il n'a pas appris. Avec le système, c'est différent. L'erreur est un stimulus pour chercher de nouveaux chemins. Il propose une activité, mais sans dire « on fait cela parce que tu as fait une erreur ». C'est une façon de construire la connaissance de l'étudiant de façon plaisante, claire, sans précipitation. Celui qui n'a pas compris ne doit pas payer pour ce qu'il n'a pas compris. Il n'a pas *encore* compris ... Je pense que le système apporte ce mot « encore », « tu n'es pas encore prêt, on va essayer un petit peu plus ». Comme ça, l'erreur est constructive ».

L'autre professeur observe :

« Ben, moi je suis de l'ancienne école, je ne tape pas les épaules des étudiants quand ils font une erreur. Autrement dit, je n'ai pas encore adopté cette nouvelle pédagogie où on est presque content qu'ils fassent des erreurs. Donc, je ne dis pas que je les encourage à faire des erreurs, parce que je dis non, je décourage les erreurs. C'est peut-être contraire à ce que disent certains pédagogues qui soutiennent que faire des erreurs c'est « bravo », que faire des erreurs c'est apprendre. C'est un style différent ».

Quelques caractéristiques spéciales qu'on avait en tête lors de la conception du système ont été perçues par les experts en géométrie descriptive, tels l'utilisation de l'approche constructiviste, le ton intime, ludique et la considération des différences individuelles des étudiants. Voici quelques remarques qu'ils ont faites : « La construction de la connaissance à travers le système se donne d'une façon plaisante, claire et sans précipitation. Même l'erreur est constructive »; « Cette façon ludique, interactive, plaisante que le système

apporte, répond à l'expectative des professeurs et remplit le vide qui s'est installé depuis longtemps dans l'enseignement de la géométrie descriptive ».

Au sujet des différences individuelles, un des experts a dit qu'un certain pourcentage d'étudiants a une perception spatiale très forte, qui semble être génétique ou qu'ils ont développée d'une certaine façon, on ne sait pas laquelle. Il complète en disant : « Donc, c'est un cadeau naturel, mais normalement elle est très faible ». En fonction de cela, il pense que le système doit être à la disposition des étudiants quelques mois avant et aussi après le cours pour ceux qui ont plus de difficultés de visualisation et d'apprentissage. Il suggère aussi qu'on introduise dans le système la possibilité d'imprimer un manuel avec les informations théoriques parce qu'il y a des gens, comme lui par exemple, qui aiment avoir quelque chose sur papier. Les différences individuelles des professeurs qui vont se servir du système doivent être considérées également, car il y a des personnes qui enseignent différemment. Il trouve intéressant que le système ait deux ou trois styles (ou approches pédagogiques) pour les jeunes et les vieux, comme il dit, pour qu'ils puissent choisir la meilleure façon d'enseigner selon eux.

Une autre façon de prendre en considération la personne qui utilise le système est de donner un ton intime au traitement et de permettre également un contact avec un professeur *online*. Un des experts en géométrie descriptive a noté que « la façon de se référer à la personne qui utilise le système par « tu », comme par exemple « tu vas faire ça maintenant », « tu vas voir cela », crée une ambiance intime, montre une attention spéciale envers la personne qui est en train d'utiliser le système ». Au Brésil, l'enseignement multimédia, l'enseignement à distance commence à peine et un des experts remarque : « L'éducation à distance pour nous est une chose nouvelle comme méthodologie et même dans l'éducation. C'est très bon pour la personne qui est en train d'apprendre un nouveau sujet comme la géométrie descriptive ou bien en train de réviser ses connaissances, de pouvoir compter sur quelqu'un qui pourrait éclaircir ses doutes, même à distance ». Cette personne ajoute aussi qu'il y a certains étudiants qui n'ont pas le courage de lever la main pour poser des questions et qui attendent toujours que quelqu'un d'autre le fasse. Il dit : « S'il ne lève pas la main parce qu'il est gêné, le professeur ne sait pas qu'il a un doute et

l'étudiant sort avec son doute et cela pourra l'empêcher de poursuivre son apprentissage. S'il peut envoyer un message au professeur en demandant quelque chose, personne dans la classe va savoir qu'il avait un doute et il pourra l'éclaircir ». D'un autre côté, un des experts en géométrie descriptive ne pense pas que la possibilité de demander l'aide d'un professeur *online* soit intéressante. Il dit que « C'est une question de disponibilité. Peut-être qu'avoir un contact en temps réel avec un professeur c'est trop demander dans notre contexte Nord américain. J'ai 140 étudiants dans ma classe. Si 140 étudiants me posent 140 questions en même temps, je pense que je serais un peu misérable. Je devrais avoir un message, il entre dans mon courriel, je peux l'ouvrir et je peux répondre. Répondre en temps réel ça veut dire... ça c'est questionnable, parce que je n'aurais pas la disponibilité ».

Par rapport au contenu du système, les experts en géométrie descriptive ont dit, en général, qu'il est bon, qu'il couvre une grande partie de la matière, qu'il est bien orienté et que c'est une bonne démarche pour initier les gens à la géométrie de l'espace. Un des experts a parlé plus longuement de la façon dont sont introduits les concepts de géométrie descriptive en commençant du tout vers les parties. La majorité des livres de géométrie descriptive traditionnels font exactement le contraire. Cet expert a dit :

« Ils [les livres] veulent conduire l'apprentissage en débutant par la représentation du point, qui n'existe pas dans l'espace concrètement; personne n'élève la main pour prendre un point dans l'espace. Après cela, les livres travaillent les droites et on ne voit pas de droites détachées dans l'espace. Ensuite seulement ils arrivent à travailler le plan. Le plan est concret. On peut le toucher dans les murs, dans le plancher, dans les parois d'une boîte, d'un emballage... Quand on commence avec le plan, on peut comprendre les droites comme l'intersection des plans et les points comme l'intersection des droites. Le système va dans ce sens. Il commence comme un jeu d'enfant, avec le ludique, il joue avec la forme pour ensuite analyser cette forme dans le plan, les droites, les points... Je pense que cette façon d'aller du concret vers l'abstrait est très bien ».

Seulement un des experts a parlé de l'activité de manipulation directe, mais les trois ont parlé de celle de manipulation indirecte. Celui qui a parlé de la manipulation directe a dit que l'activité était excellente. Il ajoute :

« En une fraction de seconde, elle explique ce qui va prendre plusieurs minutes au professeur à dessiner au tableau, s'il est très bon pour faire un dessin au tableau avec la craie, ou bien dans la préparation de son matériel didactique. Combien de temps dépense-t-il pour préparer un dessin ou quelque chose qui va faciliter la compréhension de l'étudiant? La manipulation, la question du mouvement, pouvoir utiliser l'image non statique pour apprendre, mais plutôt les objets en mouvement, c'est ça qui a toujours manqué dans l'apprentissage de la géométrie descriptive. Donc, je trouve la manipulation directe très intéressante ».

Par rapport à la manipulation indirecte, deux des experts ont été moins favorables à cette approche-là, tandis que l'autre l'a trouvée excellente. Un des experts qui n'était pas favorable à l'approche a dit : « La manipulation indirecte présuppose un apprentissage antérieur. L'étudiant a un *pool* d'options et s'il n'est pas passé par une situation semblable graphiquement, s'il n'est pas guidé, je ne dis pas qu'il ne va pas réussir à la faire, mais il va prendre beaucoup de temps pour la comprendre, même s'il a l'aide d'un professeur. J'ai trouvé difficile ce type d'activité ». L'autre a dit : « Vous avez un menu déroulant, ou certaines options sont bonnes, certaines sont mauvaises. Je suis un peu moins sympathique à cette approche-là, parce que, insérer des erreurs, provoquer les gens à faire des erreurs, d'une façon implicite, peut être questionné comme technique ».

Le meilleur moment pour utiliser le système variait selon l'opinion des professeurs. Il y en a un qui trouve préférable de l'utiliser avant le cours régulier, un autre avant et pendant le cours et le troisième pense qu'il pourrait être utilisé pendant tout le cycle, c'est-à-dire, avant, pendant et après le cours. Celui qui préfère l'utiliser avant dit que cela pourrait faciliter la visualisation de l'étudiant. Celui qui dit qu'il pourrait être utilisé avant et pendant le cours, pense que c'est important que les étudiants se préparent avant de commencer le cours, principalement ceux qui ont des difficultés de visualisation. Pendant le cours, selon lui, l'étudiant pourra continuer les exercices. Le professeur qui dit qu'il pourrait être utilisé pendant tout le cycle justifie sa position en disant «Il pourra servir pour réveiller l'intérêt, pour renforcer les concepts pendant l'apprentissage et pourra servir à fixer les connaissances après l'apprentissage ».

Quand on a demandé aux experts en géométrie descriptive ce qu'ils pensaient du système, ils ont répondu : « Je pense que le système apporte ce que les professeurs en géométrie descriptive cherchent depuis longtemps, c'est-à-dire une façon interactive, rapide, consistante de montrer à l'étudiant un artifice pour qu'il puisse voir dans un espace ce qu'il doit normalement imaginer, sans jamais avoir été préparé à le faire. Cette façon ludique, interactive, amusante que le système apporte, je pense qu'elle répond et remplit la lacune ouverte depuis longtemps » ; « Je suis très impressionné, très bien. Le site est très bien assemblé, une fois que vous l'avez installé sur le *web*, c'est très bien fait, c'est une interface assez transparente, logique, donc je vous complimente ».

Un des experts a fait quelques observations sur les tests qu'on a utilisés dans le système qui doivent être mieux analysés pour être améliorés. Il dit « Si on entre dans les détails, j'aurais certaines observations. Ce sont des observations pas nécessairement sur le travail que vous avez fait, mais vous avez pris certains tests qui viennent de la littérature. Bien que ces tests soient bien respectés dans la littérature, nous avons eu beaucoup de commentaires et de critiques dans notre groupe parce que, souvent, les gens qui ont créé ces tests ne sont pas très versés en géométrie, donc ce sont plutôt des psychologues et des didacticiens même des mathématiciens, avec moins d'aptitudes géométriques ». Il continue, en parlant un peu plus du travail qu'il a fait avec son groupe :

« Nous avons développé un genre d'approche hiérarchique du cadre géométrique. Si nous regardons un objet, nous avons les observations topologiques, les observations projectives, affines et métriques. Ce cadre géométrique forme une séquence... Nous partons des observations, des généralités pour nous approcher des propriétés plus spécifiques jusqu'à l'axonométrique. Si nous acceptons cette hiérarchie qui explique les propriétés, certaines propriétés sont topologiques, d'autres propriétés sont métriques et affines, il faut reconnaître ces propriétés. Admettons que vous avez eu un test où vous avez différents polyèdres. Vous avez demandé à reconnaître si A est égal à C ou si A est égal à D... Mais on ne pourra pas faire l'exercice uniquement sur le niveau topologique, ça veut dire reconnaître si les formes sont isomorphes, ça veut dire que peu importe la dimension, peu importe la règle... Est-ce que le graphe, la structure de cette figure est le même graphe que cet autre? C'est une approche que nous essayons de promouvoir, ce n'est pas une approche acceptée dans la documentation spécialisée, mais nous avons déjà publié plusieurs choses. Nous croyons que c'est une approche qui nous

permet facilement une meilleure compréhension des propriétés, si vous classifiez les propriétés... géométriques, mais aussi qui permet de concevoir les formes à l'aide de ce même état. Autrement dit, vous ne cherchez pas la longueur aux angles, quand vous concevez une forme. Vous cherchez les propriétés topologiques. Après, vous vous promenez dans les autres propriétés de l'objet et la dernière chose sont les propriétés métriques. Ce qui arrive souvent, c'est le contraire. Donc c'est ça une observation, une approche, une méthode de cours pour faire cette sorte de test-là, j'ajoute que ce que vous faites est très valide, très valable, mais les tests utilisés doivent être reconsidérés ».

Quand on leur a demandé ce qu'ils pourraient dire aux collègues sur le système, ils ont dit qu'ils leur recommanderaient de l'utiliser avec leurs étudiants. L'un a dit : « Je vais le recommander, je vais insister pour que les professeurs de géométrie descriptive que je connais utilisent le système avec le plus grand nombre d'étudiants possible, parce qu'il représente un avancement dans la didactique de la géométrie descriptive ».

Pour finir, un des experts nous a fait une recommandation :

« Je vous recommande de continuer à suivre la même ligne jusqu'à la fin : si vous prétendez faire 10 modules et si vous êtes encore dans le 5ème, que les prochains apportent à chaque fois plus de défis qui puissent augmenter la capacité de raisonnement spatial, pour le rendre plus efficace, plus rapide, car il est très utile pour résoudre les problèmes du quotidien. Continuez avec le ton ludique, avec les jeux, les manipulations directes et indirectes jusqu'à la fin, coordonnant en même temps la théorie, la pratique et le plaisir ».

3.4.2.7. Quelques éléments supplémentaires d'appréciation

Pour clore cette analyse, nous présenteront ce que les étudiants et experts ont mentionné qu'ils pourraient dire du système à un ami, parce que lorsque nous parlons de quelque chose à quelqu'un, nous essayons de synthétiser les informations, de résumer ou de dire les choses essentielles ou les plus frappantes sur le sujet.

Étudiants qui ont déjà étudié la géométrie descriptive

- « J'ai parlé du trauma. L'année passée j'avais beaucoup de collègues qui sont sortis traumatisés de la discipline dessin géométrique et géométrie descriptive et je leur en ai

parlé : c'est une façon complètement différente d'étudier la géométrie descriptive. Une des mes amies qui est venue ici, quand elle a vu ce que j'étais en train de faire elle a dit : « Mon Dieu, c'est ça le plan "x" ? » Elle a dit ça comme si elle était passé par cela sans avoir rien compris. La facilité de visualisation, la mémoire visuelle est beaucoup plus intense que celle que nous utilisons quand on étudie dans un livre ».

- « J'ai dit que, sans doute, c'est la façon la plus facile et intéressante d'apprendre la géométrie descriptive, vraiment ».
- « Je dirais que c'est plus simple qu'un cours régulier, normal ».
- « Je le recommanderai pour quelqu'un qui veut commencer à apprendre la géométrie descriptive, car le langage est facile, de base pour qui veut comprendre ».
- « Je dirais que c'est un cours de géométrie descriptive qu'on apprend par Internet, et qu'on peut aussi demander l'aide d'un professeur via Internet. Qu'il est plus facile de visualiser et que c'est une nouvelle technologie ».
- « Je dirais qu'il te donne une autre «vision» de la géométrie descriptive ».
- « Je dirais que c'est un travail très intéressant, principalement pour faciliter la visualisation de ce qu'est une épure ».
- « Je dirais que c'est une façon géniale d'apprendre, différente, et que je pense qu'on apprend plus vite ».
- « C'est un excellent système, qui facilite la compréhension spatiale de tout ce qui est dans la géométrie descriptive ».
- « Je dirais qu'il est très intéressant et qu'il offre de bons exercices ».
- « Je dirais qu'il est facile à utiliser et qu'il renferme d'une façon ample la géométrie descriptive et que tout le monde, même ceux qui n'ont pas une notion de la matière, peuvent apprendre ».
- « Je dirais que ce serait génial s'il pouvait utiliser le système s'il a des difficultés à passer par l'épure ce qu'il y a dans l'imagination et aussi d'imaginer dans l'espace ce qu'il voit dans l'épure ».
- « Je dirais qu'il existe un système en développement qui permet d'apprendre la géométrie descriptive à travers la visualisation. Il est bon alors qu'il est en développement et il sera encore meilleur après ».

- « Je dirais que c'est une nouvelle ressource pour enseigner la géométrie descriptive, bien intéressante et valide. J'ai bien aimé ».
- « Je dirais que si on a eu des difficultés pour apprendre avec le professeur, on pourrait apprendre beaucoup avec le système ou, au moins, pour quelqu'un qui n'a jamais étudié la géométrie descriptive, pourra apprendre les notions de base ».
- « Je dirais qu'il doit essayer parce que le système est très bon. Je dirais que c'est un système qui aide beaucoup à comprendre la géométrie descriptive. Pour ceux qui aiment la géométrie descriptive, pour ceux qui l'ont étudié déjà et même pour ceux qui ne l'ont jamais vu, le système est intéressant ».
- « Je dirais que c'est un programme bien organisé, qui donne une bonne notion de ce qu'est la géométrie descriptive, en montrant le visuel, en prenant les choses plus importantes, sans mettre l'emphase sur les choses minimales. Il est centré sur le raisonnement de la géométrie descriptive ».
- « Je dirais que j'ai fait un cours fantastique dans lequel j'ai beaucoup appris sur la géométrie descriptive, dans un court espace de temps ».

Étudiants qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive

- « J'ai déjà dit que c'est un système qui enseigne les notions de base de la géométrie descriptive, qu'il est facile de travailler avec lui et aussi facile de le comprendre ».
- « J'ai un cousin qui étudie la géométrie descriptive et je lui en ai déjà parlé... J'ai parlé des ressources du programme, qu'il y a plusieurs types d'activités, j'ai parlé des exercices qui complètent l'apprentissage. Je dirais que le programme est très bon, qu'il enseigne la géométrie descriptive, que j'ai travaillé sur lui et que je le lui recommande ».
- « Je dirais que c'est un système qui nous fait perdre la peur de la géométrie descriptive ».
- « Je dirais : utilise le système mon fils...(rires) car avec lui tu peux apprendre vraiment ».
- « Je conseillerais à mes amis de l'utiliser, principalement s'il ont des difficultés en géométrie descriptive ».

- « Je dirais que c'est un logiciel bien intéressant et excellent pour ceux qui veulent commencer à apprendre la géométrie descriptive ».
- « Essaye-le parce qu'il peut t'aider beaucoup ».
- « Je dirais que c'est un programme intéressant et j'expliquerais avec plus de détails comment il fonctionne ».
- « Je dirais que la géométrie descriptive est une discipline un peu compliquée, mais qu'elle est géniale ».
- « Je dirais qu'il a été très agréable d'utiliser le système et que, certainement, j'ai beaucoup appris ».
- « Je dirais qu'on peut apprendre avec le système, car il est très bon ».

Experts en géométrie descriptive

- « Est-ce que tu sais ce que Marie était en train de faire au Canada tout ce temps et qui nous a laissé curieux ? Elle faisait ce que nous avons toujours voulu : un système d'enseignement capable de mettre fin au trauma que peut causer la géométrie descriptive. Elle apporte à ce travail, pour nous, les options qui manquaient : apprendre la géométrie descriptive n'est pas mauvais, ça peut être exactement le contraire, fantastique, différent... »
- « On peut comparer l'opinion d'un étudiant qui apprend avec la méthodologie traditionnelle avec l'opinion de l'étudiant qui utilise le système. Le premier parle de la peur qu'il a de la géométrie descriptive, il est anxieux de terminer l'année. Le second dit : que c'est bon de jouer de cette façon. Même les verbes sont différents, même la façon de s'exprimer est différente ».
- « Je dirais que ça vaudrait la peine de l'acheter s'il était commercialisé, car il aide beaucoup dans la visualisation ».
- « Je recommanderai d'en prendre connaissance et de l'utiliser. La chose qui serait sympathique, comme je l'ai dit, serait de l'avoir dans une cartouche *zip*, sans connexion vers , parce qu'il y a des gens qui ont, à la maison, des heures limitées d'utilisation d'Internet, il faut aller au bureau pour être branché. Ça se fait très bien sans être branché ».

Experts en technologie éducative

- « Je dirais qu'il est possible de réussir à visualiser les choses avec les éléments 3D. C'est ça qui est important je pense. Je dirais qu'il a de belles approches, c'est fait étape par étape, on ne peut pas sauter d'étapes ; il faut se casser la tête un peu, penser, il y a des choses qui reviennent, soit le concept qui fait qu'on avance ».
- « Premièrement, j'essaierais d'expliquer de quoi on parle, que c'est un système multimédia pour travailler la géométrie descriptive. Ensuite, je vais expliquer ce qu'est la géométrie descriptive, je vais parler des projections. Après cela, je vais dire rapidement que le système est dans les paramètres qu'on trouve sur l'Internet. Après cela, je vais dire qu'on peut s'asseoir devant l'ordinateur, apprendre et on ne va pas avoir la sensation que les mathématiques sont un « monstre » et que le logiciel est plat, car dans la réalité ce n'est pas le cas. Quand on parle d'un logiciel de mathématiques, les gens font « argh!! », comme quelqu'un qui n'aime pas cela. Ce que j'ai remarqué, c'est que c'est un logiciel intéressant, on peut bien « voyager » avec lui... Je pense que cela explique ce qu'est le système, la discipline et s'il est intéressant ou pas. Après cela, s'il veut, il pourra essayer lui-même ».
- « Que j'ai travaillé très fort, que ça a pris beaucoup d'effort cognitif. Souvent, quand on est devant un cours multimédia, on a beaucoup à lire, on passe par les images, ce n'est pas un effort... et à la fin il y a l'exercice. Mais là, si on commence tout de suite avec les exercices, on n'arrête pas de travailler, ce qui est bien. J'ai aimé ça.

CONCLUSION

1. Rappel de la problématique

Nous avons développé un système d'apprentissage multimédia interactif nommé GDVisu@l portant sur les concepts de base de la géométrie descriptive, discipline des cours de génie, d'architecture, d'arts et d'autres plus techniques. En général, les étudiants éprouvent beaucoup de difficulté à apprendre cette discipline et les professeurs à l'enseigner. Nous voulions découvrir les raisons des difficultés rencontrées par les étudiants pour ensuite développer et évaluer un outil qui puisse en faciliter l'apprentissage.

À partir de notre expérience comme professeur en géométrie descriptive pendant plusieurs années, nous avons noté que les étudiants avaient un problème de visualisation spatiale qui rendait difficile la compréhension des concepts inhérents à cette discipline. L'origine de cette déficience de visualisation spatiale semble remonter aux étapes antérieures de la vie scolaire, au primaire et au secondaire, où cette capacité devrait avoir été développée, notamment dans les cours de géométrie. L'enseignement traditionnel de la géométrie, et même de la géométrie descriptive, trop centré sur le contenu et donné de façon magistrale, contribue à rendre l'apprentissage difficile. Cette difficulté cause alors un manque d'intérêt de l'étudiant pour cette discipline qui est fort utile dans la vie professionnelle des architectes, des ingénieurs, etc.

À partir de cette analyse, à priori, nous nous sommes posé les questions et les sous-questions suivantes :

Questions :

1. Comment résoudre les problèmes de manque de visualisation spatiale qui rendent difficile l'apprentissage de la géométrie descriptive?
2. Quelle sorte de pédagogie utiliser pour rendre les étudiants actifs dans leur apprentissage, pour leur permettre de développer ce système complexe de représentation?
3. Quelle sorte d'outil pourra aider le professeur à rendre l'enseignement de la géométrie descriptive plus concret?
4. Comment rendre l'apprentissage de la géométrie descriptive plus intéressant, agréable et efficace?

Sous-questions :

- Est-ce que le Système GDVisu@l permet un apprentissage de la géométrie descriptive?
- Existe-t-il un lien (nous le nommerons ici *interaction*) entre le fait d'avoir déjà suivi un cours de géométrie descriptive et le degré d'apprentissage de la géométrie descriptive résultant de l'utilisation du système? (En d'autres mots, est-ce que le fait d'avoir suivi un cours de géométrie descriptive a un effet sur l'apprentissage de cette matière à l'aide du système?)

Avant de répondre à la première question relative au problème de visualisation spatiale, nous avons fait une étude minutieuse du développement de la capacité de perception spatiale et de la représentation de l'espace chez l'enfant, selon la théorie constructiviste, développée par Piaget. Dans un premier temps, nous avons considéré l'aspect général de cette théorie par rapport au développement de l'enfant pour ensuite nous attacher à ce qui concerne plus spécifiquement la perception et la représentation de l'espace. Pour raffiner cette étude, nous avons donné une importance particulière à l'acquisition des habiletés à travailler avec l'espace projectif, sur lesquels les concepts de la géométrie descriptive s'appuient. Nous avons analysé plusieurs recherches portant sur les difficultés

d'apprentissage du dessin technique, discipline qui exige de l'étudiant la maîtrise des mêmes habiletés qu'en géométrie descriptive. Ces recherches nous ont donné beaucoup d'indices pour résoudre le problème de la visualisation spatiale. Parallèlement, nous avons fait une révision du modèle proposé par les Van Hiele, pour comprendre et organiser l'acquisition des habiletés de visualisation spatiale dans l'apprentissage de la géométrie.

À partir de ce que nous avons analysé sur les difficultés de visualisation spatiale et d'apprentissage de la géométrie descriptive, nous avons décidé de bâtir un outil pédagogique informatique multimédia, élaboré dans une perspective constructiviste qui donne à l'étudiant le premier rôle dans les apprentissages. Le fait d'avoir choisi de bâtir un outil informatique est relié à la puissance de l'ordinateur comme moyen de traiter l'information appliquée à une situation d'apprentissage. En particulier, un système multimédia interactif offre des possibilités fort utiles pour faciliter la visualisation spatiale (avec la vidéo, les animations, la couleur, la manipulation d'images) aussi bien que pour faciliter un apprentissage selon les modèles constructivistes grâce à l'interactivité qui rend possible le rôle actif de l'étudiant. En plus de ces caractéristiques, le système fonctionne sur Internet, ce qui présente de nombreux avantages dont surtout celui de l'accessibilité.

Ainsi donc, nous avons développé un système d'apprentissage multimédia interactif, de façon systémique et systématique, appelé le GDVisu@l, en tenant compte de facteurs pédagogiques précis : la motivation, le rythme individuel, la participation active de l'étudiant, la perception sélective des messages, l'organisation des messages, la structuration du contenu, la stratégie de l'organisation des ressources, la réalisation d'activités variées, le choix des méthodes pédagogiques, la participation active et l'interaction, le guidage, la connaissance immédiate des résultats, l'application des connaissances et l'articulation avec les contacts humains.

Pour rendre l'apprentissage agréable, nous avons adopté une approche ludique pour bâtir le système, avec des activités qui représentaient des défis pour l'étudiant. Notre intention était que l'étudiant apprenne tout en s'amusant. Dès que c'était possible, nous avons fait appel aux connaissances intuitives de l'étudiant et à des situations pratiques d'application de la

géométrie descriptive. Pour rendre l'apprentissage plus efficace, nous avons prévu un module diagnostique pour mesurer le niveau de perception visuelle de l'étudiant et pouvoir ainsi offrir une aide à ceux qui éprouvaient des difficultés dans la maîtrise de cette habileté. Pendant que l'étudiant utilise le système, un feed-back immédiat lui est donné à chaque fois qu'il fait une erreur. Ce feed-back est à la fois une image, une animation ou une observation textuelle, qui fournissent des indices pour mieux comprendre et réussir l'exercice. Notre préoccupation tenait surtout au processus d'apprentissage et non pas seulement aux résultats. En fonction du paradigme de la découverte guidée adopté pour bâtir le système, l'étudiant a aussi la possibilité de demander l'aide d'un professeur à distance, via le système, par internet.

Pour résumer, notre hypothèse de recherche était la suivante : Un outil pédagogique informatique sur la géométrie descriptive, élaboré dans une perspective constructiviste qui laisse à l'apprenant le premier rôle dans les apprentissages permet à celui-ci de développer ses habiletés de perception, de représentation et de transformation des objets tridimensionnels qui sont mis en plan par des projections.

2. Rappel de la méthode

En principe, le système GDVisu@! a été développé pour être utilisé par les étudiants des cours d'architecture et de génie de l'université de Londrina, au Brésil où nous sommes professeur. La langue utilisée pour le bâtir est le portugais. Une mise à l'essai a été faite avec des jeunes brésiliens habitant au Québec; ils nous ont donné des indices pour améliorer le système avant que nous allions l'évaluer sur place auprès de la population cible, d'experts en technologie éducative et d'experts en géométrie descriptive.

L'évaluation a été faite par un groupe hétérogène d'étudiants volontaires en architecture, en génie, en arts, en dessin industriel, en mathématiques et avec quelques élèves du secondaire. Parmi ces individus, il y avait ceux qui n'avaient jamais étudié la géométrie descriptive aussi bien que ceux qui l'avaient déjà étudiée. Les étudiants ont fait un pré-test et un post-test. Les notes des tests ont servi à faire une analyse quantitative et à fournir

quelques indices concernant de l'efficacité du système. Chaque étudiant a passé environ quatre heures à faire toutes les activités et exercices du système. À la fin, ils ont été interrogés pour donner leur avis sur le système. L'évaluation auprès des experts a été faite dans une entrevue, après qu'ils aient utilisé le système ou après une démonstration de celui-ci. Les données récoltées dans les entrevues ont fait l'objet d'une analyse qualitative réalisée en vue de réajuster le produit, c'est-à-dire le système GDVisu@l. Pour faire l'analyse, nous avons utilisé le logiciel NUDIST.

3. Résultats et conclusions

Compte tenu de ce que les étudiants et les experts ont dit dans les entrevues, nous pouvons affirmer que les objectifs pédagogiques visés lors de la conception du système ont été atteints. Ils ont en effet spontanément fait plusieurs observations sur les points que nous avons, dès le début, considérés comme étant importants dans la création d'un système d'apprentissage multimédia interactif. Voici quelques-uns de ces points :

- L'aspect ludique a été remarqué et a constitué un élément important de motivation pour l'apprentissage de la géométrie descriptive. Les étudiants ont bien aimé le défi présenté par les exercices et ils attendaient toujours d'avoir une indication de leur réussite, à travers un signe quelconque, telle une lumière verte ou simplement le bouton « suivant » indiquant l'activité suivante.
- L'interactivité avec le système a vraiment été appréciée et remarquée par les étudiants. La satisfaction d'avoir un rôle actif dans leur apprentissage est évidente si on considère que la grande majorité des étudiants a préféré les activités de manipulation directe (72%) au détriment des activités de manipulation indirecte (22%) ou de celles sans manipulation (6%). Par contre, parmi les étudiants qui ont préféré les activités de manipulation indirecte (considérées plus difficiles et plus abstraites que celles de manipulation directe), il y avait des étudiants ayant des difficultés d'apprentissage de la géométrie descriptive et des étudiants n'ayant jamais étudié cette discipline. Cela suggère que le défi que représente la résolution d'un exercice considéré difficile et la

réussite finale peuvent être considérés comme une motivation à mettre plus d'effort dans une activité.

- Le fait que l'étudiant puisse construire sa connaissance a été mis en évidence. L'étudiant joue un rôle actif pendant tout le processus d'apprentissage en construisant sa connaissance à partir de l'interactivité avec le système. La manipulation des images et les observations des vidéos et animations aident l'étudiant à formuler des concepts ou à visualiser des opérations et des méthodes de représentation graphique. Ce processus devient évident, principalement si nous pensons à ceux qui n'avaient jamais étudié la géométrie descriptive ou aux experts en technologie éducative qui ont dû suivre le même cheminement que les étudiants.
- Les étudiants et les experts en géométrie descriptive ont fait des observations intéressantes sur le fait que le système prend en considération les différences individuelles et le rythme des étudiants. Ils reconnaissent le besoin de chacun de prendre son temps pour comprendre.
- Le fait que le système offre à l'étudiant un feed-back instantané lorsqu'il fait une erreur a été apprécié par la grande majorité des étudiants et des experts. Cette possibilité enrichit beaucoup l'aspect interactif du système dans le sens où l'étudiant ne se sent pas perdu quand il fait une erreur. Un bon feed-back ne doit pas seulement fournir la réponse directement, mais il doit stimuler la réflexion et le questionnement de l'étudiant. Un bon feed-back doit fournir des éléments pour que l'étudiant puisse sortir de sa difficulté, tout en apprenant quelque chose de nouveau.
- Dans le GDVisu@! l'étudiant est amené à réfléchir et à raisonner dès les premières activités. L'interactivité est étroitement liée à la cognition. Dans la plupart des cas, il faut que l'étudiant déduise des concepts des activités et des exercices.
- Les participants ont remarqué que, par rapport à son contenu, le système suit une démarche linéaire. D'une façon générale, ils ont considéré cela comme un

cheminement normal et positif. Ils ont comparé cela à un processus de recherche sur l'internet, où plusieurs options, à un moment donné, rendent difficile de se retrouver. La linéarité du GDVisu@I ne cause pas de problèmes de navigation selon l'opinion des étudiants. Peu d'étudiants ont exploré la possibilité de retourner aux exercices déjà faits en utilisant les cartes de navigation des situations, mais ceux qui l'ont fait ont trouvé la possibilité intéressante. Elle permet à l'étudiant d'établir son propre rythme de navigation dans le système.

- Le point fort du système, et le plus remarqué par les individus qui l'ont évalué, est la facilité de visualisation et, par conséquent, la facilité d'apprentissage, qui sont favorisées par l'utilisation de différents médias dans lesquels l'animation et la manipulation directe jouent un rôle important pour la compréhension, à partir de figures bidimensionnelles, de la troisième dimension.
- Le contenu du système a été perçu d'un regard propre à chacun des groupes étudiés. Les étudiants qui connaissaient déjà la géométrie descriptive ont comparé le contenu du système à celui du cours qu'ils avaient suivi; les étudiants qui n'avaient jamais étudié la géométrie descriptive ont parlé du contenu en lui-même; les experts en géométrie descriptive ont mis un accent spécial sur l'organisation du contenu, l'ordre de présentation des sujets traités; les experts en technologie éducative ont observé que le type de contenu se traite bien par le multimédia. Cela nous a fait penser à l'importance de considérer le contenu sous différents angles lors de la planification d'un système d'apprentissage multimédia.
- Par rapport aux aspects techniques, il nous semble que le système, comme outil d'apprentissage informatique, a joué son rôle, car les étudiants l'ont trouvé facile à utiliser et convivial. Il semble que, d'une façon générale, la navigation dans le système n'est pas compliquée. Du fait de la structure linéaire du système, l'étudiant n'a pas besoin de beaucoup se préoccuper de la navigation et, à chaque fois qu'il finit un exercice ou une activité, il clique sur le bouton « suivant » pour continuer. La barre de contrôle adaptative facilite la tâche de navigation sans que l'étudiant se sente perdu,

comme il arrive souvent à ceux qui naviguent sur internet. Étant donné la grande hétérogénéité des usagers du système, il fallait peut-être introduire une page, accessible en tout temps, expliquant la navigation.

- Nous avons noté que la présentation visuelle, c'est-à-dire la typographie, sa grandeur et sa couleur par rapport à celle du fond de l'écran, posait quelques problèmes. À part cela, il faudrait améliorer l'organisation des pages-écrans de quelques exercices.
- Dans n'importe quel domaine il faut que les équipements et que le serveur fonctionnent bien pour que le système puisse offrir à l'étudiant un apprentissage efficace et pas ennuyant. Il faut s'assurer que les équipements utilisés dans un cours, en direct ou à distance, fonctionnent bien.
- Le système, tel qu'il a été conçu, permet l'assistance et l'interaction avec les étudiants. Mais, probablement à cause des limitations au niveau informatique, la participation effective d'un professeur dans le processus d'apprentissage devient plus nécessaire. Parfois, le problème peut avoir une relation avec la matière en elle-même ou bien être de nature informatique, mais la possibilité de le résoudre donne une certaine sécurité à l'étudiant. Du côté du professeur, cela peut représenter une surcharge de travail, selon la quantité d'étudiants et sa disponibilité de temps.
- Comme nous l'avons vu, les opinions sur l'intégration pédagogique du système GDVisu@! varient beaucoup et elles montrent qu'il peut être utilisé à des moments différents. Le fait d'étudier avec le système ne signifie pas que le professeur ne soit plus nécessaire. L'utilisation du système, dans un établissement où les étudiants n'ont pas de maturité informatique ou ne sont pas familiers avec de tels outils ou d'autres types de systèmes multimédias, devrait se faire tout au long d'un cours régulier de géométrie descriptive. Cela pourrait permettre aux étudiants de mieux travailler leur perception et leur visualisation tout en augmentant l'efficacité de l'apprentissage dans ce cours. Dans une étape suivante, l'idée du changement d'approche ayant été acceptée, l'utilisation du système tout seul serait plus facile et efficace. Il faut que le concept

d'enseignement à distance soit intégré par l'étudiant pour qu'il puisse mieux accepter le professeur virtuel comme un vrai professeur. Dans le cas de GDVisu@l, un contact humain à travers le professeur virtuel a pour but de fournir un recours de plus à l'étudiant.

- Par rapport aux aspects affectifs, nous avons pu constater que les individus qui ont utilisé le système ont été très motivés (82,4%), très intéressés (73,5%) et très satisfaits (67,6%). Parmi les dix individus moins satisfaits, sept appartenaient à l'université où il y a eu des problèmes avec les équipements. Cela suggère que l'insatisfaction n'est peut-être pas exactement liée au système mais au fonctionnement des équipements.
- D'une façon générale, le système a accompli son rôle, car les étudiants qui avaient déjà étudié la géométrie descriptive ont pu faire une bonne révision de la matière, tandis que ceux qui ne l'avaient jamais étudiée, ont appris beaucoup. Pour ceux qui avaient des difficultés d'apprentissage dans un cours traditionnel, le système a représenté une façon rapide et efficace d'apprendre.

4. Retour critique

- **Sur le problème**

Comme nous l'avons vu dans la section 4 du chapitre 1, il y a plusieurs difficultés relatives à l'apprentissage et à l'enseignement de la géométrie descriptive. Nous croyons avoir contribué à diminuer ces problèmes en produisant un outil qui pourra faciliter l'apprentissage de la géométrie descriptive en mettant un accent spécial sur la visualisation. Du point de vue de l'enseignement, nous croyons que le GDVisu@l sera de grande utilité pour le professeur, car, grâce à lui, l'explication des concepts difficiles à visualiser devient plus facile.

Malgré les efforts que nous avons déployés pour concevoir et développer un système d'apprentissage selon des critères précis relevant de la pédagogie, de la technologie

éducative et de l'informatique, il y a encore beaucoup de points qui doivent être améliorés. Étudiants et experts ont fait des suggestions et des recommandations qui pourront enrichir le système. Les principales suggestions sont en rapport avec les aspects techniques de présentation du contenu : l'organisation de quelques interfaces, la grandeur et la couleur de la typographie utilisée. Par rapport aux aspects pédagogiques, il faudrait améliorer quelques textes explicatifs pour clarifier les consignes de certaines activités et de certains exercices.

- **Sur le développement de l'outil.**

Nous considérons que la méthodologie utilisée pour planifier et concevoir le système a beaucoup facilité le développement du prototype. Le fait d'avoir procédé à une étude minutieuse des difficultés des étudiants, des différentes possibilités de présentation des contenus en fonction des équipements et des logiciels disponibles, d'établir des objectifs précis en fonction des habiletés à développer chez les étudiants, tout cela a donné au système une certaine consistance et une unité. Le développement du prototype a été ensuite une simple « mise en page » ou une « mise à l'écran » d'idées claires et bien définies. Les informations qui apparaissent à l'écran, et la façon dont elles sont présentées, tiennent compte de différents facteurs pédagogiques afin que l'étudiant puisse transformer ces informations en connaissances.

- **Sur la méthode**

En principe, le GDVisu@l a été produit pour être utilisé avec les étudiants en architecture. Le fait d'avoir aussi été évalué par des étudiants en Génie civil, en Dessin industriel, en Arts, en Mathématiques et même par quelques élèves du secondaire, nous a montré de nouvelles perspectives d'utilisation du système. Les étudiants en Dessin industriel et en Arts n'avaient pas de cours de géométrie descriptive dans leurs programmes et ils ont noté que l'utilisation de GDVisu@l peut améliorer considérablement leur visualisation spatiale, habileté très importante dans leur cours. Par rapport aux élèves du secondaire, nous avons pu noter qu'ils ont bien compris les concepts présentés dans le système. C'est peut-être une

utopie de penser que la géométrie descriptive pourrait retourner au curriculum du secondaire, mais si au moins les concepts de projection et de perspective étaient travaillés, si la capacité de visualisation spatiale était un des objectifs de l'enseignement du primaire et du secondaire, peut-être pourrions-nous, dans le futur, avoir des étudiants mieux préparés à l'apprentissage de la géométrie descriptive et du dessin technique à l'université. À la place d'enseigner les rudiments de la perception et de la représentation de l'espace tridimensionnel, nous pourrions avancer dans la représentation des idées à travers les cours de « projets ». Aujourd'hui, les professeurs de géométrie descriptive affirment que les étudiants peuvent avoir de bonnes idées, mais qu'il n'est pas toujours vrai qu'ils savent comment les représenter. Mais peut-être que grâce à une bonne formation, comme celle que nous suggérons, cette affirmation ne sera plus valide et que les étudiants seront alors capables de représenter leurs idées.

- **Sur les conclusions**

Les résultats obtenus à partir des notes de pré et post-test fait par les étudiants qui ont évalué le système, ont des limites à cause de l'absence de groupe témoin et de la petite taille de l'échantillon des étudiants et de son hétérogénéité. Malgré cela, ces résultats nous ont données quelques indices de l'efficacité du système. La validité des résultats quantitatifs de l'évaluation est également limitée par le fait que les étudiants étaient volontaires. Ce fait a été hors de notre contrôle et a représenté un des imprévus qui arrivent toujours dans une recherche. Mais nous pensons également que cela a eu aussi des points positifs. Parce qu'ils étaient volontaires, les étudiants ont eu la motivation nécessaire pour évaluer le système jusqu'à la fin, malgré toutes les difficultés techniques avec les équipements qu'il y a eu dans une des universités, et malgré le fait que certains d'entre eux, dans une autre université, étaient dans une semaine très chargée de fin de cours. L'analyse qualitative des données récoltées à travers les entrevues nous a montré des aspects fort intéressants de l'impact du GDVisu@l sur les étudiants et les experts.

5. Apports du travail

- **Pour l'éducation**

Une des grandes difficultés que nous avons eu pour développer le GDVisu@I a été le manque d'un modèle de système d'apprentissage bâti selon une approche constructiviste.

Notre défi a été de faire la transposition informatique d'une méthodologie constructiviste utilisée dans un cours traditionnel. Nous pensons que nous avons atteint notre but et c'est en cela que réside l'originalité de cette recherche. Nous avons en effet montré qu'il est possible de proposer un apprentissage multimédia et constructiviste d'une discipline telle que la géométrie descriptive, qui exige la visualisation et la manipulation de formes et de mesures tout en donnant la possibilité à l'étudiant d'être assisté par des images et de dessiner lui-même à l'écran. Il faut utiliser la technologie développée dans cette recherche pour l'appliquer à d'autres domaines de connaissance. En particulier, il faut l'utiliser pour produire des systèmes d'apprentissage dans les disciplines où la visualisation spatiale représente un facteur important pour la compréhension des concepts plus abstraits, tels la physique, la chimie, la biologie et ainsi de suite.

Le système multi-agent, qui est à la base de l'architecture du système, doit être utilisé dans la production d'autres systèmes d'apprentissage dans des domaines variés. En effet, ce système allie les avantages d'un enseignement multimédia individuel aux avantages d'un enseignement presque présentiel, individualisé. La possibilité d'avoir l'aide d'un professeur « online » via Internet, augmente le portée du GDVisu@I en tant que système d'apprentissage. Le développement d'autres systèmes de ce type exige simplement d'organiser une bonne équipe pluridisciplinaire comprenant des experts de contenus des différents domaines et des spécialistes en technologie éducative.

- **Pour l'enseignement**

Même si nous avons commencé à développer le système pour travailler la géométrie descriptive au niveau universitaire, nous pensons que les mêmes principes sont valides pour travailler la géométrie plane et spatiale, du primaire et du secondaire. Nous pensons que travailler la géométrie de cette façon peut améliorer davantage la perception spatiale des individus, car les enfants qui développent un bon sens des rapports spatiaux et qui maîtrisent les concepts de géométrie sont mieux préparés à l'apprentissage des idées de nombre et de mesure, ainsi que d'autres sujets de mathématiques plus avancées.

Une variation sur le même thème pourrait être la création d'un outil pouvant être utilisé par le professeur quand il a besoin de montrer aux étudiants les opérations les plus difficiles à concrétiser avec du matériel ou même à représenter avec exactitude au tableau. Des exemples typiques pourraient être l'épure, le rabattement de plans, la rotation de figures, le changement de plans, etc.

Le GDVisu@I pourrait être utilisé dans l'enseignement présentiel aussi bien que dans l'enseignement à distance. Plusieurs professeurs et plusieurs universités pourraient utiliser le système et, dans ce cas, on pourra mieux évaluer l'intervention du professeur ainsi que l'interface du professeur qui n'ont pas encore été testées.

Le même contenu du système pourrait être placé sur un cédérom et l'utilisateur pourrait alors avoir encore plus de liberté d'exploration. Dans ce cas, il ne sera pas nécessaire de garder la trace de l'étudiant, si on n'a pas quelqu'un pour suivre la performance de celui-ci. Il s'agira alors d'un système d'enseignement avec une philosophie différente de celle que nous venons d'évaluer. L'étudiant qui sait déjà ce qu'est une épure pourra aller directement au module trois par exemple, sans passer par les modules 1 et 2. Il y a une grande souplesse pour la révision par exemple.

6. Apports pour la recherche

- **De nouvelles questions de recherche**

De nouvelles recherches pourraient être faites à partir de ce travail. Par exemple : analyser la façon de raisonner de l'étudiant quand il résout les activités et les exercices. Cela peut être fait à partir de l'observation de l'étudiant pendant qu'il utilise le système ou en lui demandant d'expliquer le chemin qu'il a suivi pour résoudre chaque exercice, principalement dans ceux où il a fait des erreurs. Une recherche comme celle-là pourrait servir de base pour améliorer la conception de nouveaux systèmes d'apprentissage multimédia, pour prévoir les erreurs que l'étudiant pourrait faire et pour préparer des objets d'intervention dans ces cas.

Une autre possibilité de recherche pourrait être l'analyse de la trace que l'ordinateur garde de l'activité de l'étudiant pendant qu'il utilise le système. À travers cette trace, le professeur peut avoir une idée de la performance de l'étudiant pendant qu'il utilise le système. Le plus important cependant, est le fait que le système permette au titulaire de la discipline d'accompagner l'évolution et les difficultés de l'étudiant dans le processus d'apprentissage, et donc de l'aider dans des moments précis. L'étude de la trace pourrait fournir des informations intéressantes pour l'amélioration du système.

- **Apports méthodologiques.**

Il faut continuer ce travail parce qu'il peut apporter beaucoup de bénéfices tant à l'enseignement présentiel qu'à celui à distance.

Nous voulons renforcer ici l'idée qu'il faut continuer à produire des systèmes d'apprentissage multimédias selon une approche constructiviste en exploitant toutes les possibilités offertes par le multimédia et par l'interactivité, qui rend l'étudiant actif, non seulement pour « pitonner » mais surtout pour raisonner et faire des choix. Le défi et le

plaisir d'apprendre doivent être présents dans les buts poursuivis dans l'élaboration de nouveaux systèmes d'apprentissage.

Ce travail ne s'arrête certainement pas ici, il commence. Il faut non seulement utiliser le GDVisu@! dans les cours de géométrie descriptive pour lesquels il a été développé, mais rendre accessibles, sur une large échelle, les techniques et les méthodes utilisées pour le concevoir et le développer. Il est important que d'autres professeurs, avec une équipe de technologues en éducation, puissent développer leurs propres systèmes d'apprentissage afin que le plus grand nombre d'étudiants et d'élèves puissent avoir accès à ce genre d'outil et à cet apprentissage qui relie l'efficacité à l'intérêt et au plaisir d'apprendre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abe, H., Yosida, K., (1998). « Measurement of Interpretation Ability on Architectural Floor plan ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 281-285. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).
- Audibert, G. (1992). «L'espace en géométrie». In *Revue de Topologie Structurale*. Vol. 18 p. 49-62. Montréal. Université du Québec à Montréal.
- Artaud, J., Dolle, J.M., Lardeaux, P. (1985). «Difficultés dans l'apprentissage et utilisation des aspects géométriques du dessin en L.E.P ». In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique - Des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de recherche – 1984, No 9. pp.163-203. Paris. Institut National de recherche pédagogique.
- Baar, R.. E., et al. (1998). « The Freshman Engineering Design Graphics Course at the University of Texas at Austin ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 2, pp. 543-548. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).

- Bal, J.J., Rabardel, P., Verillon, P. (1985). « Présenter la géométrie du dessin technique ». In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique - Des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de recherche – 1984. No 9. pp. 13-32. Paris. Institut National de recherche pédagogique.
- Balacheff, N., Baron, M., Desmoulins, C., Grandbastien, M. et Vivet, M. (1997). « Conception d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur: Tendances et perspectives ». In *Actes du PRC-GDR Intelligence artificielle*. S. Pesty & P. Spiegel (eds). Paris : Hermès.
- Balacheff, N. (1994). « La transposition informatique – Note sur un nouveau problème pour la didactique ». M. Artigue, R. Gras, C. Laborde et P. Taviguots (eds.). In *Vingt ans des mathématiques en France*, La Pensée Sauvage éditions, Grenoble.
- Balacheff, N., Vivet, M. (1994). « Introduction ». In *Recherches en Didactique des Mathématiques*. Vol. 14, n° 12 . pp. 5-8.
- Baracs, J. (1992). « Le développement de la perception spatiale à l'aide des projections ». In *Revue de Topologie Structurale*. Vol 19, pp. 47 - 70. Montréal. Université de Québec à Montréal.
- Bélanger, M., La Palme, J.B.(1992). « Les structures spatiales initiales chez les élèves face à des problèmes de robotique ». In *Revue de Topologie Structurale*. Vol. 19, pp. 21 - 32. Montréal. Université de Québec à Montréal.
- Bellemain, F. (1992). *Conception, réalisation et expérimentation d'un logiciel d'aide à l'enseignement de la géométrie: Cabri Géomètre*. Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Birzea, C. (1982). *La pédagogie du succès*. Paris : Presses Universitaires de France.

- Blin, B., Duron, H. Giriat. (1985). «Des outils pour aborder le dessin technique. In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique - Des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de recherche – 1984, No 9. Paris. Institut National de recherche pédagogique, 1985. pp. 49 - 116.
- Braconné, A. (1980). Compréhension de la démonstration en géométrie chez les professeurs et les élèves au secondaire. Mémoire présenté à l'Université Laval.
- Bruce, M., Foster, J.J. (1982). «The visibility of colored characters on colored backgrounds, viewdata displays ». In *Visible language*, 16(4), 382-390.
- Bruner, J.S. (1983). *Le développement de l'enfant. Savoir-faire, savoir-dire*. Paris. Presses universitaires de France.
- Caro, S., Bétrancourt, M., (1998). « Ergonomie des documents techniques informatisés : expériences et recommandations sur l'utilisation des organisateurs paralinguistiques ». In A. Tricot et J.F. Rouet (dir.), *Les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques*. pp. 123-138. Paris . Hermès (numéro hors série de la revue Hypertextes et hypermédias).
- Castrucci, B. (1981). «Desenho e os fundamentos matemáticos». In *Anais do II Congresso Nacional de Desenho, Florianópolis*.
- Chabot, N. (1990). *Le développement parallèle des notions de proportion et de projection géométrique*. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de maître ès arts (M.A.). École des gradués - Université Laval.
- Charlier, P. (1999). «Interactivité et interaction dans une modélisation de l'apprentissage». In *Revue des sciences de l'éducation*. Vol XXV, n° 1,1999. pp. 61-85.

- Chen, C., Rada, R. (1996). « Interacting with hypertext : A meta-analysis of experimental studies ». In *Human-Computer Interaction*. 11(1), 1. pp.25-156.
- Cherry, J.M., Fischer, M. J, Fryer, B.M., Steckman, M.J. (1989). « Modes of presentation for on-line help : Full screen, split screen and windowed formats ». In *Behaviour and Information Technology*. 8 (6), pp. 405-416.
- Clements, D. H., Battista, M. T. (1992). «Geometry and Spatial Reasoning» In *Handbook of Research of Mathematics Teaching and Learning*. NY. Edited by Douglas A. Grows (a project of the National Council of Teachers of Mathematics).
- Coe, M. (1996). « Sensation, perception and user documentation ». In *Intercom*, 02/96, pp.13-15.
- Denis, L.P. (1987). «Relationships between stage of cognitive development and Van Hiele level of geometric thought among Puerto Rican adolescents ». In *Dissertation Abstracts International*, 48, 859A. (University Microfilm No. DA8715795.)
- Depover, C., Giardina, M., Marton, P. (1998). *Les environnements d'apprentissage multimédia – Analyse et conception*. Paris : L'Harmattan. 264 p.
- Evans, R. (1977). *Jean Piaget - Mes idées*. Paris, Denoël Gonthier. 184 p.
- Ferreira, E. D., Trinchão, G.M.C., Santos, R.C.G. (1994). «Perfil de formação do professor de desenho. In *Anais do Graphica 94*. pp.375- 382. Recife – Brésil. Imprimé dans la Coordenadorea de Recursos Didáticos da Escola Técnica Federal de Pernambuco.
- Field, B.W. (1998). « A Course in Spatial Visualisation ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 221-225. Austin-USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).

- Futtersack, M. (1990). *QUIZ : Une architecture multi-agents pour un tuteur intelligent*. Thèse de l'Université Paris VI. Paris.
- Giardina, M. (1999). « Modélisation de l'apprenant et interactivité ». In *Revue des sciences de l'éducation*, Vol XXV, no 1, 1999, pp. 35 à 59. Montréal.
- Giardina, M. (1997). « Revenir à l'interactivité. In Points de vue sur le Multimédia interactif en éducation », entrevue consignée dans *Points de vue sur le multimédia interactif en éducation – Entretiens avec 13 spécialistes européens et nord-américains*. (sous la dir. de Claire Meunier). Montréal : Chenelière/McGraw-Hill.
- Giardina, M., Laurier, M., Meunier, C. (1995). « Les multiples aspects de l'interactivité significative dans un environnement d'apprentissage multimédia ». Notes de cours : Activités pratiques en atelier. Université du Montréal. pp.1-29.
- Giroux, L., Belleau, R. (1986). « What's on the menu? The influence of the menu content on the selection process ». In *Behaviour and Information Technology*, 5(2), pp. 169-172.
- Goulart, I.B. (1989). *Piaget - Experiências básicas para utilização pelo professor*. Petrópolis. Editora Vozes.
- Gray, S.H. (1990). « Using protocol analysis and drawing to study mental model construction during hypertext navigation ». In *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2(4), pp. 359-377.
- Gutiérrez, A. (1992). « Exploration des liens entre les niveaux de Van Hiele et la géométrie tridimensionnelle ». In *Revue de Topologie Structurale*, vol. 18. pp. 31 -48. Montréal. Université de Québec à Montréal.
- Gutknecht, O., Ferber, J. (1998). « Un méta-modèle organisationnel pour l'analyse, la conception et l'exécution de systèmes multi-agents ». In *Actes des 6^e journées*

francophones en intelligence artificielle et systèmes multi-agents. Abbaye des Prémontrés, Pont-à-Mousson, France.

Hawk, M.C. (1962). *Theory and problems of Descriptive Geometry*. N.Y. Schaum Publishing Co.

Haysaka, H., Morita, K., Matsuoka, R. (1998). « Spatial Visualization Trial Test and Results ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 277-280. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).

Higele, P. (1985). « L'apprentissage des opérations de projections projectives. » In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique - Des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de recherche – 1984, No 9, Institut National de recherche pédagogique, Paris, 1985. pp. 117 - 162.

Kaltenbach, M., Robillard, F., Frasson, C. (1991). « Screen management in hypertext systems with rubber sheet layouts ». In *Hypertext '91 Proceedings* (p. 91-105). San Antonio, CA : ACM Press.

Katz, S., Lesgold, A. (1996). « Students' use of textual and graphical advising resources in a coached practice environnement for electronic troubles shooting ». In *UCSI'96 Conference*. Poitiers.

Kopke, R.C. M. (1996). « Desenho e escola », In *Anais Graphica 96*. pp. 83-89. Florianópolis. Imprensa Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina.

Kulhavy, R., White, M. T., Topp, B. W., Chan, A. L., Adams, J. (1985). « Feedback complexe and efficiency ». In *Contemporary Educational Psychology*. Vol. 10, pp. 285-291.

- Laborde, C., Laborde, J.M. (1991). «Micromondes intelligents et environnements d'apprentissage.» In *Actes des XI^{èmes} Journées francophones sur l'informatique*. Grenoble, pp. 157 – 177.
- Laborde, J.M. (1985). « Des connaissances abstraites aux réalités artificielles : le concept de micromonde Cabri » J. F. Nicaud et D. Py (eds) : In *Environnements Interactifs d'Apprentissage avec ordinateur*. Paris. Eyrolles, 41 p.
- Lansdale, M.W., Simpson, M., Stroud, T.R. (1990). « A comparison of words and icons as external memory aids in an information retrieval task ». In *Behaviour and Information Technology*. 29 (2), pp. 111-131.
- Leopold, C., Muller, L. (1998). « Developpement of Spatial Visualization Skills by Means of VRML-Tools ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 257-260. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).
- Leroux, P. (1995). *Conception et réalisation d'un système coopératif d'apprentissage. Étude d'une double coopération : maître/ordinateur et ordinateur/groupe d'apprenants*. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, ParisVI, spécialité informatique. Université Paris VI. France
- Levie, W., Lentz, R. (1982). « Effect of text illustrations : A review of research ». In *Educational Communication and Technology Journal*, 30, pp. 195-232.
- Levin, J.R., Anglin, G.J., Carney, R. N. (1987). « On empirically validating functions of pictures in prose ». In D. M. Willows et H.A. Houghton (dir), *The Psychology of illustration*. Vol. 1 – Basic research, pp. 213 – 237. New York, NY : Springer-Verlag.
- Levonen, J.J. (1996). « The complexities of newspaper graphs ». In *UCSI'96 Conference*. Poitiers.

- Linard, M. (1990). *Des machines et des hommes. Apprendre avec les nouvelles technologies*. Paris : Éditions universitaires (2^e éd. avec postface, 1996, Paris : L'Harmattan).
- Lopes, E.M.L., Almeida, O. (1996). «Uma nova abordagem sobre o ensino de desenho e computação gráfica: relato crítico sob o ponto de vista do aluno». In *Anais Graphica 96*. pp. 446-455. Florianópolis - Brésil. Imprensa Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Marton, P. (1994). «La conception pédagogique des Systèmes d'apprentissage multimédia interactif : fondements, méthodologie et problématique » In *Revue Educatechnologique*, vol a 1, numéro 3 (septembre). pp. 91-112.
- Marton, P. (1992). «Une pédagogie des images adaptée et efficace». *Rasegna di Pedagogia*, vol 1, p. 45 - 65.
- Marton, M., Harvey, D. (1994). « L'évaluation des systèmes d'apprentissage multimédia interactif ». In *Congrès de l'ACFAS - UQAM*. Montréal.
- Merlat, W. et Seyrat, C. (1997). « JavaNetAgents : une plate-forme d'exécution d'agents mobiles sur internet ». In *Actes des 5^e journées francophones en intelligence artificielle et systèmes multi-agents*. La Colle sur Loup, Côte d'Azur, France.
- Merlet, S., Gaonac'h, D. (1996). « Pictures and listening in a foreign language : Analysis in terms of cognitive load ». In *UCSI'96 Conference*. Poitiers. France.
- Merlet, S. (1998). « Niveaux de traitement et intégration des informations multimédias. L'exemple de la compréhension orale en langage étrangère ». In *A. Tricot et J.F. Rouet (dir) Les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques*. pp. 141-156. Paris : Hermès (numéro hors série de la revue Hypertextes et hypermédias).

Merril, M.D. (1988). « The role of tutorial and experiential models in intelligent tutoring system. » In *Educational Technology*, 28 (7), pp.7-13.

Mohageg, M. H. (1992). « The influence of hypertext linking structures on the efficiency of information retrieval ». In *Human Factors*, 34 (3), pp. 351-367.

Monge, G. (1799). *Géométrie Descriptive*. Paris : Boudouin, Imprimeur du Corps Législatif et de l'Institut National, l'an VII de la République.

Monteil, J. M. (1985). *Dynamique sociale et systèmes de formation*. Maurecourt : Éditions universitaires UNMFREO.

Moreto, V. P. (1999). « Reflexões contrutivistas sobre habilidades e competências ». In *Dois Pontos : Teoria & Prática em Gestão*. Vol 5, no 42, Maio-junho 99. pp.50-54 Belo Horizonte. Fundação Pitágoras.

Murch, G.M. (1995). « Colours graphics – blessing or ballyhoo? » In R.M. Baecker, J. Grudin, W.A.S. Buxton (dir.), *Human-computer interaction; Toward the Year 2000*, pp. 442-443. California : Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

Nauk, P. I. (1998). « The Formation of Pre-University Education in Graphics ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 336-338. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).

Neves, A. F. (1996). «Para que desenho no 2o grau? Relato de pesquisa». In *Anais do Graphica 96*, pp. 67 - 75.

Noël, B. (1991). *La métacognition*. Bruxelles: De Boeck-Wesmæl.

- O'Neil, M., Razort, R.A., Bartz, W. R. (1976). « Immediate retention of objective test answers as a function of feedback complexity ». In *Journal of Educational Research*, Vol. 70, no 2, pp. 72-75.
- Paillé, P. (1994). « L'analyse par théorisation ancrée ». In *Cahiers de recherche sociologique*, n° 23.
- Pallascio, R. et Allaire, R.(1992). «Représentation de l'espace et habiletés spatiales». In *Revue de Topologie Structurale*, Vol. 18, pp.5 - 6.
- Pallascio, R., Allaire, R. et Mongeau, P. (1992). «Représentation de l'espace et enseignement de la géométrie». In *Revue de Topologie Structurale*, Vol. 19 pp. 71 - 82.
- Paquette, G. (1999). « L'ingénierie des interactions dans les systèmes d'apprentissage ». In *Revue des sciences de l'éducation*. Vol. XXV, no 1, pp. 131-165.
- Parzysz, M. B. (1989). *Représentations planes et enseignement de la géométrie de l'espace au lycée. Contribution à l'étude de la relation voir/savoir*. Thèse de doctorat présentée à l'université Paris VII. Paris. 490 p.
- Pavel, P. (1999). *GIDVisu@I – Environnement Distribué Interactif pour l'Apprentissage Humain de la Géométrie Descriptive*. Thèse de doctorat présentée à l'Université du Maine. Le Mans. 283 p.
- Pavel, P., Balacheff, N., Vivet, M. (1997). « Impacto da descoberta dirigida telepresencial nos ambientes interativos de aprendizagem ». In *Anais do VIII Simpósio brasileiro de informática na educação*. Novembre. pp. 18-20. São José dos Campos. Brésil.
- Pavel, P. (1996). « La Géométrie Descriptive comme un outil de passage réciproque entre l'espace et le plan ». In *Rapport de recherche de doctorat, Journée des Thesards*

96/97 (non publié). Juin, Laboratoire Leibnz, IMAG, Université Joseph Fourier. Grenoble. France.

- Pavel, P. (1995). *Sisautor, um Sistema de Autoria para a Construção de Tutores Hipermedia em Cardiologia*. Mémoire de Maîtrise (Msc.) présenté à la Coordination des Programmes de post-graduation (2eme cycle) en Génie (COPPE) de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ). Brésil.
- Phye, G. D. (1979). « The processing of informative feedback about multiple-choice test performance ». In *Contemporary Educational Psychology*. Vol 4, pp. 381-394.
- Piaget, J., Inhelder, B. (1966a). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., Inhelder, B. (1966b). *La psychologie de l'enfant*. Paris : Presses universitaires de France.
- Piaget, P., Inhelder, B. (1948a). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France. 576p.
- Piaget, J., Inhelder, B. (1948b). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Paris : Delachaux & Niestlé S.A.
- Piaget, J., Inhelder, B; Szeminska, A. (1948). *La géométrie spontanée de l'enfant*. Paris : Presses universitaires de France.
- Pöla, M.C.R. (1994). « A Proposal for Teaching Descriptive Geometry for Architectural Students » In *Proceedings of the Sixth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 239-243. Tokyo, Japan.

Edited by : Kenjiro Suzuki and Kastuyuki Yoshida. University of Tokyo and Osaka University.

Pressey, S. L. (1926). « A simple apparatus which gives test scores and teaches ». In *School and Society*, vol. 23, pp. 273-276.

Provancher, G. (1985). « Les fonctions informatives et les principaux facteurs des feedback correctifs dans l'apprentissage scolaire ». In *Revue des Sciences de l'Éducation*, vol XI, no 1, pp. 67-81.

Rabardel, P. (1992). «L'utilisation d'instruments est-elle une source de savoirs spatiaux». *Revue de Topologie Structurale*, vol. 19, pp. 9 – 20. Montréal : Université de Québec à Montréal.

Rouet, J.- F. (1992). « Apprendre à lire un hypertexte : une étude expérimentale ». In *Cahiers de linguistique sociale*, 21, 81-92.

Rouet, J-F. (1999). Interactivité et compatibilité cognitive dans les systèmes hypermédias In *Revue des sciences de l'éducation*. Vol. XXV, no 1, 1999. pp. 87-104.

Saad, S., Davis, G. (1997). Visual Perception and Image Formation in Three Dimensional Geometry. <http://www.soton.ac.uk/~gary/Saad&Davis.html>. University of Southampton.

Saito, T., Suzuki, K., Jingu, T. (1998). « Relations between Spatial Ability Evaluated by a Mental Cutting Test and Engineering Graphics Education ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 231-235. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).

Sakarovitch, J. (1991). « La taille de pierres et la géométrie descriptive ». In *La figure et l'espace*, Actes du 8^{ème} Colloque Inter-IREM, pp. 117-138. Lyon, France.

- Scallon, G. (1983). « L'évaluation formative des productions de discours ». In *Vie pédagogique*, no 24, avril 1983, pp.4-9.
- Silva, A. P. (1992). « Hypermedia, influence of interactive freedom degree in learning process ». In A. Oliveira (dir.), In *Hypermedia courseware, structures of communication and intelligent help*. pp.145-156. Berlin : Springer-Verlag.
- Sorby, S. A., Baartmans, B. J. (1998). « A Longitudinal Study of a Pre-Graphics Course Designed to Improve the 3-D Spatial Skills of Low Visualizers ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 247-251. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).
- Sorby, S. A., Gorska, R. (1998). « The Effect of Various Courses and Teaching Methods on the Improvement of Spatial Ability ». In *Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry*. Vol. 1, pp. 252-256. Austin, USA. International Society for Geometry and Graphics (ISGG).
- Sturges, P. T. (1969). « Verbal retention as a function of the informativeness and delay of informative feedback ». In *Journal of Educational Psychology*, Vol. 60, n° 1.
- Tricot, A., Rufino, A. (1999). « Modalités et scénarios d'interaction dans les hypermédias d'apprentissage ». In *Revue des sciences de l'éducation*, Vol XXV, n° 1, 1999, pp. 105-129.
- Van der Maren, J.-M. (1995). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal.
- Van Hiele, D. (1957). *The Didactics of Geometry in The Lowest Class of Secondary School*. Thèse de Doctorat. University of Utrecht.

- Van Hiele, P.M.(1959). «Development and Learning Process». In *Acta Paedagogica Ultrajectina*, 17.
- Vasconcelos, A. P. (1996). «Um olhar no futuro» In *Anais Graphica 96*. pp. 398-406. Florianópolis - Brésil. Imprensa Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Vassileva, J., Greer, J., McCalla, G., Deters, R., Deters, R., Zapata, D., Mudgal, C. Grant, S. (1999). « A multi-agent design of a Peer-Help Environment ». In Actes du AIED'99, Le Mans, France.
- Vries, E. de, Tricot, A. (1998). « Évaluer l'utilisation d'hypermédia : intérêts et limites des variables de performance ». In A. Tricot et J.-F. Rouet (dir), *Les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques* (p.175-190). Paris : Hermès (numéro hors série de la revue Hypertextes et hypermédias).
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge : Harvard University Press.
- Waterworth, J.A., Chignell, M.H., Zhai, S.M. (1993). « From icons to interface models : Designing hypermedia from the bottom up ». In *International Journal of Man-Machine Studies*, 39, 453-472.
- Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems : Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. Los Altos : Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Wright, P. (1991). « Cognitive overheads and protheses : Some issues in evaluating hypertexts ». In *Hypertext'91 Proceedings* (p. 1-12), San Antonio : ACM Press.

- Wright, P., Lickorish, A. (1994). « Menus and memory load : Navigation strategies in interactive search tasks ». In *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, 965-1008.
- Wright, P., Lickorish, A. (1990). « An empirical comparaison of two navigation systems for two hypertexts ». In R. McAleese et C. Green (dir.) *Hypertexts : State of the art*, pp. 84-93. Oxford : Intellect Ltd.
- Zougarri, G. Weill-Fassina, A., Vermersch, P. (1985). « Performances et compétences d'élèves de L.E.P. dans des épreuves de lecture de forme ». In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique - Des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de recherche – 1984, No 9. Paris. Institut National de recherche pédagogique. pp. 208-286.

BIBLIOGRAPHIE

- Bishop, A. (1973). «Use of Structural Apparatus and Spatial Ability: A Possible relationship», In *Research in Education*, Vol. 9, pp.43-49.
- Bishop, A. (1989). «Review of research on visualisation in mathematics education», In *Focus on Learning Problems in Mathematics*, Vol. 11.1, pp.7-16.
- Chang, S-K. (1986) «Visual Languages: a Tutorial and Survey». Lecture Notes Computer Science. In *Numéro spécial de Visualization in Programming - 5th Interdisciplinary Workshop in Informatics and Psychology*. Scharding, Austria. p. 1 - 23.
- Flake, J.L et al. (1990). *Fundamentals of Computer Education*. Belmont, California, Wadsworth Publishing Company.
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind - The Theory of Multiple Intelligences*. NY, Basic Books, Inc. Publishers.
- Laville, C., Dionne, J. (1996). *La construction des savoirs - Manuel de méthodologie en sciences humaines*. Les Éditions de la Chenelière inc. Québec. xii - 346 p.
- Segal, L. (1986). *Le rêve de la réalité - Heinz von Foerster et le constructivisme*. Paris. Éditions du Seuil. 221 p.

Annexe 1

**Le travail de collaboration
académique entre Marie-Claire
Ribeiro Póla et Paulo Pavel autour
de GDVisu@l**

ANNEXE 1

Le travail de collaboration académique entre Marie-Claire Ribeiro Póla et Paulo Pavel autour de GD.Visu@I

1. La recherche pluridisciplinaire

Pour que la construction d'un « vrai produit » soit possible, les Systèmes d'Apprentissage Multimédia Interactif doivent être conçus et développés par des équipes pluridisciplinaires, où le professionnel de chaque spécialité contribue au développement selon son domaine de connaissance. Dans un travail pluridisciplinaire par excellence, chacun suggère des idées, définit les limites, tient compte des exigences et des besoins de son domaine dans le travail commun (Pavel, 1996).

Une partie de l'environnement conçu dans le cadre de cette thèse est en fait le fruit des travaux menés par Marie-Claire Ribeiro Póla (dans le cadre d'une thèse en technologie éducative), nommée dorénavant spécialiste en technologie éducative et par Paulo Pavel

(dans le cadre d'une thèse en informatique), nommé dorénavant spécialiste en informatique.

La recherche et développement commun devient un vrai travail de collaboration pluridisciplinaire. Cette pluridisciplinarité enrichit la recherche et rendue viable la construction d'un environnement adéquat à l'enseignement de la discipline visée, à travers l'action conjointe du spécialiste en technologie éducative (aspects qui se rapportent à la transposition didactique et à la définition des facteurs pédagogiques) et du spécialiste en informatique (aspects qui se rapportent à la transposition informatique, conception et l'implantation). Le rôle de spécialiste du contenu (savoir de référence et savoir à enseigner) est joué ensemble, parce que tous deux, connaissons déjà le contenu de la géométrie descriptive.

Ce travail fait partie d'une collaboration académique entre le LIUM - Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine - l'Université du Maine, au Mans (France) où la thèse de Paulo Pavel est conduite et le GRAIM - Groupe de Recherche sur l'Apprentissage Interactif Multimédia - l'Université Laval, au Québec (Canada) où la thèse de Marie-Claire Ribeiro Póla est conduite. Ce texte qui décrit le travail de collaboration académique est rédigé en commun entre les deux collaborateurs et est présenté en annexe dans les deux thèses.

2. Coopération et collaboration

Deux termes coopération et collaboration sont souvent considérés comme étant synonymes, bien qu'ils ne le soient pas. Le modèle de travail pluridisciplinaire adopté exige de bien préciser la différence entre ces deux termes, qui désignent en fait deux modalités de résolution d'un même problème par plusieurs agents¹. La différence se situe au niveau de la tâche et de la responsabilité de son exécution, avec un but global commun, la résolution d'un même problème (Leroux , 1995) :

¹ Agent - entité informatique, système informatique, une personne ou un groupe de personnes.

- coopération — tâches différentes (sous tâches), responsabilité individuelle
- collaboration — une seule tâche, responsabilité partagée

La recherche pluridisciplinaire a connu des phases de travail coopératif et d'autres de travail collaboratif. Nous allons adopter le terme générique collaboration pour désigner l'ensemble des deux modalités, et uniquement les différencier quand cela s'avère vraiment nécessaire.

Les recherches individuelles menées avant le début de la collaboration ont abouti presque aux mêmes conclusions par rapport :

- aux difficultés usuelles rencontrées par les apprenants,
- l'utilisation des moyens informatiques pour permettre le développement des capacités spatiales, c'est-à-dire, avec le recours aux capacités de visualisation de l'ordinateur.

Les références bibliographiques relatives à des recherches sur l'enseignement de la géométrie descriptive sont presque inexistantes et celles concernant les capacités spatiales des apprenants sont insuffisantes. La documentation spécialisée est un peu plus volumineuse sur la didactique de la géométrie spatiale. Pour cette raison, la documentation consultée est quasiment identique pour les deux chercheurs.

3. Historique de la collaboration

3.1. Apports initiaux du spécialiste en technologie éducative

Le spécialiste en technologie éducative, avant le début de la collaboration, a conduit et réalisé différents travaux:

1. Pendant ces 15 ans d'enseignement de géométrie descriptive à l'Université de Londrina-PR-Brésil, elle a introduit le paradigme constructiviste dans l'enseignement classique de la discipline (Póla, 1994). Les tâches accomplies ont été les suivantes :

- Sélectionner et réorganiser les contenus du concret vers l'abstrait.
 - Favoriser des situations où l'apprenant peut découvrir des propriétés des formes, en travaillant en groupe et en utilisant du matériel concret.
 - Présenter à l'étudiant la notion de construction de sa propre connaissance.
 - Utiliser du matériel concret pour aider l'étudiant à comprendre l'objet dans l'espace avant de le représenter dans les épures (représentation plane des formes spatiales avec le recours à la double projection orthogonale).
 - Introduire des jeux dans l'enseignement de géométrie descriptive, pour favoriser la fixation de l'apprentissage.
 - Introduire le plaisir d'apprendre la géométrie descriptive à travers le défi de la découverte, de l'aspect ludique du jeu.
 - Présenter des applications pratiques de la géométrie descriptive dans l'architecture dans le but de faire des maquettes par les apprenants.
 - Renforcement de la nécessité de dessiner avec précision pour réussir à faire une maquette.
2. Elle a collecté les résultats des recherches récentes au niveau international dans le domaine des capacités géométriques spatiales avec l'objectif de :
- comprendre pourquoi les apprenants ont des difficultés dans ce cadre,
 - savoir comment mesurer le niveau de capacités géométriques spatiale des apprenants,
 - savoir quelles mesures peuvent être prises pour surmonter ces difficultés et
 - décider quelles techniques utiliser pour développer ces capacités chez les apprenants.
3. Lors du premier séminaire (sur deux obligatoires) dans le cadre de son doctorat, lié à la problématique elle a présenté les résultats de la collecte décrite précédemment et a suggéré l'utilisation de l'ordinateur (le projet initial de thèse était de produire des vidéos pour l'enseignement de la géométrie descriptive) en raison de ses capacités graphiques et d'interaction, dans le cadre d'un Système d'Apprentissage Multimédia Interactif (SAMI) à partir d'un CD-Rom.

3.2. Apports initiaux du spécialiste en informatique

Le spécialiste en informatique a fait sa thèse de maîtrise dans le domaine de génie didacticiel, dans le courant de recherche sur les tuteurs hypermédias. Il a développé (Pavel, 1995) un système auteur pour la construction de tuteurs hypermédias pour les professeurs qui n'ont pas beaucoup d'expérience avec les ordinateurs. Il a apporté cette expérience acquise aux travaux communs.

Dans le cadre de son doctorat, dans sa première année, il s'est inscrit en didactique des sciences à l'IMAG (à l'Université Joseph Fourier), attaché à l'équipe EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain). Il a suivi le DEA de didactique des sciences comme étudiant libre et à cette occasion il a pris contact avec les théories et les contraintes didactiques notamment pour l'enseignement/apprentissage à l'aide des ordinateurs.

Lors de cette première année, il a produit le document intitulé "La Géométrie Descriptive comme un outil de passage réciproque entre l'espace et le plan" (Pavel, 1996) présenté au séminaire de la formation doctorale "Journée des Thésards" au sein de l'équipe EIAH. Dans ce document il a proposé :

- la recherche d'une meilleure connaissance de la pensée de l'apprenant par une analyse cognitive et épistémologique du développement des habiletés spatiales,
- l'élaboration de stratégies didactiques cherchant à favoriser la construction de connaissances géométriques spatiales et le développement de la visualisation spatiale et
- la prise en compte d'obstacles épistémologiques dans ce développement.

L'objectif final de cette recherche était d'acquérir des moyens pour faire la modélisation et l'implémentation d'un EIAO ((Environnement Interactif d'Apprentissage avec Ordinateur), destiné à l'enseignement/apprentissage des concepts de représentation par double projection orthogonale (Monge, 1799) avec le développement conjoint de l'habileté de visualisation spatiale des apprenants. Il a proposé ainsi l'implémentation d'un milieu pour

permettre l'analyse et la représentation des formes, qui utilise trois contextes de représentation graphique sur l'écran de l'ordinateur (présenté à la section 4.2.1. de Pavel, 1999) pouvant être utilisé dans les situations d'apprentissage de l'EIAO.

Il a développé la structure et la logique de l'EIAO proposé, l'interface et plusieurs fonctionnalités, implementés avec le langage Lingo (Macromedia Director). Il a produit aussi, dans le cadre de la recherche pour l'implantation du milieu proposé, un abondant matériel multimédia (animations, visualisations 3D interactives, iconographie en général) et de manipulation directe pouvant être utilisés comme moyens d'enseignement dans des situations d'apprentissage de la géométrie descriptive. Cet embryon de système ou maquette n'incorporait qu'une seule situation d'apprentissage à titre d'exemple (détaillé à l'Annexe 2 de Pavel, 1999).

Au cours de la seconde année de thèse, inscrit en doctorat d'informatique au LIUM, il a reçu la proposition de cadrer sa thèse dans le contexte du Projet TeleCabri. Cette proposition a introduit l'enseignement à distance et la situation de préceptorat (Balacheff, 1994; Pavel, 1999) dans sa recherche. Le système devait alors être conçu pour tourner via Internet, en incorporant la contrainte d'intégration du maître comme utilisateur du système en plus des apprenants. Le concept d'objet d'intervention (Pavel et al., 1997) a été établi pour rendre possible la description et établissement des interventions par des agents virtuels. Cela a conduit à l'adoption d'une nouvelle architecture et conséquente modélisation. L'embryon d'EIAO a changé alors d'habillage, des nouvelles fonctionnalités ont été incorporées et une re-implementation utilisant les langages courants pour Internet (la logique et les fonctionnalités existantes ont été réutilisés), selon la nouvelle modélisation a été menée. Cette phase est détaillée à l'Annexe 2 de (Pavel, 1999).

3.3. Déroulement du travail pluridisciplinaire

C'est à partir de là que la recherche pluridisciplinaire a commencé. La spécialiste en technologie éducative a pris contact avec le matériel multimédia et de manipulation directe

et avec l'embryon d'ELAO, déjà opérationnels (mais vide des situations d'apprentissage), développés par le spécialiste en informatique.

Tout d'abord, le but global de la collaboration a été défini: transformer l'embryon existant en prototype utilisable et testable, dans des vraies conditions d'apprentissage, en utilisant les antécédents de recherche des deux spécialistes. Il s'agit clairement d'un but de développement.

La collaboration a ainsi commencé lors la deuxième phase de conception, plus précisément pour la transposition informatique des objets d'enseignement, la détermination du savoir à enseigner et la description et implémentation des situations d'apprentissage et activités rapportées.

Phase I : Stage à l'Université Laval.

Le spécialiste en informatique a été invité pour un stage (du 21/10 au 17/11/97) à l'institution d'origine du spécialiste en technologie éducative. Dans cette phase ils ont travaillé de façon collaborative présentielle, sur des tâches communes. Ils ont :

- Déterminé le savoir à enseigner (détaillé au item 4.2.7 de Pavel, 1999).
- Structuré le savoir à enseigner en situations d'apprentissage.
- Sélectionné les contenus, établi des objectifs d'enseignement et la façon d'atteindre ses objectifs à travers des activités variées.
- Créé une méthodologie pour le travail pluridisciplinaire: mise au point d'une série de formulaires adéquats pour décrire les situations d'apprentissage (présentés à l'annexe 2 de cette thèse), les activités et les exercices, permettant ainsi de détailler les objectifs, les pré-requis, les habiletés et connaissances visées entre autres. La description complète vise non seulement l'implémentation du système mais peut aussi, en raison de son contenu didactique, servir de base pour le système d'aide à la décision du précepteur, par la mise à disposition de ces formulaires.
- Sélectionné les logiciels à utiliser pour le développement des situations d'apprentissage.
- Créé une première maquette d'activité intégrée à l'embryon existant.

- Établi la structure pour le futur travail à distance, via Internet, en utilisant courriel et les « attachements », « ftp », « chatting » et visioconférence, en définissant des phases de travail et la division des sous-tâches pour la phase suivante

3.3.2. Phase 2 : Travail à distance

À la suite de ce stage, s'est déroulée une phase de travail coopératif à distance (de 17/11/97 au 07/02/98), chacun travaillant sur ses tâches spécifiques. La spécialiste en technologie éducative a plutôt joué le rôle de spécialiste du contenu, en créant et en décrivant les situations d'apprentissage, les activités et les exercices. Pendant ce temps-là, le spécialiste en informatique a travaillé :

- sur la faisabilité d'un certain type de matériel de manipulation directe décrite par le spécialiste en technologie éducative,
- sur l'implémentation des situations d'apprentissage, en essayant d'étendre le langage (JAVA) pour les « pages » HTML et
- sur les premiers essais pour résoudre la « persistance » du système.

3.3.3. Phase 3. Stage à l'Université du Maine

La spécialiste en technologie éducative a été invitée pour un stage (du 07/02 au 17/02/98) à l'institution d'origine du spécialiste en informatique. Dans cette phase, ils ont travaillé de façon collaborative présenciel sur des tâches communes. Ils ont:

- Pris connaissance du travail individuel mené par l'autre dans la phase précédente.
- Développé la méthode pour la création de matériel de manipulation directe multimondes (détaillé au item 4.2.1.2 de Pavel, 1999) à partir des essais faits par le spécialiste en informatique selon les descriptions de la spécialiste en technologie éducative.
- Affiné les stratégies d'application du savoir à enseigner, à partir des suggestions que la spécialiste en technologie éducative a imaginé en planifiant les situations d'apprentissage.

- Défini des stratégies d'application des facteurs pédagogiques retenus par le spécialiste en technologie éducative.
- Révisé le mode d'intervention du système : l'intervention automatique a été choisie à la place d'une intervention seulement sur demande de l'apprenant, dans le cas de mauvaises conceptions de l'apprenant diagnostiquées par rapport à la connaissance en jeu dans l'activité en cours. Le concept d'objet d'intervention a continué à être pris en compte sans être modifié.

3.3.4. Phase 4 : Travail à distance

Après ce stage a suivi une nouvelle phase de travail coopératif à distance (de 17/02 au 07/07/98) :

La spécialiste en technologie éducative a continué sa tâche de création et de description des situations d'apprentissage, des activités, des exercices et a commencé à produire le matériel multimédia.

Le spécialiste en informatique a repris sa tâche de résolution du problème de « persistance » du système. Ce problème a été résolu par l'adoption d'une architecture multi-agent en remplaçant l'architecture mono-agent antérieure et l'implémentation des agents liés aux fonctionnalités du système. Il a produit matériel de manipulation directe multimonde, et a travaillé sur la faisabilité des descriptions d'activités, par exemple: la construction des épures directement par les apprenants en gardant la séquence des procédés pour évaluer la construction correcte, c'est-à-dire, comment faire pour que le système sache résoudre des épures et suivre la construction faite par les apprenants.

3.3.5. Phase 5. Deuxième stage à l'Université Laval.

Le spécialiste en informatique est allé pour un deuxième stage (de 07/07 au 31/08/98) à l'institution d'origine de la spécialiste en technologie éducative. Dans cette phase, ils ont travaillé, dans un premier temps, de façon collaborative à la tâche commune de définition des stratégies d'implémentation à partir des descriptions des situations d'apprentissage et la

répartition des tâches pour le développement, et après, de façon coopérative, à la répartition de sous-tâches dans l'implémentation de chaque situation d'apprentissage, activité ou exercice :

La spécialiste en technologie éducative a pris les tâches de :

- capture des images pour faire les animations à partir du matériel de manipulation directe créés dans la phase antérieure par l'autre spécialiste et l'ordonnancement de ces images pour le montage des animations,
- production de matériel multimédia,
- traitement graphique des images,
- choix des couleurs des interfaces et
- définition des règles pour certains activités (spécialement celles liées à la construction des épures).

Le spécialiste en informatique a pris les tâches de :

- élaboration de la base de règles selon la définition de l'autre spécialiste,
- intégration du matériel multimédia,
- programmation des interfaces des situations d'apprentissage et la production du code.

3.3.6. Phase 6 : Travail à distance

Après ce stage a suivi une nouvelle phase de travail coopératif à distance (de 31/08 au 30/10/98). Dans cette phase, la spécialiste en technologie éducative a continué sa tâche antérieure et le spécialiste en informatique a donné la forme finale au système multi-agents spécialement pour résoudre la « persistance » du système avec l'adoption d'un paradigme innovateur pour la communication entre les agents. Ensuite il a commencé à intégrer ce nouveau paradigme dans les activités et l'implémentation des agents liés aux fonctionnalités du système.

3.3.7. Phase 7 : Troisième stage à l'Université Laval

Le spécialiste en informatique a été invité pour un troisième stage (de 30/10 au 10/11/1998) à l'institution d'origine de la spécialiste en technologie éducative. Dans ce dernier stage, ils ont rassemblé tout le matériel produit et l'ont intégré dans le système pour faire une mise à l'essai avec des jeunes adultes lusophones au Québec. Ils ont élaboré les questions pour le pré et post-test et ils ont planifié l'interview semi-structuré pour l'évaluation du système. Dans cette phase de travail collaboratif, chacun a travaillé selon ses compétences.

3.3.8. Phase 8 : Évaluation du système au Brésil

Le 10/11/1998 les deux spécialistes sont partis au Brésil pour faire l'évaluation du système avec des étudiants du département de dessin projectif de l'Université Fédérale de Juiz de Fora du 13 au 20/11/98. Ont participé à cette évaluation : des étudiants d'architecture, de génie, d'arts et de mathématiques, des élèves du secondaire et des professeurs de géométrie descriptive et de dessin géométrique.

Le système a été ensuite évalué pendant dix jours avec des étudiants d'architecture, de génie, de dessin industriel et de mathématique de l'Université de Londrina.

Pendant l'évaluation, le spécialiste en informatique s'est occupé de la partie d'installation et configuration du serveur et de la mise en marche du système. La configuration des machines clients a été répartie entre les deux spécialistes et la spécialiste en technologie éducative s'est occupée de l'administration et de la correction des pré et post-test et de la conduite des entretiens avec les utilisateurs à la fin des tests.

3.3.9. Phase finale de rédaction des thèses

Chacun des collaborateurs rédige sa propre thèse dans son domaine et selon sa spécialité. Dans la part qui englobe le travail de collaboration, l'interprétation et évaluation qualitative des données recueillies dans la phase 8 de l'évaluation du système de même que les descriptions des situations d'apprentissage sont objets d'étude de la spécialiste en

technologie éducative. Le spécialiste en informatique fait des commentaires et références à ce travail selon le point de vue de son domaine dans sa thèse. La description générale du système, l'architecture et tout la partie indépendante de domaine est sujet de thèse du spécialiste en informatique ; la spécialiste en technologie éducative fera des commentaires et des références à ce travail selon le point de vue de son domaine dans sa thèse.

Annexe 2

Formulaires utilisés pour le
développement du système
GDVisu@1

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique <hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France
-----------	---

1 sur 1

Situation n° <input type="text"/>	Titre :
-----------------------------------	---------

Nom du fichier: s1_F1.doc

Objectifs :**Connaissance visée :****Capacités à développer :****Préalable:****Préalable pour :****Commentaires :****Observations:**

F2**Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive
Transposition Informatique**

Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n°

Titre :



activité



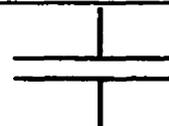
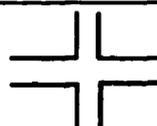
exercice

révision ou
élucidation

rétrospective



nœud



Nom du fichier:

Observations:

Explication des nœuds: Il faut passer par les activités avant de faire les exercices et par les exercices avant de suivre la rétrospective.

F3	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur 1

Sit n°	<input type="checkbox"/>	Activité	<input type="checkbox"/>	Exercice	<input type="checkbox"/>
--------	--------------------------	----------	--------------------------	----------	--------------------------

Nom du fichier:

Objectifs :

Connaissance utilisée :

Capacités utilisées :

Analyse a priori :

Difficultés X Aide apportée :

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support

Observations:

F4	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique <hr/> Marie-Claire Ribeiro Pôla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France
-----------	---

sur 1

Sit n° <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Activité <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Exercice <input type="checkbox"/>
---------------------------------	--------------------------	-----------------------------------	--------------------------	-----------------------------------

Nom du fichier:**Description de l'activité :****Proposition de travail et questions à répondre :****Supports utilisés et description d'implémentation :****Commentaires :**

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n°	1	Titre : Perception visuelle
--------------	---	-----------------------------

Nom du fichier: s1_F1.doc

Objectifs :

Développer la capacité de visualisation spatiale et la perception visuelle de l'étudiant avant qu'il ne commence à étudier la géométrie descriptive.

Connaissance visée :

- Identifier les projections d'un même objet présentes dans une liste.
- Identifier la perspective correspondante aux projections d'une figure.
- Établir empiriquement, par observation, les propriétés de figures 3D.
- Ordonner les propriétés des figures d'une façon informelle.
- Déduire formellement les relations entre les éléments d'une figure.

Capacités à développer :

Capacité de visualisation spatiale et perception visuelle.

Préalable:

Notions intuitives de perspective et projection, notions de solides géométriques.

Préalable pour :

Pour tout l'apprentissage de la géométrie descriptive.

Commentaires :

Ce module est constitué de six exercices qui font travailler les notions intuitives de perspective et de projection pour préparer l'étudiant à comprendre la géométrie descriptive. Les étudiants seront amenés à ce module s'ils n'ont pas atteint le niveau 4 de pensée géométrique selon Van Hiele.

Observations:

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique <hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France
-----------	--

Page 1 sur 1

Situation n ^o	2	Titre : Notions élémentaires de projection
--------------------------	---	--

Nom du fichier: s2_F1.doc

Objectifs :

Consolider les notions intuitives de projection, approfondir la connaissance en projections et introduire le concept de double projection orthogonale, pour permettre l'apprentissage des concepts de la méthode des projections (Monge, 1799).

Connaissance visée :

Propriétés et relations géométriques élémentaires des projections de segments, figures planes et formes de l'espace, sur deux plans de projections orthogonales (double projection orthogonale).

Capacités à développer :

Identification et visualisation des objets géométriques de l'espace à partir de ses doubles projections orthogonales et vice versa.

Préalable: Notions intuitives de projection

Préalable pour : La méthode des projections

Commentaires :

Situation clé pour l'apprentissage de la géométrie descriptive, la consolidation des concepts menées ici permettra une bonne acquisition des concepts plus profonds de la discipline.

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique	
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Pôla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France	
I sur I		
Situation n°	3	Titre : Épure

Nom du fichier: s3_F1.doc

Objectifs :

- Maîtrise des concepts de base de la méthode des projections (Monge 1789);
- Écriture et relèvement de points sur épure (outils d'analyse de la GD).

-

Vocabulaire:

- Épure: écriture et relèvement;
- Cordonnées: abscisse, éloignement et cote;
- Dièdre, ligne de terre (LT), ligne d'appel, projection vertical, projection horizontale, plan de projection, rabattement.

Connaissance visée :

- Double projection orthogonale - concept de dièdre;
- Rabattement de plan de projection un sur l'autre
- Concept d'épure
- Position relative des points sur les dièdres.

Capacités à développer :

- Visualisation des positions relatives des points par rapport aux plans de projection.

Préalable:

- Notions élémentaires de projection.

Préalable pour :

- Objets de base de la géométrie descriptive (Plan, droite et point)

Commentaires :

- Il est important d'établir clairement la différence entre les cordonnées cartésiennes et mongeenes, la première par rapport aux axes et la deuxième par rapport aux plans (distances) de projection et toujours positives.

Observation :

F1	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

I sur I

Situation n°	4	Titre : Plans
--------------	---	---------------

Nom du fichier: s4_F1.doc

Objectifs :

- Analyser les divers types de plans et leurs propriétés par rapport aux plans de projection.

Vocabulaire:

- Orthogonalité, parallélisme, trace d'un plan , ligne de terre.

Connaissance visée :

- Taxonomie des plans (position)
- Identification de type de plan par ses traces.
- Connaître les propriétés des divers types de plan.

Capacités à développer :

- Visualisation de la position d'un plan par rapport aux plans de projection en observant sa représentation en épure.

Préalable:

Savoir faire une épure et aussi interpréter une épure donnée.

Préalable pour :

Droites contenues dans les plans et procédés descriptifs.

Commentaires :

Observations:

F2

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

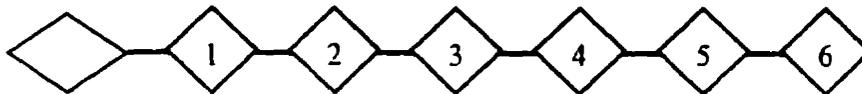
Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n° 1 Titre : Perception Visuelle



Nom du fichier: s1_F2.doc

**Observations:**

Explication des nœuds: Il faut passer par les activités avant de faire les exercices et par les exercices avant de suivre la rétrospective.

F2

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n^o 2 Titre : Notions élémentaires de projections



activité



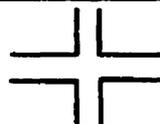
exercice

révision ou
élucidation

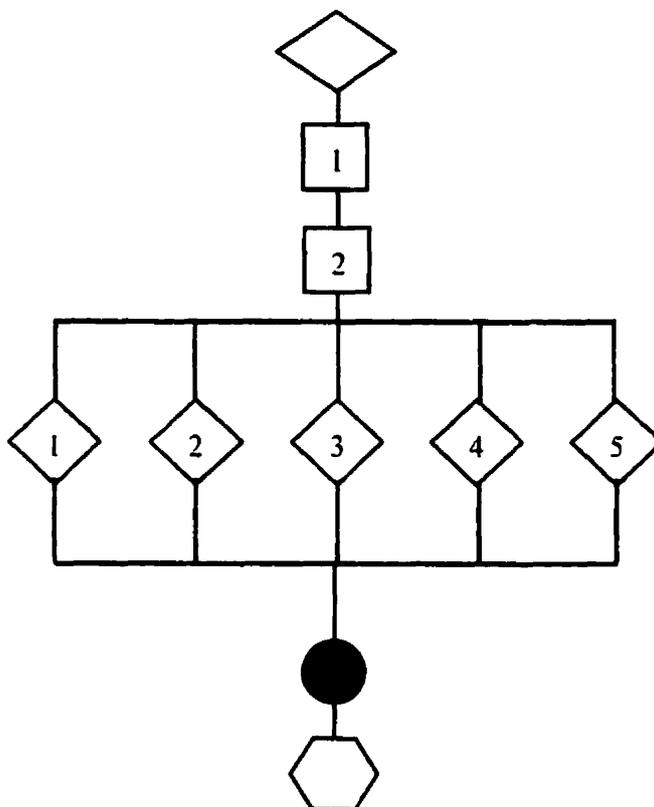
rétrospective



nœud



Nom du fichier: s2_F2.doc



Observations:

Explication des nœuds: Il faut passer par les activités avant de faire les exercices et par les exercices avant de suivre la rétrospective.

F2

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n^o 3 Titre : Épures

activité



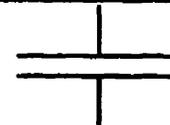
exercice

révision ou
élucidation

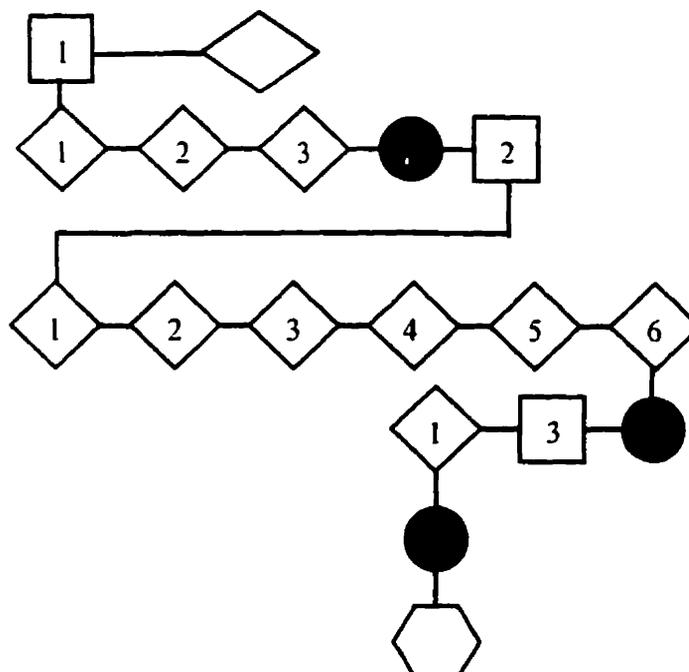
rétrospective



nœud



Nom du fichier: s3_F2.doc



Observations:

Explication des nœuds: Il faut passer par les activités avant de faire les exercices et par les exercices avant de suivre la rétrospective.

F2

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Pôla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Situation n° 4 Titre : Plans



activité



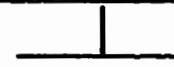
exercice

révision ou
élucidation

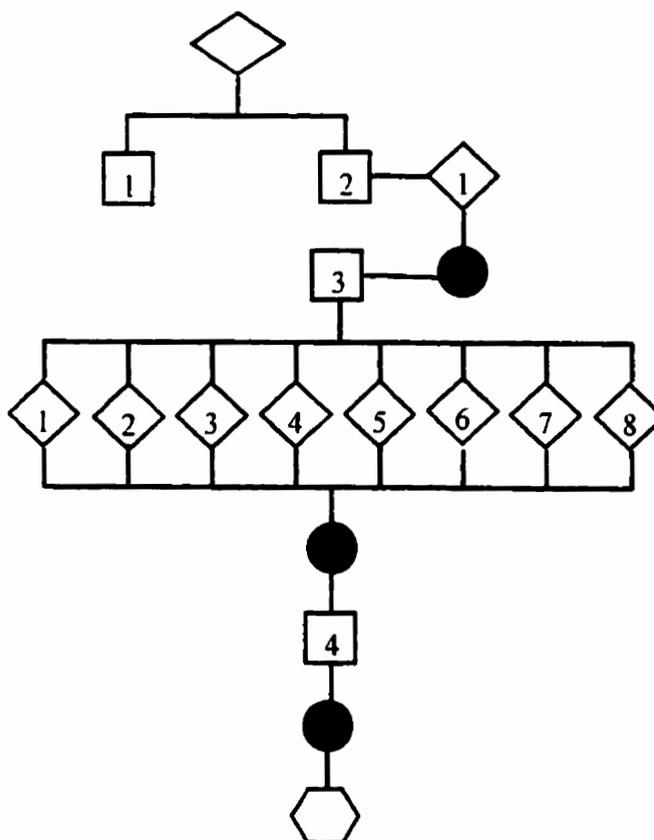
rétrospective



nœud



Nom du fichier : s4_F2.doc



Obs. :

Explication des nœuds: Il faut passer par les activités avant de faire les exercices et par les exercices avant de suivre la rétrospective.

F3	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Pôla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur 1

Sit n°	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> Activité	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	<input type="checkbox"/> 1
--------	----------------------------	-----------------------------------	--------------------------	--	----------------------------

Nom du fichier: sl_F3_exel.doc

Objectifs :

- Visualiser, afin d'identifier les trois vues d'un même objet présentes dans une liste.

Connaissance utilisée :

- Notions intuitives de vues d'un objet.

Capacités utilisées :

- Capacité de passer de l'espace graphique à l'espace tridimensionnel, c'est-à-dire, former une image mentale de l'objet à partir de ses projections.
- Capacité de retrouver les dimensions invariantes d'une vue à l'autre

Analyse a priori :

- Lire un dessin ne consiste pas à juxtaposer des vues partielles d'un même objet mais à concilier, coordonner des vues complètes prises sous des angles différents pour aboutir à une représentation d'ensemble de l'objet.

Difficultés X Aide apportée :

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support

Observations:

F3

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Pôla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur 1

Sit n°	1	<input type="checkbox"/> Activité		<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	2
--------	---	-----------------------------------	--	--	---

Nom du fichier: s1_F3_exe2.doc (Tabletes avec trois trous)

Objectifs :

- Identifier les projections d'une figure représentée en perspective.

Connaissance utilisée :

- Notions intuitives de projections d'un objet.

Capacités utilisées :

- Capacité de passer de l'espace tridimensionnel à l'espace graphique, c'est-à-dire, imaginer les projections d'un objet.
- Capacité de retrouver les dimensions invariantes d'une vue à l'autre.

Analyse a priori :

- La maîtrise des opérations projectives est nécessaire à la coordination des différents points de vue. Il faut que l'étudiant sache représenter un objet à travers les vues principales (de face, de dessus et de côté)

Difficultés X Aide apportée :

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support
Si l'étudiant échoue le choix du tablette correspondent à l'objet .	Montrer une lumière rouge et présenter les trois vues de l'objet comme indice	

Observations:

F3	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur 1

Sit n°	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> Activité	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	<input type="checkbox"/> 3
--------	----------------------------	-----------------------------------	--------------------------	--	----------------------------

Nom du fichier: sl_F3_exe3.doc (Cubes)

Objectifs :

- Établir empiriquement, par observation, les propriétés de figures 3D.

Connaissance utilisée :

- Notions intuitives des opérations mentales de rotation de figures.

Capacités utilisées :

- Capacité de décentrer son regard par rapport à une figure.
- Capacité d'opérer mentalement pour imaginer l'image d'un objet après un mouvement.
- Capacité d'imaginer les objets nécessaires pour former un autre.

Analyse a priori :**Difficultés X Aide apportée :**

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support
Quand l'étudiant fait le mauvais choix, un petit signe rouge apparaît.		

Obs:

F3	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur 1

Sit n°	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> Activité	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	<input type="checkbox"/> 4
--------	----------------------------	-----------------------------------	--------------------------	--	----------------------------

Nom du fichier: sl_F3_exe4.doc (Photos)

Objectifs :

- Identifier les perspectives d'un ensemble objets vus de différentes positions.
- Travailler les relations entre l'espace 3D et 2D.

Connaissance utilisée :

- Notions intuitives de perspective.

Capacités utilisées :

- Capacité d'opérer dans l'espace tridimensionnel, de décentrer, c'est-à-dire, d'imaginer la perspective d'un ensemble d'objets de différents points de vue à partir de la projection de ceux-ci dans un plan.

Analyse a priori :

- Une représentation véritable de l'espace sera possible à partir du moment où l'étudiant sera capable de coordonner son point de vue avec celui d'un autre et de le différencier du sien. Après cela il sera capable de résoudre les problèmes de coordination d'ensemble, de perspectives relative à un objet isolé et de projection d'ombres portées.

Difficultés X Aide apportée :

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support
Si l'étudiant échoue dans le choix de la bonne photo, celle-ci ne va pas dans la séquence comme prévu.	Un message qui demande à l'étudiant de faire attention.	

Observations:

<h1>F3</h1>	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Pôla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur I

Sit n°	<input type="text" value="1"/>	<input type="checkbox"/> Activité	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	<input type="text" value="5"/>
--------	--------------------------------	-----------------------------------	----------------------	--	--------------------------------

Nom du fichier: sl_F3_exe5.doc (Maison dans cercle)

Objectifs :

- Identifier les perspectives d'un ensemble objets, vus de différentes positions, à partir d'une vue de dessus de ceux-là.

Connaissance utilisée :

- Notions intuitives de perspective d'un objet.

Capacités utilisées :

- Capacité d'opérer dans l'espace tridimensionnel, de décentrer, c'est-à-dire, d'imaginer la perspective d'un ensemble d'objets de différents points de vue.

Analyse a priori :

- Une représentation véritable de l'espace sera possible à partir du moment où l'étudiant sera capable de coordonner son point de vue avec celui d'un autre et le différencier du sien. Après cela, il sera capable de réussir les problèmes de coordination d'ensemble, de perspective relative à un objet isolé et de projection des ombres portées.

Difficultés X Aide apportée :

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support
Si l'étudiant échoue dans le choix de la bonne photo, une lumière rouge apparaît près de l'appareil à photo.		

Observations: Métaphore de l'appareil à photo, exemple de perspective appliqué à l'architecture.

<h1>F3</h1>	Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique
	<hr/> Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

Isur 1

Sit n°	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> Activité	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Exercice	<input type="checkbox"/> 6
--------	----------------------------	-----------------------------------	--------------------------	--	----------------------------

Nom du fichier: s1_F3_exe6.doc (Maisons avec personnages)

Objectifs :

- Identifier les perspectives d'un objet, vu de différents points de vue. Dans certains cas, il faut déduire quelle est la perspective correcte à partir d'une représentation donnée.

Connaissance utilisée :

- Notions intuitives de perspective d'un objet.

Capacités utilisées :

- Capacité d'opérer dans l'espace tridimensionnel, de décentrer, c'est-à-dire, déduire la perspective d'un objet de différents points de vue.

Analyse a priori :

- Une représentation véritable de l'espace sera possible à partir du moment où l'étudiant sera capable de coordonner son point de vue avec celui d'un autre et de le différencier du sien. Après cela il sera capable de réussir les problèmes de coordination d'ensemble, de perspectives relatives à un objet isolé et de projection des ombres portées.

Difficultés X Aide apportée :

Prévision d'interventions	Objets d'interventions prévus	Support
Si l'étudiant échoue le choix de la bonne perspective, une lumière rouge apparaît.		

Obs: Après cet exercice, l'étudiant passe au module 2 sur les projections.

<h1>F4</h1>	<p>Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique</p> <hr/> <p>Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France</p>
-------------	--

1 sur 1

Sit n° <input type="text" value="2"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activité <input type="text" value="1"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Exercice <input type="text" value="1"/>
---------------------------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---

Nom du fichier: s2_F4_activ1_exe.doc

Description de l'activité :

Une vidéo montre une série d'images d'animaux (oiseau, chat, papillon) faites à partir d'ombres portées avec les mains, un jeu qui plaît beaucoup aux enfants et qui représente une notion intuitive de projection. La vidéo montre aussi l'ombre de figures géométriques (rectangle, triangle) et la variation de l'ombre (ou projection), quand on change la position de la figure par rapport au plan de projection de l'ombre. Après avoir vu la vidéo, l'étudiant doit faire un exercice de choix multiple, pour dire si les propositions sont « vrai » ou « faux ».

Proposition de travail et questions à répondre :

Cliquer sur le bouton pour voir une vidéo sur les ombres portées.

Exercice :

Marquez V pour les affirmations vraies et F pour celles qui sont fausses.

La variation des ombres portées (ou les projections) d'un objet est conséquence de :

- la position de l'objet par rapport au plan de projection
- la couleur de la lumière utilisée pour faire la projection
- la proximité ou l'éloignement de la source lumineuse par rapport à l'objet
- la proximité ou l'éloignement de l'objet par rapport au plan de projection

Supports utilisés et description d'implémentation :

- projection2.mov
- 210.html
- sit2activ1.jar

Commentaires :

F4

Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique

Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada
Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France

1 sur 1

Sit n°	2	<input type="checkbox"/>	Activité	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Exercice	1
--------	---	--------------------------	----------	---	-------------------------------------	----------	---

Nom du fichier : s2_F4_actv2_exe1.doc

Description de l'activité :

À partir d'un fichier Cabri qui décrit la projection d'un segment, l'élève manipule directement un point extrême du segment en observant les transformations dans leur projection et les relations entre le segment et le plan de projection. Ensuite, il fait un exercice où il doit répondre à quelques questions ou choisir la réponse dans une liste d'options.

Proposition de travail et questions à répondre :

La figure représente un segment AB et sa projection sur un plan. Tu peux manipuler directement le point A avec la souris. Observe la position du segment AB par rapport au plan de projection et les mesures du segment et leur projection. Ensuite, réponds aux questions proposées.

Par rapport à la projection du segment (A)(B):

1- Quelle est la plus grande longueur de la projection AB?

Elle est égale à ____ cm (utiliser deux chiffres après la virgule)

2- Quand elle atteint la plus grande longueur, quelle est la position du segment (A)(B) par rapport au plan de projection?

Le segment est _____ au plan de projection. (choisir une des options)
(Coïncidant, Parallèle ou Perpendiculaire)

3- Quelle est la plus petite longueur de la projection AB?

Elle est égale à ____ cm.

4- Quand elle atteint la plus petite longueur quelle est la position du segment (A)(B) par rapport au plan de projection?

Le segment est _____ au plan de projection.
(Coïncidant, Parallèle, Perpendiculaire)**Supports utilisés et description d'implémentation :**

Tous les éléments sont dans le dossier 221.

Commentaires: Exercice de manipulation directe.

<h1>F4</h1>	<p>Situations d'Apprentissage en Géométrie Descriptive Transposition Informatique</p> <hr/> <p>Marie-Claire Ribeiro Póla - GRAIM - Université Laval - Canada Paulo Pavel - LIUM - Université du Maine - France</p>
-------------	--

1 sur 1

Sit n°	<input type="text" value="3"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activité	<input type="text" value="2"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Exercice	<input type="text" value="6"/>
--------	--------------------------------	-------------------------------------	----------	--------------------------------	-------------------------------------	----------	--------------------------------

Nom du fichier: s3_F4actv2_exerc6.doc

Identification: Épure de la petite maison, exercice 326 dans le système, exercice 11 dans le CD-ROM.

Description de l'activité :

L'interface montre une petite maison placée sur un dièdre et à côté, il y a l'épure de la maison dont il faut compléter la projection verticale. L'exercice demande que l'étudiant complète l'épure et donne les consignes pour y arriver. L'étudiant doit choisir parmi les options dans une liste, ordre correcte pour construire l'épure. À chaque fois qu'il fait le bon choix, un élément est ajouté au dessin de l'épure à l'écran. À chaque fois qu'il fait un mauvais choix, un message apparaît à l'écran pour donner un indice de son erreur.

Proposition de travail et questions à répondre :

Compléter l'épure de la maison. La partie plus haute de la maison reste à 4m du sol. Choisir les options dans la liste.

Supports utilisés :

Tous les éléments sont dans le dossier : sit3act2exe6

Commentaires : exercice de manipulation indirecte.

Annexe 3

**Les instruments
d'évaluation du système
GDVisu@1**

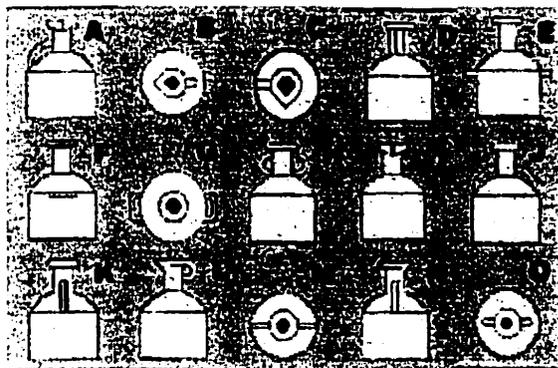
Questionnaire d'évaluation cognitive

Nom : _____ Cours : _____

Avez-vous déjà étudié la Géométrie Descriptive?

Si oui, où et combien de temps?

1. Les figures ci-dessous représentent trois vues (par-dessus, par en avant et de côté) de cinq bouteilles différentes. Chaque vue est représentée par une lettre de l'alphabet. Écris dans les boîtes, les lettres correspondantes à la même bouteille.



Bouteille 1
Bouteille 2
Bouteille 3
Bouteille 4
Bouteille 5

2. Signalez Vrai ou Faux pour les questions suivantes :

- Des figures et des segments contenus en plans parallèles au plan de projection sont projetées en VG.
- Si une figure est projetée en VG dans un plan de projection donné, cela signifie qu'elle est contenue dans un plan perpendiculaire à ce plan de projection.

zle est contenu dans un plan perpendiculaire au plan de projection, il est

gure tridimensionnelle soit représentée avec précision en deux
ers des projections, nous devons utiliser :

ections

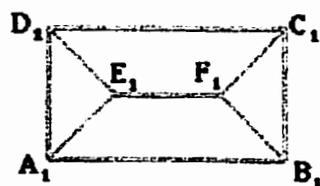
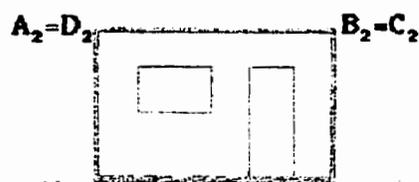
ns possibles

i maximum

ections

de la maison. La partie la plus haute du toit est à 4m du sol. Nous

de la maison a 3 m.



6. Situe les points dans les dièdres à partir de ces coordonnées.

Coordonnées	I	II	III	IV
(-2, 3, 7)				
(4, -6, -7)				
(-8, -3, 5)				
(8, -3, 5)				

7. Choisis les caractéristiques correspondantes au plan représenté en perspective :

Le plan α est (parallèle, perpendiculaire, oblique) au PH.

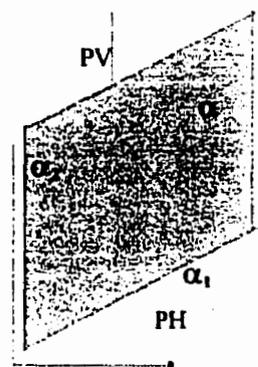
Le plan α est (parallèle, perpendiculaire, oblique) au PV.

Le plan est :

- Horizontal
- Vertical
- Frontal
- De bout
- Quelconque
- De Profil
- Parallèle à la ligne de terre
- Qui passe par la ligne de terre

Le tracé α_1 est (parallèle, perpendiculaire, oblique) à la LT.

Le tracé α_2 est (parallèle, perpendiculaire, oblique) à la LT.



Questionnaire d'évaluation du GDVisu@l

Nom: _____

Âge: _____

Formation en cours: _____

1. Que pensez-vous du système d'enseignement Géométrie Visu@l? Pourquoi? Donnez un exemple.
2. Qu'avez-vous aimé le plus? Pourquoi? Donnez un exemple.
3. Qu'avez-vous le moins aimé? Pourquoi? Donnez un exemple.
4. Que pensez-vous des explications écrites à propos des activités et des exercices? Pourquoi? Donnez un exemple.
5. Que pensez-vous de la présentation visuelle du système?
 - images
 - animations
 - manipulations
 - diagrammes (disposition sur l'écran)
 - couleurs
6. Que pensez-vous du contenu présenté? Pourquoi?
7. Jugez-vous avoir appris grâce au système? Pourquoi?
8. Pensez-vous que le système peut faciliter l'apprentissage de la Géométrie Descriptive? Pourquoi?

9. Comment pensez-vous que le système peut être intégré à l'enseignement de la Géométrie Descriptive?
- utilisation exclusive du système pour apprendre la GD
 - utiliser le système avant le cours normal et utiliser le cours pour répondre aux interrogations.
 - utiliser le système durant le cours.
 - utiliser le système après le cours, pour revoir les concepts, faire des exercices et assimiler les notions apprises.
 - Pourquoi?
10. Géométrie Visu@l est entièrement contrôlé par une barre d'outils, située en haut de la fenêtre du système. Que pensez-vous de cette forme de contrôle? Pourquoi?
11. Géométrie Visu@l offre deux façons de naviguer : à l'aide d'une carte ou d'une icône qui renvoie à l'activité recommandée, à partir de laquelle on peut faire les exercices de façon séquentielle. Quelle façon avez-vous préférée? Pourquoi?
12. Que pensez-vous de l'idée de pouvoir solliciter l'aide d'un professeur via Internet? Pourquoi?
13. Avez-vous fait appel à ce service offert par Géométrie Visu@l?
- Si non, pourquoi?
 - Si oui, qu'avez-vous pensé de l'aide du professeur?
14. Placez en ordre de préférence les différents types d'activité offertes par Géométrie Visu@l.
- ___ manipulations directes
 - ___ manipulations indirectes
 - ___ activités sans manipulation
15. Si vous deviez parler à un ami à propos de Géométrie Visu@l, que lui diriez-vous?

16. Géométrie Visu@l amène l'élève à apprendre de ses erreurs en offrant une animation, une image ou encore un texte à la suite d'une erreur. Que pensez-vous de cette fonction? Avez-vous appris de vos erreurs? Justifiez votre réponse.

Pour répondre aux questions 17, 18 et 19, utilisez une échelle de 1 à 5 où 5 représente le maximum et 1 le minimum.

17. Le programme a-t-il suscité votre intérêt?

1 2 3 4 5

18. L'utilisation du système vous a-t-elle satisfait?

1 2 3 4 5

19. Étiez-vous motivé lors de l'utilisation du système?

1 2 3 4 5

20. Quelles activités ont été les plus motivantes et lesquelles ont été les moins motivantes? Pourquoi?

21. Auriez vous des suggestions qui pourraient aider à améliorer le programme?

Merci beaucoup!

Annexe 4

Les données utilisés dans
l'évaluation du système
GDVisu@1

N°	VILLES		INSTIT	COURS	AVAIT ÉTUDIÉ GD		PRÉ-TEST	POST-TEST
	JDF	LD			OUI	NON		
	01	X				UFJF		
02	X		UFJF	SEC		X	5	16
03	X		UFJF	ARC	X		17	20
04	X		UFJF	ARC	X		19	19
05	X		UFJF	ARC	X		19	20
06	X		UFJF	ART		X	5	17
07	X		UFJF	MAT	X		16	18
08	X		UFJF	PROF	X		11	14
09	X		MONT	SEC		X	7	9
10	X		UFJF	MAT	X		19	16
11	X		UFJF	ARC	X		15	20
12	X		UFJF	ART		X	7,14	17,14
13	X		UFJF	MAT	X		14	20
14	X		UFJF	ART		X	3	13
15	X		UFJF	ARC	X		15	16
16	X		UFJF	PROF	X		15	19
17	X		UFJF	SEC		X	9	18
18	X		CM	PROF	X		14	20
19	X		UFJF	ARC	X		18	20
20	X		UFJF	ARC	X		17	20
21	X		UFJF	ART		X	12,5	17,5
22	X		UFJF	ARC	X		8	18
23	X		UFJF	ART		X	3	16
24	X		MONT	PROF	X		7	8
25	X		UFJF	ARC	X		16	18
26		X	UEL	ARC	X		15	20
27		X	UEL	DES		X	10	18
28		X	CESULON	ARC		X	9	20
29		X	UEL	GÉN	X		15	15
30		X	UEL	MAT	X		7	17
31		X	UEL	ARC	X		14	19
32		X	UEL	ARC	X		12	15
33		X	UEL	DES		X	14	14
34		X	UEL	DES		X	14	15

Tableau 1. Notes des étudiants par ville, par institution, selon le cas d'avoir déjà étudié la géométrie descriptive.

Explications sur les abréviations du tableau 1**VILLES**

JDF: Juiz de Fora

LD: Londrina

INSTITUTIONS

UFJF: Universidade Federal de Juiz de Fora

UEL: Universidade Estadual de Londrina

CESULON: Centro de Estudos Superiores de Londrina

SEC: Secondaire

COURS

GÉN: Génie Civil

ARC: Architecture

ART: Arts

MAT: Mathématiques

DES: Dessin Industriel

SEC: Secondaire

PROF: Professeur

AVAIT ÉTUDIÉ GD (Géométrie descriptive)

OUI

NON

Questionário de avaliação do Geometria Visu@l

Seu nome: XXXXXXXXXXXXX

Idade: XXXXXXXXXXXXX

Curso que está fazendo: Matemática

1) O que você achou do sistema de ensino Geometria Visu@l? Por que? Dê um exemplo.

Eu gostei, por que nós tivemos pouca coisa de geometria descritiva e eu não estava entendendo nada mesmo, nem o que era é pura eu estava conseguindo entender. E ali (referindo-se ao sistema), mesmo sem ter um professor do lado, falando, só pelos joguinhos, não sei se posso usar essa palavra, eu aprendi muita coisa. Eu aprendi muito mais do que eu aprendi esse ano em geometria descritiva.

2) Do que você mais gostou? Por que? Dê um exemplo.

Ontem eu gostei de construir as é puras já tendo os comandos. Ai a gente vai escolhendo, descobrindo como fazer. Hoje eu gostei do joguinho de paciência com os planos.

3) Do que você menos gostou? Por que? Dê um exemplo.

De ficar lendo. Eu não gosto muito de ler, se bem que tem pouca coisa pra ler. Não tem nada que eu não tenha gostado porque não é cansativo. Normalmente essas coisas são cansativas. Esse não foi.

4) O que você achou das explicações escritas das atividades e exercícios? Por que? Dê um exemplo.

Eu achei bem explicadinho. Dá para entender bem, é uma linguagem fácil e dá pra entender bem.

5) O que você achou da apresentação visual do sistema?

- imagens
- animações

- manipulações
- diagramação (organização da tela)
- cores

É isso que o torna interessante. É bem colorido, tem os movimentos, eu gostei.

6) O que você achou do conteúdo apresentado? Por que?

Então, é a aquilo que eu te falei: como a parte de geometria descritiva que eu vi foi bem fraca, eu achei bom porque pra mim ajudou bastante agora nesse final de ano para conseguir passar na matéria, pois eu não estava entendendo pra fazer a prova. Agora já dá pra fazer a prova. Eu tenho uma prova hoje onde vou ter que fazer isso no computador, dando os comandos no Auto Cad. Tem uma outra terça feira, que á a escrita. Como eu não tinha entendido, acho que vou ficar para exame. Isso vai me ajudar a fazer o exame.

7) Você acha que aprendeu com o sistema? Por que?

Ah! Aprendi. Inclusive eu estava comentando isto ontem pois na minha turma não deu para meus colegas se inscreverem e só vim eu. Eu estava falando: vocês deviam ter ido, porque ninguém está conseguindo entender. Vocês deviam ter ido pra aprender pra fazer... A nossa prova é um trabalho. Ele deu um monte de exercícios pra gente fazer, mas ninguém está sabendo fazer. Eu também não sabia fazer. Agora que vai dar pra fazer.

8) Você acha que o sistema pode facilitar a aprendizagem de Geometria Descritiva?

Por que?

Muito. E economizar até tempo, né? O professor ficou dando essa matéria para nós dois meses e eu não aprendi nada. Aqui, em dois dias, ou quatro horas, eu aprendi muito, mas muito mais do que ele tentou nos ensinar. É meio complicado dar explicação. Nesse estilo, com joguinhos, com explicações rápidas, prende a atenção, você acaba aprendendo. Mesmo aqueles que não sabem nada eu acho que acabam aprendendo.

9) Como você acha que o sistema pode ser incorporado ao ensino da Geometria Descritiva?

- usar só o sistema para aprender a GD
- usar o sistema antes da aula regular e daí só tirar dúvidas durante a aula
- usar o sistema durante a aula
- usar o sistema depois da aula, para rever conceitos, fazer exercícios e fixar a aprendizagem.

Por que?

Eu acho que deveria ser antes, porque é aquilo que eu falei: é uma linguagem clara, fácil. Se a gente pega uma explicação complicada, para quem já não sabe o que é que faz, como vai ficar? Por isso eu acho que deve ser antes, se bem que eu acho que só ele já bastaria. Depois complementaria com algum exercício, mas só com ele já daria pra aprender o suficiente.

10) O Geometria Visu@l é todo controlado por uma barra de botões, que aparece no alto da janela do sistema. O que você achou dessa forma de controle? Por que?

Apesar de todas as perguntas terminarem do mesmo jeito (com o botão para a próxima atividade), eu acho que por ser daquele modo, se torna mais fácil de você entender... Facilita eu acho...

11) O Geometria Visu@l oferece dois tipos de navegação: através de um mapa ou de um botão que vai direto para a atividade recomendada, a partir da qual pode-se fazer os exercícios seqüencialmente. Qual deles você preferiu? Por que?

O da folhinha. Porque é mais rápido. Você clica e já aparece... Não precisa perder tempo.

12) O que você achou da idéia de poder pedir a intervenção de um professor via internet? Por que?

Eu não sabia. Era aquele homenzinho? Eu não cliquei nele porque na única hora que tive dúvida eu chamei você que também era professor. Era a mesma coisa. Não houve necessidade. A única vez que eu tive dúvida foi naquele exercício onde eu não sabia

onde colocar a letra do vértice. Não houve tanta necessidade senão eu teria clicado em todos os botõezinhos porque eu sou curiosa.

13) Você usou esse serviço oferecido pelo Geometria Visu@l ?

-Caso não tenha usado, por que não usou?

-Caso tenha usado, o que achou da intervenção do professor?

14) Coloque na ordem de sua preferência os vários tipos de atividades oferecidas pelo Geometria Visu@l.

- manipulação direta 2
- manipulação indireta 1 porque eu construía.
- sem manipulação 3

15) Se você tivesse que falar sobre o Geometria Visu@l para um amigo, o que você diria?

Então, é aquilo que eu já te falei, que ontem eu já estava comentando, que se a gente não conseguiu aprender com... ou tivemos alguma dificuldade de aprender com o professor, fazendo o curso de geometria descritiva (o sistema), a gente aprenderia bastante, ou pelo menos, para quem nunca viu nada, aprenderia o básico. Algumas coisas talvez não entendesse, como por exemplo, os nomes... se bem que tem tudo explicado. Então, eu aconselharia a fazer como se fosse uma introdução à geometria descritiva ou um apoio, alguma coisa assim.

16) Geometria Visu@l procura sempre fazer com que o erro do aluno seja uma chance a mais de aprender, oferecendo uma animação, uma imagem ou um texto quando uma resposta está errada. O que achou dessa funcionalidade? Você aprendeu com seus erros? Justifique sua resposta.

É, o nosso professor costuma dizer isso, que quando você erra, você nunca mais esquece o que errou... pra você acertar. É bem isso mesmo. Quando eu errei lá nas

atividades e que apareceu que estava errado, alguns apagam, outros não... eu vi que aquilo que eu fiz, eu não poderia fazer de novo porque estava errado. ..é como um incentivo, não sei se esta seria a palavra, para eu tentar de novo.

17) Numa escala de 1 a 5, onde o número maior representa um grau maior, onde você coloca o seu interesse pelo sistema?

1 2 3 4 5X

18) Numa escala de 1 a 5, onde o número maior representa um grau maior, onde você coloca a sua satisfação em usar o sistema?

1 2 3 4 5X

19) Numa escala de 1 a 5, onde o número maior representa um grau maior, onde você coloca a sua motivação em usar o sistema?

1 2 3 4 5X

20) Que atividades foram mais motivadoras e menos motivadoras? Por que?

A mais motivadora, a de construir. Não sei se é porque é do meu interesse imediato isso, por ter me motivado mais, mas eu gostei porque eu não conseguia fazer nenhum desenho daquele estilo (épura) e acabou que eu consegui construir, gostei, voltei, fiz de novo...

A menos motivadora, não consigo lembrar. Aquela de verdadeiro ou falso que não tem muita graça.

21) O que você sugere para melhorar o Geometria Visu@l?

Talvez no final, introduzir alguns exercícios misturados, pra ver se o aluno conseguiu aprender mesmo. Um exercício de épura, um exercício de ponto, de plano. Alguns assim no final tipo joguinho também, pra ver se o aluno aprendeu mesmo. Um tipo de uma avaliação.

Obrigado Merci beaucoup ☺

Tableau d'une matrice fait avec le logiciel NUDIST

Quand utiliser le système X Individus qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive auparavant.

Matrix Node: (1 3 28) /GVisu@/traitements/quand utiliser X cours Non

Operator: INTERSECT

Definition: Copy of node (1 28) .

Rows: (1 1 6) /GVisu@/verbatins/quand utiliser

Columns: (1 2 12) /GVisu@/caractéristiques/cours NON

Data: Coding exists (1) or not (0)

QUAND UTILISER	ARCHITECTURE	ARTS	DESSIN INDUSTRIEL	SECONDAIRE
AVANT	0	1	1	0
INTERCALE	1	0	0	0
SEUL	0	1	0	1
APRES	0	1	1	1
PENDANT	0	1	1	0
PROFESSEUR	0	1	0	0
TOUT CYCLE	0	1	1	0

Q.S.R. NUD.IST Power version, revision 4.0.

Licensee: Toshiba.

PROJECT: GeometriaVisu@l, User marie, 11:05 am, Jul 3, 1999.

```
*****
(1 3 28)      /GVisu@l/tratamentos/quando usar X curso Nao
*** Definition:
Copy of node (1 28) .
Matrix Node.
#####
### Cell (1 1)
### (INTERSECT (1 1 6 18) (1 2 12 1))
## This cell codes no documents.
#####
### Cell (1 2)
### (INTERSECT (1 1 6 18) (1 2 12 4))
+++++
+++ ON-LINE DOCUMENT: Myrtes.txt
+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 61, = 1.6%
++ Text units 32-32:
Antes da aula para facilitar a visualização.                               32

#####
### Cell (1 3)
### (INTERSECT (1 1 6 18) (1 2 12 5))
+++++
+++ ON-LINE DOCUMENT: renato.txt
+++ Retrieval for this document: 2 units out of 136, = 1.5%
++ Text units 57-57:
Eu, que nunca tive essa matéria, acho que antes da aula funciona bem,
pois voce vai ter um primeiro contato e aquelas coisas do tipo... "ai meu
Deus! Isso eu não entendi...", o professor pode orientar.                    57
++ Text units 60-60:
Você vai passar por ele outras vezes e você vai notar que aprendeu. Então
pode ser no primeiro e no último também.                                     60
+++++
+++ ON-LINE DOCUMENT: thiago.txt
+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 86, = 1.2%
++ Text units 46-46:
Antes, durante e depois da aula. Tem que colocar o aluno na frente do
computador.                                                                    46

#####
### Cell (1 4)
### (INTERSECT (1 1 6 18) (1 2 12 6))
```

This cell codes no documents.

#####

Cell (2 1)

(INTERSECT (1 1 6 52) (1 2 12 1))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: daniele.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 79, = 1.3%

++ Text units 39-39:

Eu acho que tinha que ser intercalado. Acho que devia ter uma aula só com o computador, depois ter uma aula também no papel, para não viciar o aluno. A gente tem aula no computador e depois nunca mais quer olhar para o papel. Eu acho que tinha que ser meio a meio. Eu acho que em primeiro lugar devia usar o computador, pois é difícil para o professor passar para o aluno a terceira dimensão no quadro. Ele faz uma ginástica e não consegue. O computador mostra mais fácil. Aqui está como que é. Agora vocês vão fazer no papel.

39

#####

Cell (2 2)

(INTERSECT (1 1 6 52) (1 2 12 4))

This cell codes no documents.

#####

Cell (2 3)

(INTERSECT (1 1 6 52) (1 2 12 5))

This cell codes no documents.

#####

Cell (2 4)

(INTERSECT (1 1 6 52) (1 2 12 6))

This cell codes no documents.

#####

Cell (3 1)

(INTERSECT (1 1 6 72) (1 2 12 1))

This cell codes no documents.

#####

Cell (3 2)

(INTERSECT (1 1 6 72) (1 2 12 4))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: janaina.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 65, = 1.5%

++ Text units 34-34:

Mas no caso do professor estar funcionando, existe essa possibilidade da gente pedir ajuda de um professor pela internet, se ele estivesse funcionando...) poderia ser usado, eu quase usei, aí o Paulo estava lá e me deu uma assessoria.

34

#####

Cell (3 3)
 ### (INTERSECT (1 1 6 72) (1 2 12 5))
 ## This cell codes no documents.
 #####
 ### Cell (3 4)
 ### (INTERSECT (1 1 6 72) (1 2 12 6))
 +++++
 +++ ON-LINE DOCUMENT: breno.txt
 +++ Retrieval for this document: 1 unit out of 58, = 1.7%
 ++ Text units 30-30:
 Usar só o sistema. Porque ele passa uma programação com uma explicação
 muito boa. 30

 ### Cell (4 1)
 ### (INTERSECT (1 1 6 82) (1 2 12 1))
 ## This cell codes no documents.
 #####
 ### Cell (4 2)
 ### (INTERSECT (1 1 6 82) (1 2 12 4))
 +++++
 +++ ON-LINE DOCUMENT: rogerio.txt
 +++ Retrieval for this document: 1 unit out of 61, = 1.6%
 ++ Text units 31-31:
 Depois da aula, pois ainda é necessário o educador para direcionar o
 aluno. 31

 ### Cell (4 3)
 ### (INTERSECT (1 1 6 82) (1 2 12 5))
 +++++
 +++ ON-LINE DOCUMENT: renato.txt
 +++ Retrieval for this document: 1 unit out of 136, = 0.74%
 ++ Text units 58-58:
 Aquilo que a máquina não oferece, que é a empatia, depois você pode até
 voltar pra máquina. 58
 +++++
 +++ ON-LINE DOCUMENT: thiago.txt
 +++ Retrieval for this document: 1 unit out of 86, = 1.2%
 ++ Text units 46-46:
 Antes, durante e depois da aula. Tem que colocar o aluno na frente do
 computador. 46

 ### Cell (4 4)
 ### (INTERSECT (1 1 6 82) (1 2 12 6))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: leticia.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 58, = 1.7%

++ Text units 30-30:

Depois da aula porque deve-se ter uma certa teoria sobre o assunto
abordado. 30

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: pedro.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 63, = 1.6%

++ Text units 30-30:

Acho que é melhor depois né, porque daí você vai poder aplicar o que
aprendeu, no computador. 30

#####

Cell (5 1)

(INTERSECT (1 1 6 83) (1 2 12 1))

This cell codes no documents.

#####

Cell (5 2)

(INTERSECT (1 1 6 83) (1 2 12 4))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: janaina.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 65, = 1.5%

++ Text units 33-33:

Junto da aula porque sempre acontecem umas dúvidas rápidas. 33

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: rejane.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 59, = 1.7%

++ Text units 29-29:

Durante a aula . 29

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: sirleia.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 63, = 1.6%

++ Text units 32-32:

Usar o sistema durante a aula, porque o sistema não consegue sanar todas
as dúvidas. Penso que a presença do professor ainda é imprescindível. 32

#####

Cell (5 3)

(INTERSECT (1 1 6 83) (1 2 12 5))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: andre.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 66, = 1.5%

++ Text units 35-35:

Acho que poderia substituir alguma aula. Se tivesse uma sala com
computadores, os alunos se sentir mais incentivados a aprender. Deveria

ser usado durante a aula. 35

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: thiago.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 86, = 1.2%

++ Text units 46-46:

Antes, durante e depois da aula. Tem que colocar o aluno na frente do computador. 46

#####

Cell (5 4)

(INTERSECT (1 1 6 83) (1 2 12 6))

This cell codes no documents.

#####

Cell (6 1)

(INTERSECT (1 1 6 84) (1 2 12 1))

This cell codes no documents.

#####

Cell (6 2)

(INTERSECT (1 1 6 84) (1 2 12 4))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: regina.txt

+++ Retrieval for this document: 3 units out of 110, = 2.7%

++ Text units 61-63:

Então a pessoa, a facilidade dela acionar pelo botãozinho um professor e digitar ali com suas próprias palavras, sem intimidação, sem aquela coisa que a gente sabe que na sala de aula às vezes existe "ninguém vai perguntar; será que agora só eu vou levantar o dedo pra fazer uma pergunta." ...e nessa, o aluno nem levanta e a gente nem sabe que ele tem a dúvida, e ele dorme com essa dúvida, ele guarda isso na esperança de quem sabe mais para a frente conseguir descobrir. 61

Então ele vai atropelando seu próprio aprendizado, quando já podia estar... tem uma dúvida resolve, tem uma dúvida resolve. 62

Eu achei interessante. 63

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: sirleia.txt

+++ Retrieval for this document: 3 units out of 63, = 4.8%

++ Text units 24-25:

Sim, penso que pode facilitar 24

mas não a ponto de substituir a explicação de um mestre. 25

++ Text units 32-32:

Usar o sistema durante a aula, porque o sistema não consegue sanar todas as dúvidas. Penso que a presença do professor ainda é imprescindível. 32

#####

Cell (6 3)

(INTERSECT (1 1 6 84) (1 2 12 5))

This cell codes no documents.

#####

Cell (6 4)

(INTERSECT (1 1 6 84) (1 2 12 6))

This cell codes no documents.

#####

Cell (7 1)

(INTERSECT (1 1 6 96) (1 2 12 1))

This cell codes no documents.

#####

Cell (7 2)

(INTERSECT (1 1 6 96) (1 2 12 4))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: maria.txt

+++ Retrieval for this document: 5 units out of 73, = 6.8%

++ Text units 33-37:

A aula faz falta, eu acho que a aula faz falta, então ele poderia ser
incorporado na aula 33

e o aluno tendo acesso ao computador aqui ou a um computador em casa,
poderia usar depois da aula também. 34

Antes da aula eu acho que ficaria mais... é, acho que também seria uma
boa.. tornaria mais fácil de enxergar o que se esta desenhando. Antes da
aula ele também seria muito bom, 35

durante a aula como auxiliar e 36
depois da aula como um reforço. Nos três períodos. 37

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: regina.txt

+++ Retrieval for this document: 3 units out of 110, = 2.7%

++ Text units 51-53:

Se eu já tivesse acesso ao sistema, eu não especificaria de maneira
nenhuma, que ele teria como ele seria usado: olha, primeiro vocês vejam a
aula e só depois que a gente terminar esse capítulo é que vocês vão... 51

Então, se as pessoas já tivessem acesso a internet, se o programa já
estivesse disponível, acho que isso seria tema de primeira aula, vamos
divulgar isto daqui, até a título de curiosidade. 52

Então ele pode servir para despertar o interesse, pra reforçar os
conceitos durante o aprendizado e pode servir para fixar esses
conhecimentos depois do aprendizado. 53

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: tania.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 60, = 1.7%

++ Text units 33-33:

Em todos os casos valerá a pena pois cada caso é um caso e cada aluno tem
um potencial diferente. 33

#####

Cell (7 3)

(INTERSECT (1 1 6 96) (1 2 12 5))

+++++

+++ ON-LINE DOCUMENT: renato.txt

+++ Retrieval for this document: 1 unit out of 136, = 0.74%

++ Text units 59-59:

Você pode ter ele no ciclo todo, mas como primeiro contato e como último contato pra você verificar se aprendeu mesmo, inclusive o tempo, né...

você pode passar por ele outras vezes que não vai enjoar. 59

#####

Cell (7 4)

(INTERSECT (1 1 6 96) (1 2 12 6))

This cell codes no documents.

Comparaisons entre ce qui pensent les individus qui ont évalué le système GDVisu@l par rapport à celui-ci

Étudiants qui ont déjà étudié la géométrie descriptive

Discussion	Architecture	Génie Civil	Mathématique
Ce qu'ils pensent	<p>Fantastique. Bien différent de la méthode d'apprentissage qu'on avait. C'est drôle de voir en trois dimensions ce que tu dois imaginer beaucoup pour comprendre. Très bon parce que les doutes que j'avais sur les choses de bases sont dissipés, car le système explique en détails. Facile de naviguer et de comprendre leur fonctionnement, car il a les boutons explicatifs. Il est interactif. Il permet à quelqu'un qui n'a aucune notion de base de travailler avec la géométrie descriptive. À partir du troisième module, c'est plus indiqué pour ceux qui connaissent déjà cette partie de la géométrie descriptive. Génial, pour ceux qui sont en train d'apprendre, il est très bon, car on peut voir le rabattement, l'épure, on peut très bien visualiser. J'ai trouvé très bon, j'ai bien aimé. J'ai trouvé intéressant parce qu'on n'avait pas cette partie de visualisation au primaire et au secondaire et quand on arrive à l'université on a la géométrie descriptive dans la première session et on doit visualiser les yeux fermés, comme dit notre professeur. Avec le système on voit les plans, le</p>	<p>Le contenu du système est très bon et la présentation visualiser est aussi très bonne. À cause des problèmes des ordinateurs, le travail est devenu un peu difficile. Je l'ai trouvé très intéressant. Il offre une façon différente de voir les choses. Parfois on n'a pas une bonne vision spatiale et le système en offre une.</p>	<p>Je l'ai aimé parce que je savais peu de géométrie descriptive et je n'ai pas compris grand chose, même pas ce qui était une épure. Avec le système, sans un professeur à côté, seulement à travers les activités, exercices et jeux, j'ai beaucoup appris, beaucoup plus que dans toute cette année d'étude de géométrie descriptive. J'ai trouvé le système bon. Même pour ceux qui ne savent pas la GD il donne une bonne notion de base. Le système est bon et pratique. Il me semble bien innovateur, pratique, didactique et de grande utilité pour les étudiants qui ont besoin de la géométrie descriptive, tels que les étudiants en génie, architecture, arts, mathématique, entre autres.</p>

	<p>rabattement...</p> <p>Un bon système pour ceux qui commencent à apprendre la géométrie descriptive, car il travaille les concepts de base de cette discipline.</p> <p>Excellent, car c'est un système qui facilite la visualisation et, par conséquent, la compréhension de la discipline d'une façon dynamique et directe.</p> <p>Quelques questions qui étaient auparavant résolues à travers une méthode, sont maintenant résolues par la logique.</p> <p>Je l'ai trouvé très intéressant, parce qu'il devient facile de visualiser les plans, les droites et en même temps, si on fait une erreur, le système nous avertit et nous aide à la corriger.</p> <p>J'ai trouvé génial de pouvoir voir ce qu'on est en train de faire, car je ne suis pas très bon avec les épures, pour apprendre par cœur les noms.</p>		
--	--	--	--

Étudiants qui n'ont jamais étudié la géométrie descriptive auparavant.

Discussion	Architecture	Arts	Dessin industriel	Secondaire
Ce qu'ils pensent	J'ai trouvé facile de visualiser avec le système, beaucoup plus qu'au tableau. Il est pratique à travailler et divertissant en plus. Dans ma classe, il y a des	J'ai bien aimé le système. Il a dissipé presque tous mes doutes quand j'ai résolu les problèmes. Je ne connaissais rien à la géométrie descriptive. Pour moi, c'était comme du chinois	J'ai trouvé le système génial, on peut apprendre beaucoup de choses. J'ai appris beaucoup de choses que je ne savais pas. Il montre des exemples bien	C'est un système très bon, bien expliqué, avec les textes et les dessins. Je pense qu'il peut devenir viable. Il a sa place dans le futur...

	<p>gens qui ont plus de difficulté de visualisation que d'autres. Le système est un programme de base pour la visualisation. Il augmente le degré de difficulté en même temps que la personne augmente son degré de compréhension. La personne évolue avec le programme. Si elle n'évolue pas, elle ne fait pas de progrès. J'ai bien aimé le système et je pense qu'il devrait y avoir d'autres programmes semblables parce qu'on en a besoin pour les autres disciplines.</p>	<p>avant d'utiliser le système. Je suis chanceuse de pouvoir la connaître d'une façon facile à comprendre. Mes amis me disaient que si on fait les dessins seulement sur le papier, on ne voit pas bien. Avec le système, on peut bien voir ce que l'exercice demande, comme par exemple : la rotation d'un plan, l'épure (je ne savais pas avant ce qui c'était), ... Ce système facilite l'apprentissage parce que l'étudiant visualise ce qu'il est en train d'apprendre. Je l'ai bien aimé. La didactique est bonne. Elle accompagne progressivement le développement de l'étudiant. Le système nous donne la liberté de chercher des solutions pour nos doutes, qui sont nombreux. Quand on fait une erreur, on peut la corriger et apprendre avec elle. Je voudrais pouvoir l'utiliser</p>	<p>faciles à assimiler. Ce qui m'a le plus touché, a été la facilité avec laquelle la personne qui utilise le système manipule les images. On a le texte, la théorie et en même temps on a l'image qu'on peut manipuler, bouger. On explore l'image comme on veut et ça c'est primordial pour la compréhension. Il s'éloigne du concept normal de l'enseignement de la géométrie descriptive sur papier, qui est fatigant... imaginer les formes, imaginer comment faire. C'est beaucoup plus facile avec le système sans doute.</p>	<p>J'ai trouvé le système bon. Il a encore quelques petits problèmes, mais quand ils seront solutionnés, le système va devenir très bon.</p>
--	---	--	--	--

		déjà dans la classe ou bien y avoir accès de chez moi.		
--	--	--	--	--

4.3. Professeurs

Discussion	P1	P2	P3
Ce qu'ils pensent	Je pense que le système apporte ce que les professeurs en géométrie descriptive cherchent depuis longtemps, c'est-à-dire une façon interactive, rapide, consistante de montrer à l'étudiant un artifice pour qu'il puisse voir dans un espace qu'il doit normalement plutôt imaginer, sans jamais avoir été préparé à le faire. Cette façon ludique, interactive, amusante que le système apporte, je pense qu'elle répond et remplit la lacune qui était ouverte depuis longtemps.	Excellent, parce qu'il nous stimule à visualiser dans l'espace et à représenter les projections de certaines formes qui normalement ne sont pas toujours faciles.	Je suis très impressionné, très bien. Le site est très bien assemblé, une fois que vous l'avez installé sur le web, c'est très bien fait, c'est une interface assez transparente, logique, donc je vous complimente. Si on entre dans les détails, j'aurais certaines observations par rapport aux tests utilisés. Avec des tests limités, quelle est la validité du résultat ?

Experts en technologie éducative

Discussion	T1	T2	T3
Ce qu'ils pensent	J'ai trouvé l'expérience le « fun ». Elle a été très agréable, surprenante. Je pense que ça atteint son but. Je trouve que le système a l'esprit de la visualisation, pour que l'étudiant puisse visualiser les concepts en trois dimensions. C'est ça la géométrie descriptive, c'est le 3D et	Je me suis aperçu que dans le déroulement de l'utilisation du système on a une évolution graduelle. Pendant qu'on parcourt les	Je l'ai bien aimé à cause de tous les exercices, j'ai bien aimé ça. Je pense qu'un point fort du système est le fait qu'il faut travailler. On apprend en faisant les exercices. J'ai bien aimé ça,

	<p>quand il y a des animations, je trouve ça le « fun ». Un exemple, au début, dans les premiers exercices, où on a fait pivoter pour voir s'il y avait de triangles, de losanges. D'ailleurs, le système est progressif. On en voit de plus en plus et, comme je le disais, à la fin il devient plus difficile, mais comme on a abordé cette notion-là, tridimensionnellement, étape par étape, on commence à comprendre le principe.</p>	<p>différents modules on accumule des connaissances. Bien qu'il présente des petits problèmes d'ordre visuel, dans l'ensemble, il me semble fonctionner très bien.</p>	<p>c'est très interactif parce qu'il exige beaucoup de participation de l'étudiant au niveau cognitif, pas juste pour pironner, mais un effort cognitif. Ce que j'ai beaucoup aimé aussi est qu'on fait l'apprentissage par perception visuelle. Le cours est sur la perception visuelle, mais on doit utiliser beaucoup cette habileté pour progresser dans le cours. Alors, c'est un cours qui exige les habiletés pour progresser, mais ce sont toujours les mêmes habiletés qu'on veut que l'étudiant apprenne, alors, c'est très bien. Je trouve que c'est très bien. Il y a très peu de chose présenté en texte. Tout est présenté visuellement ce qui convient très bien au sujet.</p>
--	--	--	---