



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

L'apprentissage par problèmes et par projets en ingénierie

Nouveaux programmes de génie électrique
et de génie informatique

Document d'information

Département de génie électrique et
de génie informatique

Faculté de génie

Département de génie électrique et de génie informatique

Informations: secretariat@gel.usherb.ca

© Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke,
novembre 2002, révision août 2003

Rédacteurs du document:

Daniel Dalle, Gaston Denis, Gérard Lachiver, René Hivon, Noël Boutin, Sylvie Bourque

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE	1
1 Origine et justification de la réforme	2
2 Les fondements de la réforme	5
2.1 Les fondements professionnels et les exigences d'accréditation.....	5
2.2 Les fondements pédagogiques.....	6
3 Les lignes directrices de la réforme.....	7
3.1 Une approche par compétences.....	7
3.2 Une stratégie d'apprentissage.....	9
3.3 Une nouvelle relation pédagogique entre les enseignants et les étudiantes et étudiants	11
3.4 L'autoapprentissage et l'apprentissage collaboratif	12
3.5 Le travail en équipe des enseignants, un facteur de cohérence et d'efficacité	12
4 Des exemples de programmes de même inspiration	13
4.1 Le génie mécanique à la Faculté de génie de l'Université de Sherbrooke	13
4.2 Le génie à l'Université d'Aalborg au Danemark.....	14
4.3 La médecine à l'Université de Sherbrooke.....	14
4.4 D'autres sources	15
5 Les appuis à la réforme	15
5.1 L'engagement du corps professoral du Département.....	15
5.2 L'adhésion des étudiantes et étudiants	16
5.3 Des appuis d'experts.....	17
5.4 Des appuis institutionnels.....	17
6 La description des programmes.....	19
6.1 L'agencement des sessions d'études et des stages coopératifs.....	19
6.2 Les thèmes des sessions d'études	19
6.3 Les activités pédagogiques	20
6.4 Les activités d'apprentissage.....	22
6.5 Le lien entre les activités pédagogiques et les activités d'apprentissage.....	26
6.6 Les ressources professorales d'une session	27
7 L'évaluation des apprentissages et des compétences	28
7.1 L'approche générale	28

7.2	Les évaluations formatives périodiques.....	28
7.3	Les évaluations sommatives périodiques individuelles	29
7.4	L'évaluation des projets de session.....	29
7.5	Les évaluations sommatives individuelles de fin de session	30
8	Conclusion.....	31

LISTE DES TABLEAUX ET DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1	Cheminement des études avec l'alternance des stages	19
Tableau 2	Thèmes des sessions et modules de spécialisation	20
Tableau 3	Les phases de l'apprentissage par problèmes	22
Tableau 4	Calendrier type d'une unité d'APP de deux semaines.....	26
Figure 1	Concept de l'organisation d'une session d'enseignement.....	27

PRÉAMBULE

Les programmes de baccalauréat en génie électrique et en génie informatique ont subi une réforme importante mise en application depuis septembre 2001. Les nouveaux programmes visent le développement des compétences dans une approche pédagogique innovatrice d'apprentissage par problèmes et par projets en ingénierie (APPI) développée au Département de génie électrique et de génie informatique de la Faculté de génie de l'Université de Sherbrooke.

Cette réforme est issue d'une préparation planifiée depuis plusieurs années et s'appuie sur les principes pédagogiques d'une approche par compétences qui sont reconnus dans la formation des professionnels, particulièrement dans les programmes de médecine; depuis quelques années ces principes commencent à être appliqués aux programmes de génie. Une pédagogie de formation par compétences est centrée sur l'étudiante et l'étudiant et vise la construction des compétences.

Dans les nouveaux programmes du Département de génie électrique et de génie informatique, l'apprentissage se déroule dans un contexte pratique où l'acquisition et l'organisation des connaissances se font grâce à des activités conçues pour placer l'étudiante et l'étudiant dans des situations où ils sont responsables de leur apprentissage. L'enseignant y a un rôle de guide, de ressource de connaissances et d'évaluateur. Chaque session du programme est caractérisée par un thème différent qui fournit le cadre pratique des situations d'apprentissage. Les étudiantes et étudiants participent en petits groupes à des unités d'apprentissage par problèmes dont l'encadrement est assuré par les professeurs. Des activités de tutorats, ainsi que l'étude personnelle planifiée, occupent une place importante dans cette approche qui est appuyée par diverses activités de formation pratique et de laboratoire dans lesquelles on pratique le travail collaboratif.

La formation comprend des projets pertinents au thème de chaque session du programme. Les étudiantes et étudiants coopèrent en équipe à la réalisation de ces projets qui intègrent les connaissances et les éléments de compétences acquises dans les unités d'apprentissage par problèmes. L'activité de projet vise spécifiquement la construction des compétences de conception et de gestion de projet, ainsi que des compétences interpersonnelles et intrapersonnelles.

Un processus d'évaluation élaboré soutient le programme. Le développement des compétences est évalué au regard de critères bien définis par des activités d'évaluation multiples et variées, réparties au cours des apprentissages. Il y a une primauté de l'évaluation individuelle. Une évaluation formative régulière indique la progression et une évaluation sommative sanctionne les apprentissages de chaque unité et de chaque session.

1 Origine et justification de la réforme

Le Département de génie électrique et de génie informatique a la responsabilité de deux programmes coopératifs de premier cycle qui sont accrédités par le Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie : Le programme de baccalauréat en génie électrique et le programme de baccalauréat en génie informatique. La capacité d'accueil de chacun des programmes est de 100 étudiantes et étudiants. Le programme de génie informatique est récent (1993). Il a connu une croissance rapide, la cohorte passant de 55 à 100 étudiantes et étudiants après 3 ans d'existence. Les deux programmes ont en commun une partie de leurs objectifs et de leurs contenus.

En 1997, le Département de génie électrique et de génie informatique effectuait l'évaluation de son programme de baccalauréat en génie électrique dans le cadre de la politique d'évaluation institutionnelle de l'Université de Sherbrooke. Cette évaluation a établi que le programme était de bonne qualité, quant à ses fondements scientifiques et quant à son actualisation technologique, et qu'il présentait un bon équilibre entre la formation pratique et la formation théorique. L'évaluation a cependant mis en évidence des améliorations possibles au niveau de la structure, des méthodes pédagogiques et des contenus. La structure des programmes antérieurs favorisait un morcellement des connaissances. Chaque cours était généralement associé à un professeur et il n'y avait que peu d'espace d'intégration pour des projets de conception d'envergure. Ces programmes manquaient aussi d'ouverture sur des volets non techniques de la formation et il y avait peu de liens interdisciplinaires pour amener les étudiantes et les étudiants à explorer de nouveaux champs.

La formation donnée par ces programmes traditionnels ne tenait pas suffisamment compte des réalités de la pratique professionnelle où les situations sont complexes, les solutions multiples, les communications et les échanges interdisciplinaires importants. Ainsi, plusieurs compétences exigées par les nouvelles réalités de la profession n'étaient pas correctement développées dans les programmes.

Bien que le programme de génie informatique n'ait pas été soumis à la même évaluation en 1997, un bon nombre d'éléments de l'analyse du programme de génie électrique pouvaient s'appliquer également à ce programme.

Le Département de génie électrique et de génie informatique a déjà pris des moyens pour améliorer la qualité de ses programmes. Depuis 1998, le Département a expérimenté de nouvelles approches pédagogiques avec les 200 étudiantes et étudiants de première année des programmes de génie électrique et de génie informatique. Également, un projet majeur avec un volet d'intégration et de lancement d'entreprise a été expérimenté en génie informatique.

Plusieurs expériences ont été réalisées dans des cours spécifiques, soit au niveau de l'utilisation d'Internet dans l'enseignement, soit par le développement de projets de conception ou la mise en place de situation d'intégration des connaissances. Ces expérimentations ont eu pour but de recueillir des données, de valider des approches pédagogiques, de mesurer la réponse des étudiantes et étudiants et d'évaluer les ressources humaines et financières requises par ces méthodes pour en arriver à développer une approche innovatrice. Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dont quelques-unes sont énumérées en bas de page [1][2][3].

- L'évolution rapide des contenus

Une partie du corpus des connaissances de génie électrique et de génie informatique évolue rapidement sous diverses forces d'influence comme l'expansion du marché des technologies de l'information et des télécommunications, la diversification des domaines d'applications, le développement de nouvelles technologies matérielles et logicielles, la croissance de la complexité des systèmes et la prise en considération des facteurs socio-économiques.

Les programmes de formation relatifs à l'ingénierie des systèmes d'information doivent s'adapter rapidement à cette évolution rapide et préparer les étudiantes et étudiants à faire face à un marché de l'emploi en évolution permanente. De nouveaux programmes diversifiés ont été proposés par les universités canadiennes. Ainsi, plusieurs programmes de génie informatique ont été créés au Canada durant les années 80 et, plus récemment, de nouveaux programmes de génie logiciel se développent aussi. L'évolution du volume des connaissances explique cette partition des programmes issus principalement du génie électrique et des sciences informatiques. Cette situation crée des pressions importantes sur les programmes et il est nécessaire de les adapter.

- Les nouvelles compétences à acquérir

L'évolution de la pratique professionnelle, même si les valeurs fondamentales demeurent inchangées, exige dès le début de la carrière les compétences requises pour travailler à des projets complexes avec des professionnels formés à d'autres disciplines, ou bien des compétences permettant

[1] F. Michaud, M. Lucas, G. Lachiver, A. Clavet, Jean-Marie Dirand, N. Boutin, P. Mabilieu, J. Descôteaux, "Using Robus in Electrical and Computer Engineering Education", Annual American Society of Engineering Education Conf. 1999

[2] Gérard Lachiver, Daniel Dalle, Noël Boutin, André Clavet, François Michaud, Jean-Marie Dirand, "Competency- and Project-Based Programs in Electrical & Computer Engineering at the Université de Sherbrooke", IEEE Canadian Review – No. 41, pages 21,24, Summer / Été 2002.

[3] G. Lachiver, D. Dalle, N. Boutin, R. Thibault, J-M. Dirand, R. Hivon, "Redesign of Electrical and Computer Engineering Programs at Sherbrooke University ", Canadian Conference on Engineering Education, aug. 23-25 2001, Victoria, Canada

d'assumer des responsabilités variées au sein de la petite entreprise. Les responsables des ressources humaines des grandes entreprises reconnaissent que l'excellence académique des candidats est un critère de sélection, mais que les compétences de travail en équipe, de communication et les qualités personnelles sont également d'une grande importance.

- Une approche intégrée

La formation de l'ingénieur, à l'image de la profession, ne devrait pas être compartimentée en activités pédagogiques cloisonnées. La nécessité d'intégrer la formation aux compétences professionnelles non spécifiques à la discipline est reconnue et les programmes d'ingénierie évoluent de manière à renforcer cet aspect de la formation identifiée comme *études complémentaires* dans les programmes d'ingénierie.

1.1.1 *Les limitations du modèle pédagogique antérieur*

L'approche pédagogique traditionnelle est essentiellement centrée sur les enseignements et sur les objectifs cognitifs des activités pédagogiques. C'est un modèle où le professeur est le détenteur d'un savoir qu'il cherche à « transmettre ». Les étudiantes et les étudiants jouent trop souvent un rôle passif dont la conséquence est que beaucoup de connaissances acquises restent inertes. Cette façon de faire n'induit pas chez l'étudiante ou l'étudiant une prise en charge de sa formation, condition essentielle au succès professionnel. Les professeurs sont très conscients des limitations de ce modèle et ils font de nombreuses innovations pédagogiques à petite ou à moyenne échelle. Malgré ces initiatives et ces efforts, le cadre pédagogique traditionnel centré sur les enseignements plutôt que sur les apprentissages ne permet pas de remédier à ce problème fondamental.

1.1.2 *Le besoin d'un modèle efficace et efficient*

- L'efficacité dans les apprentissages

Dans le modèle pédagogique traditionnel, l'utilisation des technologies de l'information risque d'avoir parfois un effet collatéral défavorable. Le professeur consacre beaucoup d'effort à déployer un outil qu'il veut performant pour la « transmission » des connaissances. L'étudiant minimise éventuellement son effort d'apprentissage et trouve qu'il n'est plus nécessaire d'assister à tous les cours magistraux, surtout si le professeur y présente des informations déjà publiées sur un site Web. Le contact professeur-étudiant peut s'en retrouver diminué. L'organisation de forums de discussions sur Internet, l'interaction par courriel constituent de nouveaux outils très intéressants mais ils peuvent renforcer l'effet défavorable mentionné et incite le professeur à dédoubler son mode d'interventions pédagogiques: d'une part il prépare des leçons magistrales pour les étudiantes et étudiants qui le

souhaitent et d'autre part, il doit prendre en charge aussi des interventions d'encadrement à distance pour ceux qui choisissent de ne pas assister au cours magistral. Aux cours magistraux, il faut ajouter des activités de laboratoire et de projets pour lesquelles l'étude individuelle et le travail coopératif sont requis. Mais l'encadrement pédagogique de ces formes d'apprentissage est structuré de façon inégale dans le programme traditionnel. Un nouveau modèle efficace et efficient est nécessaire, mais il ne peut pas se réaliser par quelques changements ou additions dans le programme alors que le fondement même de l'approche pédagogique est une cause de limitation.

- L'efficacité quant aux ressources disponibles

Le Département compte maintenant 34 professeurs actifs au niveau du Département. Dans le programme traditionnel, la responsabilité de la prestation de plusieurs cours est confiée à des chargés de cours, conseillés par les professeurs responsables des cours concernés, mais ces chargés de cours bénéficient rarement des ressources d'une équipe professorale. Les programmes réformés, en utilisant les ressources avec une plus grande efficacité, permettent d'atteindre un niveau d'efficacité souhaitable.

2 Les fondements de la réforme

2.1 Les fondements professionnels et les exigences d'accréditation

Comme il a été mentionné, la réforme des programmes effectuée au Département de génie électrique et de génie informatique répond à des changements profonds et rapides des exigences de la pratique professionnelle en ingénierie en général et dans ces champs de spécialisation en particulier. Par ailleurs, dans les travaux d'ingénierie, les exigences d'intégration de considérations économiques, environnementales et sociétales en général, souvent renforcées par la législation et les règlements qui en découlent, imposent une formation qui inclut, mais surtout intègre, des disciplines de sciences humaines, notamment au niveau de la conception.

À ces réalités s'ajoute la capacité de travailler en équipes souvent multidisciplinaires, celle de communiquer efficacement avec divers publics, ainsi que l'autonomie nécessaire dans son apprentissage pour poursuivre son perfectionnement tout au long de sa carrière dans une perspective de formation continue. Le Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie fixe des exigences précises par des normes que doivent respecter les programmes d'ingénierie [4]. Ces

[4]"Normes et procédures d'accréditation 2001", Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie, Conseil canadien des ingénieurs, http://www.ccpe.ca/files/report_ceab.pdf

normes tiennent compte du besoin qu'a l'ingénieur d'être flexible, créateur, plein de ressources et capable de s'adapter aux changements qui surviennent dans la société, la technologie et le cheminement de sa carrière. Les normes visent à assurer qu'on fera prendre conscience à l'étudiante et à l'étudiant du rôle joué par l'ingénieur dans la société et de ses responsabilités vis-à-vis la société, ainsi que de l'impact des différentes facettes de l'ingénierie aux points de vue environnement, économie, vie sociale et culture. Les normes sont conçues de façon à tenir compte du besoin de l'ingénieur de travailler à la fois efficacement comme membre d'une équipe et être capable de communiquer avec les collègues et le public en général.

L'approche par compétences, associée à des méthodes rigoureuses d'évaluation de l'atteinte des compétences par chacun des étudiantes et étudiants a été instaurée pour rejoindre les aspects de la profession que les normes visent spécifiquement.

2.2 Les fondements pédagogiques

L'approche par compétences des programmes de baccalauréat en génie électrique et de baccalauréat en génie informatique, ainsi que la stratégie d'apprentissage par problèmes et par projets, trouvent leurs fondements dans les théories du constructivisme cognitif. Ces théories découlent des travaux de John Dewey, de Jean Piaget et de Jerome Bruner, parmi d'autres. Les méthodes du constructivisme mettent l'accent sur l'aptitude de l'étudiante et de l'étudiant à résoudre des problèmes concrets du monde réel. Typiquement, ils travaillent en groupes collaboratifs plutôt qu'individuellement; ils se concentrent sur des projets qui demandent la solution de problèmes plutôt que sur l'étude de matières ayant fait l'objet d'un enseignement. Le rôle du professeur consiste à s'assurer que les ressources éducatives sont disponibles et que les processus d'apprentissage se déroulent normalement; il agit comme guide ou « tuteur » des étudiantes et étudiants durant leur apprentissage et évalue les compétences atteintes et, au nom de l'institution, les sanctionne aux moments opportuns[5].

Suivant cette vision, l'apprentissage est un processus individuel, actif, constructif et cumulatif. On y accorde aussi une place importante à la métacognition [6] qui amène l'apprenant à comprendre et évaluer sa propre démarche d'apprentissage et ensuite, à agir sur elle.

[5] On trouvera sur Internet de nombreuses sources de références tant sur les théories cognitives que sur leur actualisation dans des stratégies d'apprentissage comme l'apprentissage par problèmes et par projets.

Pour les théories cognitives : http://carbon.cudenver.edu/~mryder/itc_data/constructivism.html

Pour l'apprentissage par problèmes: <http://www.udel.edu/pbl/>

[6] Pierre Mongeau, "Participation en groupe et métacognition", Interactions vol. 1, no 2, Automne 1997.

Les pratiques antérieures, comme en général partout ailleurs, s'inspiraient du modèle béhavioriste auquel on associe souvent B.F. Skinner. L'enseignement magistral, les répétitions en petits groupes et les exercices dirigés caractérisent ce modèle centré sur la transmission du savoir. Ce modèle peut s'avérer efficace pour l'acquisition de connaissances déclaratives comme par exemple, des notions de mathématiques, l'acquisition de vocabulaire... et dans la mesure où la taille des groupes permet encore l'interaction entre le professeur et les étudiantes et étudiants.

Actuellement, l'approche constructiviste gagne du terrain à tous les ordres d'enseignement, y compris à l'université, surtout dans les domaines professionnels. Elle apparaît donner une préparation meilleure pour œuvrer dans des champs de pratique complexes et en constante évolution; par l'autonomie qu'elle inculque, elle prépare aussi au perfectionnement tout au long de la vie.

3 Les lignes directrices de la réforme

3.1 Une approche par compétences

3.1.1 La théorie des compétences appliquée au génie

Une compétence se définit comme un savoir-agir complexe fondé sur la mobilisation et l'utilisation efficace d'un ensemble de ressources [7]. L'idée de savoir-agir fait ressortir que chaque compétence est essentiellement de l'ordre de l'action, qu'elle permet à un individu de mettre en œuvre un ensemble de réflexions, de processus, de stratégies et d'actions en vue de répondre à une tâche donnée. L'idée de savoir-agir concourt à distinguer la compétence d'une simple procédure, évitant de cette manière qu'une compétence devienne synonyme de savoir-faire. Le savoir-agir accorde donc un rôle et un caractère très englobant à la compétence. Dans une telle conception, il est évident qu'un programme d'études ne contiendra qu'un nombre restreint de compétences, chacune d'elles intégrant cependant un nombre élevé de ressources, dont des savoir-faire.

Pour le développement des programmes de génie électrique et de génie informatique, la définition adoptée est la suivante :

Une compétence, c'est:

- *un système de connaissances déclaratives (le quoi) ainsi que conditionnelles (le quand et le pourquoi) et procédurales (le comment);*
- *organisées en schémas opératoires;*

[7] Guy Le Boterf "L'ingénierie des compétences » deuxième édition", Éditions d'organisation, 1999, 445 pages.

- *qui permettent, à l'intérieur d'une famille de situations, non seulement l'identification de problèmes, mais également leur résolution par une action efficace.*

Toute compétence intègre plusieurs connaissances.

3.1.2 *Le niveau des compétences à l'issue de la formation initiale*

- Les compétences terminales

Une formation par compétences spécifie les compétences qu'une étudiante ou un étudiant doit démontrer à la fin de ses études et met en œuvre des pratiques éducatives qui assurent qu'elle ou il maîtrise ces compétences. Ainsi, au lieu de déterminer si l'étudiante ou l'étudiant diplômé après avoir accumulé un certain nombre de crédits de cours, la diplômation devient conditionnelle à la démonstration de la maîtrise d'un ensemble de compétences bien définies.

Les compétences dites terminales qu'une diplômée ou un diplômé doit démontrer sont les compétences attendues d'un ingénieur débutant. Les compétences énoncées au niveau du programme sont dites « terminales ». Il est entendu que l'adjectif « terminales » est relatif au programme de formation et non au contexte de la pratique professionnelle, étant donné que l'objectif du programme est de former des ingénieurs débutants et non des professionnels expérimentés ou des experts. Ces compétences terminales découlent d'un consensus des différents milieux académiques, professionnels et industriels.

Les compétences d'un ingénieur forment un tout indivisible mais pour les fins de construction des programmes, les compétences retenues ont été classées en quatre grandes catégories:

1. compétences scientifiques et techniques propres à la discipline (au génie informatique, au génie électrique);
2. compétences en conception;
3. compétences interpersonnelles;
4. compétences intrapersonnelles.

Pour agir avec compétence dans sa pratique, le professionnel doit avoir recours à divers types de ressources : des connaissances déclaratives ou procédurales, des savoir-faire opérationnels et cognitifs, de l'expérience, des aptitudes, des ressources psychologiques et émotionnelles [8]. On ne peut pas hiérarchiser les compétences comme il est coutume de le faire pour des objectifs d'apprentissage dans une approche traditionnelle. Pour décrire les programme d'études, le terme *éléments de compétences* est utilisé pour décrire en pratique ces diverses ressources et connaissances.

[8] Guy Le Boterf "L'ingénierie des compétences » deuxième édition", Éditions d'organisation, 1999, 445 pages.

Pour fonder une formation par compétences, il faut tenir compte aussi du fait que les compétences ne se transfèrent pas. On ne peut que créer des conditions favorables à la construction toujours personnelle des compétences. Les activités d'apprentissage d'une session décrivent les éléments de compétences qu'elles visent et leurs niveaux de maîtrise. Elles décrivent aussi le contexte d'apprentissage le plus approprié au développement et à l'expression de la compétence (cours, tutorat, projet, travail en équipe, lecture individuelle), ainsi que les mécanismes et les critères d'évaluation de la compétence.

- Les compétences intermédiaires

Une projection des compétences terminales sur chaque session du programme permet d'assurer un développement graduel et contrôlé des compétences tout au long de la formation. Le niveau de maîtrise de certaines compétences peut être considéré achevé à une session particulière, alors que le développement des compétences de conception et des compétences intra et interpersonnelles se fait graduellement.

3.2 Une stratégie d'apprentissage

Le Département a introduit une approche originale qui combine l'apprentissage par problèmes et la formation par projets.

3.2.1 L'apprentissage par problèmes

L'apprentissage par problèmes [9] (APP) est une méthode pédagogique consistant à exposer un groupe collaboratif d'une douzaine d'étudiantes ou étudiants à une série de situations problématiques complexes, sans que toutes les connaissances nécessaires à leur résolution ne soient préalablement acquises. Les unités d'apprentissage par problèmes ont une durée limitée à deux semaines pour les programmes réformés. Il s'agit d'une démarche pédagogique préparée soigneusement par un groupe de professeurs experts. Les problèmes soumis s'apparentent idéalement à ceux que l'on rencontre dans la pratique professionnelle de l'ingénieur.

L'étudiante ou l'étudiant suit une démarche d'apprentissage très structurée sous la supervision d'un professeur-tuteur et d'auxiliaires d'enseignements. Il y participe activement. Dans une première phase, il aborde la formulation du problème et sur la base de ses connaissances antérieures, il fixe des voies de solution et découvre des objectifs d'apprentissage conformes aux objectifs du programme.

[9]"L'apprentissage par problèmes en ingénierie (APP)", Département de génie électrique et de génie informatique, Faculté de génie, Université de Sherbrooke, révision juin 2002.

L'étudiante ou l'étudiant aborde alors une démarche d'autoapprentissage, d'apprentissage collaboratif et d'autoévaluation pour acquérir les connaissances additionnelles qui lui permettront de résoudre le problème. Il devra aussi savoir transposer ces connaissances à d'autres problèmes. La solution est développée et ensuite un bilan des apprentissages en petit groupe, puis individuel, est réalisé. La démarche se termine sur une phase d'évaluation individuelle de type formatif en premier lieu et de type sommatif en conclusion.

3.2.2 *L'apprentissage par projets*

L'apprentissage par projets complète la formation de l'apprentissage par problèmes. Le projet, qui s'étend sur toute la session d'une durée de 4 mois, fournit un contexte d'apprentissage pratique d'une ampleur qui peut être assez importante.

Les programmes antérieurs comportaient déjà des activités pédagogiques de type projet. Les programmes réformés se sont appuyés sur les diverses expériences pilotes réalisées : projets de conception dans le contexte d'un cours, projets de conception intégrateurs attachés à plusieurs activités pédagogiques, projets de conception en relation avec des travaux réalisés à l'occasion d'un stage antérieur, projets de fin d'études réalisés avec des équipes de 8 à 12 étudiantes et étudiants avec un volet « lancement d'entreprise ».

Les programmes réformés comportent un projet de conception à chaque session. Les projets sont limités à une ampleur de 3 crédits au début du programme et un projet majeur de conception de 15 crédits, réparti sur les deux dernières sessions, intervient à la fin du programme.

Le projet se rapporte à un sujet pertinent au thème de la session. Les étudiantes et étudiants coopèrent en équipe à la réalisation de ce projet qui permet d'intégrer les connaissances et les éléments de compétences acquises dans les unités d'apprentissage par problèmes. L'activité de projet vise spécifiquement la construction des compétences de conception et de gestion de projet, les compétences interpersonnelles et les compétences intrapersonnelles.

Au début du programme, les projets sont encadrés, les jalons sont déterminés et le degré de liberté dans les exigences du projet est limité. À la fin du programme, les compétences étant déjà bien développées, les projets seront plus ouverts.

Dans les programmes réformés, on précise les compétences développées par les projets. La projection des compétences de conception sur l'ensemble du programme est établie de manière à acquérir graduellement les connaissances du processus de conception et de mettre en application ces connaissances sur les projets. Le niveau de complexité des projets augmente, du début à la fin du

programme, permettant de développer ainsi des compétences de conception avec une complexité et des niveaux de maîtrise croissants.

Des repères dans la projection des compétences de la formation par projets au cours du programme sont les suivants :

- processus de résolution de problèmes ;
- travail en équipe ;
- travail coopératif ;
- communications techniques ;
- gestion de projet et processus;
- emploi de méthode pour la créativité ;
- documentation normalisée ;
- présence d'un client externe ;
- projet « ouvert » ;
- gestion de la qualité ;
- métriques ;
- projet réalisé en équipe multidisciplinaire ;
- innovation.

3.2.3 *Les stages*

Les activités obligatoires de stages jouent un rôle important pour le développement de plusieurs compétences. On doit reconnaître cependant que les professeurs ont peu d'information leur permettant d'évaluer les compétences développées en stage. Il y a une forme d'évaluation des éléments de compétences interpersonnelles et intrapersonnelles assurée par les coordonnateurs du Service des stages et du placement. Il y a pour cela, un suivi réalisé lors du stage, un rapport de l'étudiant et un rapport de l'employeur. L'évaluation d'un stage est notée sur deux niveaux : réussite ou échec. Les expériences pilotes menées au Département de génie mécanique ont confirmé la difficulté d'évaluer des compétences pendant un stage s'il faut demander une production supplémentaire aux étudiantes et étudiants. Il faudrait peut-être raffiner les instruments d'observation qui existent déjà.

3.3 **Une nouvelle relation pédagogique entre les enseignants et les étudiantes et étudiants**

L'approche proposée de formation par compétences avec des unités d'apprentissage par problèmes et par projets change radicalement le rôle du professeur étant donné que l'attention se porte sur l'apprentissage de l'étudiante et de l'étudiant et non plus sur l'enseignement du professeur. Le

professeur est alors une personne ressource, un guide et un évaluateur. Le rôle de professeur dans les tutorats de l'APP [10] est bien différent de celui du professeur dans une leçon magistrale. Dans le tutorat d'APP et dans les périodes de pratique procédurale, le professeur n'enseigne pas au sens traditionnel, il anime, il questionne, il confronte les connaissances des étudiantes et des étudiants, il valide les connaissances acquises et il évalue certaines compétences interpersonnelles.

Les rencontres en grand groupe sont peu fréquentes et sont employées lorsqu'une information spécifique peut être communiquée efficacement de cette manière au groupe entier.

3.4 L'autoapprentissage et l'apprentissage collaboratif

L'apprentissage par problèmes et par projets est une démarche active, centrée sur l'apprenant. De ce principe [11], il résulte que l'autoapprentissage y trouve une place importante. L'étudiant qui est responsable de ses apprentissages doit définir par lui-même les objectifs d'apprentissage qui lui sont pertinents, ce qui lui permet d'acquérir une façon d'apprendre qui lui servira tout au long de sa carrière. Les activités d'apprentissage exploitent aussi l'enseignement collaboratif dans lequel le groupe constitue une ressource pour les phases du processus d'apprentissage; ce qui permet d'activer des connaissances antérieures, d'échanger des connaissances, de valider des solutions et des connaissances acquises sous la supervision d'un formateur. L'apprentissage collaboratif se distingue du travail coopératif qui caractérise plutôt la démarche du projet dans lequel les étudiantes et étudiants coopèrent en partageant éventuellement certaines tâches. L'apprentissage collaboratif est tout à fait compatible avec l'apprentissage individuel.

3.5 Le travail en équipe des enseignants, un facteur de cohérence et d'efficacité

Dans la mise en œuvre d'un apprentissage par problèmes et par projets, il va de soi que les enseignants travaillent en équipe pour homogénéiser la supervision des activités d'apprentissage. En effet, les tutorats sont organisés en petits groupes et nécessitent l'intervention de plusieurs tuteurs simultanément. La formule pédagogique requiert implicitement une grande cohérence entre les diverses activités supervisées par des personnes différentes. De plus, le travail d'équipe étant une exigence de formation pour les étudiantes et les étudiants, il est dans l'ordre des choses que les formateurs travaillent eux-mêmes en équipe de professionnels. Les étudiantes et les étudiants s'adaptent très bien à cette organisation qui leur permet d'avoir accès à plusieurs personnes

[10] "L'apprentissage par problèmes en ingénierie (APP)", Département de génie électrique et de génie informatique, Faculté de génie, Université de Sherbrooke, révision juin 2002.

ressources, bien au courant de l'unité en voie d'exécution. Cette structure requiert généralement une modification des pratiques usuelles d'enseignement, avec un résultat des plus enrichissant.

4 Des exemples de programmes de même inspiration

L'approche par compétences et les stratégies d'apprentissage par problèmes ou par projets ne sont pas des phénomènes nouveaux en éducation. Certains les ont même qualifiés de « Retour vers le futur ». Mais, comme il a été dit précédemment, ce sont les progrès récents des connaissances scientifiques dans les domaines de l'expertise, de la cognition, de l'apprentissage et de l'enseignement qui sont venus en valider l'application.

Au Québec, les formations techniques au secondaire et au collégial utilisent l'approche par compétences depuis plusieurs années et les réformes en profondeur, actuellement au primaire et bientôt au secondaire, lesquelles viennent changer le paradigme de l'enseignement pour celui de l'apprentissage, puisent aux mêmes sources d'inspiration.

Dans les formations supérieures, ce sont la réorientation et le perfectionnement qui ont eu davantage recours à l'approche par compétences, car celle-ci permet de bien cibler l'intervention, de construire sur les acquis existants; elle facilite également le transfert des compétences nouvelles vers la pratique. On peut citer à cet égard les travaux de Le Boterf [12].

L'approche par compétences et l'apprentissage par problèmes et par projets ont également fait une percée dans la formation universitaire initiale, notamment dans certains champs professionnels qui s'appuient sur des connaissances théoriques importantes et des savoir-faire techniques ou cliniques qui doivent s'intégrer dans des contextes de pratique professionnelle.

Le Département de génie électrique et de génie informatique s'est particulièrement intéressé aux cas suivants dans la préparation de sa réforme en raison de leur pertinence et de leur accessibilité facilitant le transfert de l'expertise.

4.1 Le génie mécanique à la Faculté de génie de l'Université de Sherbrooke

Au début des années 90, le Département de génie mécanique de la Faculté de génie, a recensé des lacunes signalées de façon générale en Amérique du Nord dans la formation des ingénieurs en génie mécanique. Cet exercice a conduit à une réforme en profondeur du programme de baccalauréat en

[11] Diana H.J.M. Dolmans & al, "Seven Principles of Effective Case Design for a Problem-Based Curriculum", 0142-159x/97/030185-05, Carfax Publishing.

[12] Guy Le Boterf, "L'ingénierie des compétences", deuxième édition, Éditions d'organisation, 1999, 445 pages.

génie mécanique. Soigneusement préparé sur une période de quatre ans, le programme réformé a été mis en œuvre en septembre 1996. Il a produit ses premiers diplômés en décembre 2000.

Le nouveau programme de baccalauréat en génie mécanique [13] utilise l'approche par compétences et l'apprentissage par projets. Les projets, réalisés à partir de la première session d'études, servent de véhicule intégrateur aux connaissances scientifiques et techniques, aux savoir-faire professionnels et aux études complémentaires, tout en formant à la conception en ingénierie. Un projet majeur de synthèse en conception de 12 crédits intervient durant les trois dernières sessions. Les leçons magistrales sont conservées, mais leurs contenus sont répartis dans le temps de façon à favoriser l'intégration et à rehausser la perception de leur pertinence par les étudiantes et les étudiants. Le succès reconnu du programme de baccalauréat en génie mécanique indique le bien-fondé de l'approche par compétences et de l'apprentissage par projets.

4.2 Le génie à l'Université d'Aalborg au Danemark

Le cas de l'Université d'Aalborg est le plus ancien. En 1974, cet établissement a transformé complètement son programme d'une durée de cinq ans de formation d'ingénieurs sur la base de l'apprentissage par problèmes et par projets [14]. En première année on développe la capacité de travailler en équipe. Les deux années suivantes mettent l'accent sur la conception et les deux dernières sur la résolution de problèmes.

L'intérêt particulier de ce cas réside dans le fait qu'en raison de sa maturité il a pu être évalué en profondeur soit par les instances gouvernementales responsables, soit par des experts internationaux, soit encore par les usagers : employeurs, diplômés et étudiants.

Selon l'une ou l'autre de ces évaluations le programme a été jugé le plus efficace parmi les neuf établissements danois qui dispensent une formation d'ingénieurs. Il s'ajuste facilement aux développements de la technologie et à l'évolution des besoins de la société et de l'économie. Les diplômés s'adaptent facilement à leur milieu de travail et leurs forces particulières résident dans la solution de problèmes, la communication et les connaissances techniques en général. En revanche, ils ont un bagage de connaissances théoriques plus faible que les diplômés des programmes traditionnels.

4.3 La médecine à l'Université de Sherbrooke

À l'ordre universitaire, ce sont les écoles de médecine qui utilisent le plus l'approche par compétences et l'apprentissage par problèmes dans la formation médicale prédoctorale. À cet égard,

[13] http://www.gme.usherb.ca/programmes_offerts.html

la Faculté de médecine de l'Université de Sherbrooke, s'inspirant notamment du modèle de l'Université McMaster, a fait figure de pionnière au Québec. Elle est maintenant largement reconnue pour cette caractéristique. Instauré depuis plusieurs années, ce mode de formation des médecins a pu être validé par la réussite remarquable de ses diplômés lors des examens canadiens et américains administrés par la profession. Le succès dans sa réforme au niveau prédoctoral amène maintenant la Faculté à réaménager ses programmes de formation clinique postdoctoraux.

Le modèle de la Faculté de médecine a largement inspiré celui du Département de génie électrique et de génie informatique. Le Département y a cependant ajouté la formation à la pratique procédurale et à la pratique en laboratoire, ainsi que la dimension de l'apprentissage par projets correspondant davantage aux besoins de la formation des ingénieurs.

La proximité de la Faculté de médecine, la collaboration apportée par les principaux acteurs de la réforme en médecine et le recours aux mêmes experts en éducation ont été des atouts cruciaux dans la réussite de l'entreprise de réforme en Génie électrique et en Génie informatique.

4.4 D'autres sources

Les exemples cités plus haut ne sont pas les seuls à avoir été examinés par le Département de génie électrique et de génie informatique. Celui-ci, dans sa démarche, a fait un large recensement des écrits et des expériences dans les domaines de l'approche par compétences et de l'apprentissage par problèmes et par projets. Pour en citer quelques-uns, mentionnons le cas du Génie chimique à McMaster et les travaux du professeur Woods [15], la réforme du programme de candidature d'ingénieur civil à l'Université catholique de Louvain [16] et l'expertise développée à l'Université du Delaware [17].

5 Les appuis à la réforme

5.1 L'engagement du corps professoral du Département

Une réforme de l'ampleur de celle que réalise le Département a exigé l'engagement entier, soutenu et persévérant des professeurs, non seulement dans les années d'élaboration des programmes, mais aussi durant les années de mise en œuvre, session d'études après session d'études. Pour les

[14] <http://www.auc.dk/fak-tekn/aalborg/engelsk/summary.html>

[15] <http://chemeng.mcmaster.ca/mps/>

[16] <http://www.fsa.ucl.ac.be>

[17] <http://www.udel.edu/pbl/> (Plusieurs documents accessibles à partir de l'outil de recherche de ce site)

professeurs, passer du paradigme de l'enseignement à celui de l'apprentissage constitue une brisure entre d'une part, leur propre formation, leur expérience antérieure d'enseignement et d'autre part, le nouveau rôle qu'ils doivent assumer auprès des étudiantes et étudiants.

Les programmes ne sont plus une somme d'activités pédagogiques plus ou moins indépendantes, mais un ensemble intégré de démarches d'apprentissage dont les professeurs sont collectivement responsables; ceux-ci doivent donc travailler en équipes et faire les consensus nécessaires pour assurer la qualité et la cohérence des programmes.

Plus qu'un simple appui à la réforme, l'engagement des professeurs est la clé de voûte de la réussite de l'entreprise. Les professeurs ont démontré cet engagement depuis le lancement des programmes à l'automne 2001.

5.2 L'adhésion des étudiantes et étudiants

La satisfaction des étudiantes et des étudiants à l'approche par problèmes et par projets constitue également plus qu'un appui à la mise en oeuvre des programmes réformés; elle constitue une condition sine qua non de succès.

Deux sessions d'études ont été complétées à ce jour. Or les séances de rétroaction des représentants étudiants (les intendants), tenues systématiquement à chacune des unités d'APP de deux semaines, en vue de faire le bilan des aspects positifs et négatifs du déroulement de la période, n'ont jamais donné lieu à une remise en cause de l'approche, bien au contraire. Il en va de même des séances de rétroaction de fin de session, ouvertes à toutes les étudiantes et tous les étudiants, et auxquelles ceux-ci participent activement et en grand nombre.

Plus significatifs encore sont les commentaires des étudiantes et des étudiants formulés dans une composition faisant le bilan de leur première session d'études, un exercice à la fois de communication et de réflexion métacognitive sur leur apprentissage. Comme il s'agissait d'un travail obligatoire et évalué, ce n'est pas tant les termes de leur adhésion générale au modèle de l'apprentissage par problèmes et par projets qu'il faut retenir, bien que cette adhésion soit clairement exprimée à très peu d'exceptions près. C'est davantage la récurrence de certains commentaires autant positifs que négatifs sur leur expérience qui deviennent significatifs. Au chapitre des commentaires favorables reviennent régulièrement les suivants, en comparaison souvent avec les expériences antérieures d'étude : meilleure assimilation de la matière, meilleure discipline personnelle de travail, meilleure gestion du temps et du stress, plus grande autonomie, plus grande motivation, capacité de travailler en équipe, confirmation du choix de carrière par la démarche qui rejoint celle de l'ingénieur, sentiment d'accomplissement notamment par le projet de session, etc. Les commentaires défavorables de

quelques-uns ont trait surtout à la difficulté ou même l'incapacité, dans un cas ou deux, à faire la transition entre ses habitudes d'études antérieures et les exigences de l'APP.

5.3 Des appuis d'experts

On n'improvise pas une réforme aussi fondamentale que celle que réalise le Département de génie électrique et de génie informatique. On doit l'appuyer sur des bases théoriques et méthodologiques solides. À cet effet, le Département a pu bénéficier du soutien constant de spécialistes en apprentissage reconnus de la Faculté d'éducation. Le Service de soutien à l'enseignement de l'Université apporte l'aide d'une spécialiste en évaluation. Un conseiller pédagogique expert accompagne le Département dans la mise en œuvre de la réforme. Enfin, il faut mentionner la synergie qui s'est développée entre la Faculté de médecine et le Département.

5.4 Des appuis institutionnels

5.4.1 Un financement dans le cadre des « Grandes Innovations pédagogiques »

Depuis 1998, la Direction de l'Université de Sherbrooke soutient annuellement (exception faite de l'année 2000-2001) des projets d'innovation pédagogique d'une grande envergure dans le cadre du concours « Les Grandes Innovations pédagogiques ». Ces projets soumis par les facultés font l'objet d'une analyse par un comité ad hoc du vice-recteur à l'enseignement appuyé par des expertises de spécialistes externes à l'Université. Dès la première ronde, le projet de réforme des programmes de baccalauréat en génie électrique et en génie informatique a obtenu une subvention importante, reconnaissant le caractère innovateur de son approche pédagogique.

Un second projet soumis l'année suivante sous le titre de « L'Institut des dimensions humaines en ingénierie » a également été retenu. Bien que de portée plus large que le précédent, ce projet apporte une contribution certaine à la réforme au Département de génie électrique et de génie informatique.

5.4.2 Le soutien de la direction de la Faculté et du Département

L'évaluation institutionnelle des programmes réalisée en 1997 a conduit la Faculté de génie à soutenir les réformes entreprises par l'ensemble des départements dans leurs divers programmes. Ainsi la Faculté a donné un appui sans équivoque à toutes les étapes du processus institutionnel qu'exigeait la réforme ambitieuse entreprise par le Département de génie électrique et de génie informatique.

La Faculté considère la réforme des programmes de génie électrique et de génie informatique comme l'un de ses axes de développement stratégique. L'adéquation des objectifs de la réforme avec les orientations stratégiques de la Faculté, l'importance des clientèles concernées, le développement d'une approche pédagogique très prometteuse sont pleinement reconnus et font que la direction de la Faculté donne un appui complet au Département dans la réforme de ses programmes de baccalauréat.

Cet appui se concrétise par des mesures facilitant l'embauche de nouveaux professeurs, l'allocation de ressources spéciales, le soutien au Département dans ses démarches auprès de la direction de l'Université et la valorisation de la contribution des professeurs.

5.4.3 L'approbation des programmes réformés

Les programmes réformés ont été préalablement approuvés sans réserve à tous les paliers consultatifs et décisionnels de l'Université. Ils l'ont été d'abord au niveau de la Faculté de génie par le Département de génie électrique et de génie informatique, puis par le Comité facultaire des programmes de baccalauréat (CPB) et enfin, à la recommandation de ce dernier, par le Conseil de la Faculté réunissant sous la présidence du doyen, les directeurs de tous les départements et des représentants des professeurs et des étudiants. Par la suite, après un examen par le vice-recteur à l'enseignement, conseillé par le Service de soutien à l'enseignement afin de vérifier si ces programmes répondaient bien aux exigences de l'Université, ils ont été soumis au Conseil universitaire, organisme consultatif du Conseil d'administration sur les questions relatives à l'enseignement et à la recherche. Ce conseil regroupe sous la présidence du recteur des dirigeants de l'université, tous les doyens des facultés, des représentants des enseignants et des étudiants et des membres de l'extérieur. La sanction finale du Conseil d'administration approuvant les programmes décidait, par la même occasion, de leur mise en œuvre au trimestre de l'automne 2001.

L'ensemble de ces étapes d'examen et d'approbation qui se sont échelonnées sur plusieurs mois et le nombre et la diversité des intervenants constituent en soi une garantie de la qualité des programmes et du sérieux de l'entreprise.

6 La description des programmes

6.1 L'agencement des sessions d'études et des stages coopératifs

Les programmes coopératifs de 120 crédits comportent 8 sessions d'études entre lesquelles s'insèrent 4 stages de 4 mois à partir de la troisième session. Cette séquence est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau 1 Cheminement des études avec l'alternance des stages

	1re année			2e année			3e année			4e année			5e
	AUT	HIV	ÉTÉ	AUT	HIV	ÉTÉ	AUT	HIV	ÉTÉ	AUT	HIV	ÉTÉ	AUT
Groupe A	S1	S2	--	S3	T1	S4	T2	S5	T3	S6	T4	S7	S8
Groupe B	S1	S2	--	S3	S4	T1	S5	T2	S6	T3	S7	T4	S8

Une cohorte d'un programme de génie informatique ou de génie électrique est séparée en deux groupes à partir de la quatrième session. Ainsi pour la 47^{ième} promotion (groupe d'entrée 2001), le groupe A commence son alternance de stages et de sessions d'études à partir de la session d'hiver 2003. Les deux groupes se rejoignent en session S7 pour terminer le programme en synchronisme. Cet agencement permettra de regrouper les étudiantes et étudiants dans leur dernière année d'études afin qu'ils puissent travailler ensemble sur des projets majeurs de conception. Il permet aussi d'offrir une seule fois les activités pédagogiques de spécialisation et d'insérer un stage entre les sessions 7 et 8, idéalement dans des entreprises ou des laboratoires de recherche qui proposeraient des projets de conception.

6.2 Les thèmes des sessions d'études

Chaque session d'études est caractérisée par un thème différent qui définit le domaine d'application des compétences développées et fournit le cadre pratique des situations d'apprentissage. Les six premières sessions construisent les compétences disciplinaires de base; lors des dernières sessions, les compétences de conception seront complétées grâce à des projets de plus grande envergure. Les étudiantes et étudiants auront aussi la possibilité de choisir des modules de spécialisation. La structure générale est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 2 Thèmes des sessions et modules de spécialisation

	Génie électrique	Génie informatique
S-1	Introduction au génie électrique et au génie informatique.	
S-2	Signaux et circuits	Systèmes informatiques
S-3	Systèmes électriques et électroniques	Architecture des systèmes
S-4	Asservissements	Ingénierie des systèmes
S-5	Systèmes et circuits numériques	Systèmes embarqués
S-6	Systèmes de télécommunications	Systèmes téléinformatiques
S-7, S-8	<i>Modules de spécialisation</i> Module de microélectronique Module d'automatisation et robotique Module de télécommunications Module d'innovation technologique	<i>Modules de spécialisation</i> Module d'intelligence artificielle et robotique Module d'intégration matériel-logiciel Module de télécommunications Module d'innovation technologique
	Activité pédagogique au choix	

Le Département projette d'élaborer une concentration de génie logiciel qui s'ajoutera aux modules de spécialisation.

6.3 Les activités pédagogiques

6.3.1 Les compétences à construire

Les compétences terminales sont décrites en quatre blocs fondamentaux résumés ci-après :

- Compétences scientifiques et techniques propres au **génie informatique**
 - Résoudre des problèmes complexes propres au génie informatique dans les domaines de l'architecture logicielle et matérielle des systèmes informatiques, de l'ingénierie des logiciels, de l'électronique des systèmes informatiques, des télécommunications et des réseaux ;
 - Appliquer des méthodologies et des technologies contemporaines efficaces pour la mise en œuvre de solutions aux problèmes ;

- Résoudre des problèmes complexes plus spécialisés dans un ou plusieurs domaines de la conception du matériel et du logiciel, de l'informatique industrielle et de la robotique, de l'informatique distribuée et des télécommunications.
- Compétences scientifiques et techniques propres au génie électrique
 - Résoudre des problèmes complexes propres au génie électrique dans les domaines des signaux et systèmes, de l'électronique analogique et numérique, de l'utilisation de l'énergie électrique, de l'automatisation, des télécommunications.
 - Appliquer des méthodologies et des technologies contemporaines efficaces pour la mise en œuvre de solutions aux problèmes.
 - Résoudre des problèmes complexes plus spécialisés dans un ou plusieurs domaines de la microélectronique, des automatismes et de la robotique, des télécommunications et du traitement des signaux.
- Compétences en conception
 - Planifier et gérer des projets en ingénierie ;
 - Concevoir, développer et réaliser des produits et services en mettant en pratique une méthode globale adéquate.
- Compétences interpersonnelles
 - Travailler efficacement en équipe disciplinaire et multidisciplinaire dans des contextes variés ;
 - Communiquer, en français ou en anglais, oralement et par écrit en utilisant le support approprié au moment requis.
- Compétences intrapersonnelles
 - Exercer des capacités d'analyse, d'abstraction, de synthèse et de créativité ;
 - Exercer la profession d'ingénieur avec professionnalisme ;
 - S'autoévaluer, c'est-à-dire, prendre du recul, évaluer l'état de la situation, évaluer ses propres limites, son besoin de formation continue et recourir à de l'expertise externe lorsque requis.

6.3.2 *La matière des activités pédagogiques*

Les descriptions présentées à l'annuaire [18] représentent la structure des programmes sous l'aspect conventionnel d'activités pédagogiques qui décrivent, session par session, les éléments de

[18] <http://www.usherbrooke.ca/Programmes/bacc/gelectri.html>

<http://www.usherbrooke.ca/Programmes/bacc/ginform.html>

connaissances et de compétences dans le format de l'annuaire universitaire. Sous la rubrique des objectifs du programme on retrouve cependant la synthèse des énoncés de compétences terminales et, pour chaque session, la description des activités pédagogiques indique les éléments de compétences visés et les contenus. Il est important de noter que cet annuaire ne décrit pas les unités d'apprentissages ni leur organisation, mais seulement les éléments de compétences et les contenus dans une forme adaptée à la gestion académique courante des programmes.

6.4 Les activités d'apprentissage

6.4.1 Leur nature et leur définition

La structure pédagogique du programme repose sur des unités d'apprentissage par problèmes et sur le projet de session. Les unités et le projet contiennent diverses activités d'apprentissage qui leur sont propres.

- Les unités d'apprentissage par problèmes

L'apprentissage par problèmes est le principal mode d'acquisition des connaissances. Sur la base des connaissances antérieures, chaque problématique est soigneusement formulée de façon à ce que les étudiantes et étudiants découvrent leurs objectifs d'apprentissage et les habiletés à développer pour gérer la situation. Cette contextualisation de l'apprentissage permet d'organiser les connaissances et de les mémoriser efficacement en vue de leur réutilisation future dans un autre contexte. L'apprentissage par problèmes est une approche qui permet de rendre opérationnel les connaissances qui alors ne resteront pas inertes.

L'apprentissage par problèmes se déroule selon une démarche rigoureuse (voir en annexe). Cette démarche est constituée de 4 phases essentielles réparties sur plusieurs activités d'apprentissage. Cette démarche fait appel à la méthode des diagrammes de concepts.

Tableau 3 Les phases de l'apprentissage par problèmes

Phases de l'APP	Activités d'apprentissage
Phase 1 : Formulation du problème et état des connaissances	Premier tutorat d'ouverture du problème
Phase 2 : Acquisition de nouvelles connaissances déclaratives et procédurales	Étude personnelle planifiée
	Conférences
	Activités d'ateliers
Phase 3 : Validation de la solution et validation des connaissances	Formation à la pratique procédurale
	Formation à la pratique en laboratoire
	Validation de la solution
Phase 4 : Bilan personnel, évaluation et rétroaction	Tutorat de validation des connaissances et de bilan des apprentissages
	Diagramme de concepts
Phase 4 : Bilan personnel, évaluation et rétroaction	Une activité d'évaluation formative
	Une activité d'évaluation sommative

Les activités de tutorat sont basées sur des groupes collaboratifs comprenant un maximum de 12 étudiantes et étudiants; les activités de formation pratique procédurale et en laboratoire sont basées sur des groupes dont la dimension normale est de 48 étudiants.

Des activités systématiques de coordination et de rétroaction avec des représentants des groupes de tutorats, nommés les intendants, sont à inscrire à l'horaire de chaque unité.

Une unité d'apprentissage est gérée par une équipe de formateurs constituée de professeurs, de chargés de cours et d'auxiliaires d'enseignement. Cette équipe partage la tâche de prestation des activités d'une unité; un professeur en est le responsable. Ce responsable d'unité voit à ce que les documents et les autres ressources soient prêts, coordonne les tâches des auxiliaires, supervise les évaluations.

- Les diagrammes de concepts

Le diagramme de concepts [19, 20] est un outil essentiel en enseignement collaboratif pour aider les étudiantes et étudiants à organiser leurs connaissances et à les représenter de manière synthétique. Les diagrammes de concept représentent visuellement les principaux concepts d'un sujet et les relations entre ces concepts. Il s'agit d'une activité créative dont le résultat est personnel, c'est à dire que l'on ne communiquera pas de schémas d'expert dans la formation. Les diagrammes de concept sont utilisés systématiquement dans le programme de doctorat en médecine et ils sont repris dans les programmes réformés.

- Le projet de session

L'activité d'apprentissage de projet a lieu systématiquement à chaque session du programme. L'activité de projet permet d'une part, l'intégration des éléments de compétences développées dans les unités d'APP de la session courante et des sessions antérieures et d'autre part, le développement des compétences de conception. Les compétences de conception sont développées progressivement au cours des sessions du programme. Les compétences de conception intègrent certaines connaissances déclaratives sur le processus de conception et comprennent des connaissances procédurales, du savoir-faire et de l'expérience. Ces compétences sont construites au cours du cheminement du programme à des niveaux maîtrise croissants.

Un professeur a la responsabilité du projet, il coordonne les activités de l'équipe de formateurs du projet, gère le calendrier du projet et des séminaires, assure la disponibilité des ressources du projet avec l'aide du coordonnateur de session.

6.4.2 *Les activités d'apprentissage par problèmes*

Les activités composant une unité d'apprentissage par problèmes s'intègrent dans une période de deux semaines dans le calendrier de la session. Une unité d'APP s'ouvre au début de la période et se ferme sur l'évaluation sommative individuelle avant d'aborder la suivante. Les activités de projet se répartissent sur la session complète et des périodes de travail propres au projet s'intercalent dans les unités d'APP. Les différents types d'activités d'apprentissage sont les suivantes :

[19] Joseph D. Novak, "The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct Them" , Cornell University

<http://cmap.coginst.uwf.edu/info/>

[20] Brian R Gaines and Mildred L G Shaw, "Collaboration through Concept Maps", University of Calgary

<http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/articles/CSCL95CM/>

- Pour les unités d'apprentissage par problèmes
 - le tutorat d'ouverture ;
 - les activités de formation à la pratique procédurale ;
 - les activités de formation à la pratique en laboratoire ;
 - les ateliers ;
 - les séminaires et conférences ;
 - les rencontres de collaboration et d'aide à la solution de la problématique ;
 - les activités de validation pratique ;
 - le second tutorat de validation des connaissances ;
 - les diagrammes de concepts ;
 - les périodes de consultation ;
 - l'évaluation formative ;
 - l'évaluation sommative.

- Pour les unités d'apprentissage par projets
 - des ateliers portant sur des savoir-faire particuliers;
 - des séminaires et des conférences ;
 - des sessions de travail collaboratif supervisé;
 - des périodes de travail d'équipe non supervisé ;
 - des sessions de revue de projet avec les formateurs;
 - des périodes de travail technique en laboratoire avec support technique;
 - des périodes d'évaluation.

6.4.3 *Leur déroulement selon un horaire bihebdomadaire*

L'horaire type d'une unité d'apprentissage par problème, réparti sur deux semaines, est synthétisé sur les tableaux suivants. Un horaire précis comprenant toute l'information des horaires, des locaux et des groupes est distribué avant chaque unité.

Tableau 4 Calendrier type d'une unité d'APP de deux semaines

- Première semaine

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
				<i>Réunion Intendants</i>
Tutorat Première rencontre	Étude planifiée	Formation à la pratique en laboratoire	Projet Travail technique avec support	Étude planifiée
	Consultation			
	<i>Réunion formateurs</i>	Séminaire		
Étude planifiée	Étude planifiée	Formation à la pratique procédurale	Étude planifiée	Collaboration à la solution de la problématique
				Étude

- Deuxième semaine

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Formation à la pratique procédurale	Validation pratique de la problématique		Projet Travail technique avec support	Étude planifiée
		Étude planifiée		
Consultation des évaluations	Séminaire pour tous <i>Réunion formateurs</i>			
		Tutorat Deuxième rencontre	Étude	Évaluation sommative
Étude planifiée	Étude planifiée	Étude personnelle	Consultation	
		Évaluation formative		

6.5 Le lien entre les activités pédagogiques et les activités d'apprentissage

Les activités pédagogiques présentées à l'annuaire décrivent les éléments de compétences et les contenus faisant l'objet des apprentissages de la session. Chaque unité d'APP contribue aux compétences de la session et développe les connaissances intégrées dans le projet. Le modèle conceptuel de ce lien est décrit par la figure 1.

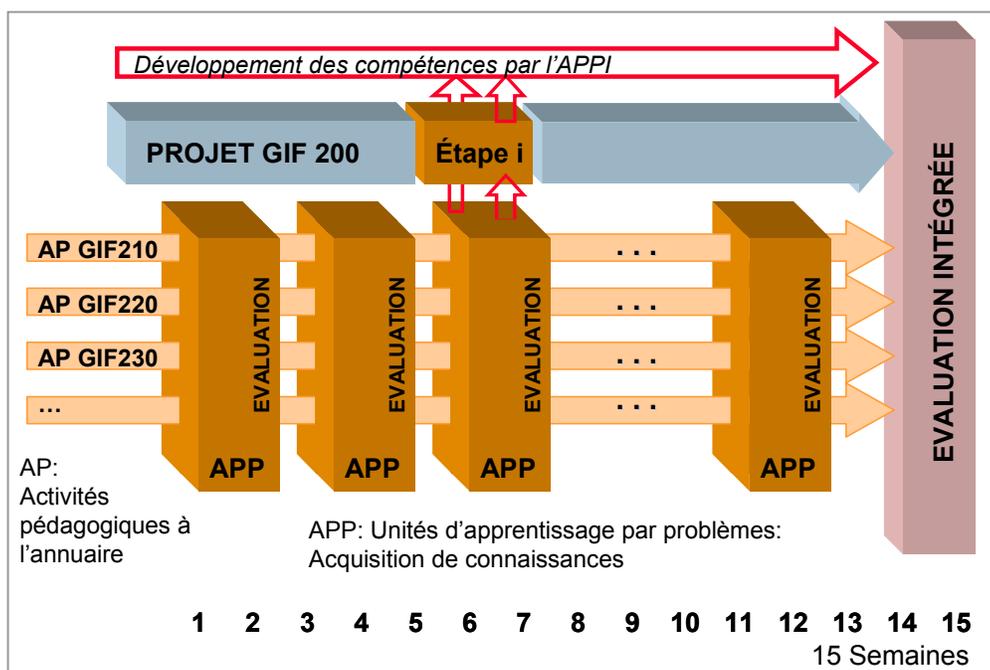


Figure 1 Concept de l'organisation d'une session d'enseignement

Dans la mise en œuvre concrète, la représentation des liens entre les éléments de compétences construits par les unités d'APP et les activités pédagogiques de la fiche signalétique sont représentés par une table de pondération des évaluations. Cette table donne pour chaque activité pédagogique de l'annuaire, la pondération des diverses activités d'évaluation hebdomadaires. Pour chaque activité pédagogique une autre table plus détaillée et de format similaire fournit les poids d'évaluation de chacun des éléments de compétences inclus dans l'activité pédagogique.

6.6 Les ressources professorales d'une session

Les ressources professorales assignées à la prestation d'une session sont organisées en équipe. Il y a une équipe de professeurs qui partage la responsabilité de préparation d'une session et qui entreprend ses travaux au moins deux sessions avant la première prestation des nouveaux programmes. Dans cette équipe, un professeur assume la coordination des travaux; il est normalement le professeur coordonnateur de la première prestation. Il arrive que des chargés de cours expérimentés se joignent à l'équipe à l'étape de la préparation.

Lors de la prestation d'une session, l'équipe professorale est élargie à d'autres professeurs, à des chargés de cours, ainsi qu'à des auxiliaires d'enseignement. Les professeurs et chargés de cours

œuvrant à la prestation d'une unité constituent l'équipe de formateurs de l'unité. Au moment de la prestation, la cohésion de cette équipe et l'homogénéisation de ses interventions sont essentielles. Une coordination rigoureuse est assurée par le professeur coordonnateur de session et cette tâche est reconnue comme une charge d'enseignement.

7 L'évaluation des apprentissages et des compétences

7.1 L'approche générale

Dans une approche par compétences, l'évaluation des apprentissages joue un rôle central car elle vérifie si chaque étudiante et étudiant maîtrise bien ce qu'il doit maîtriser, tant au niveau des contenus que des seuils de performance à atteindre pour chacune des compétences d'une session donnée. Les seuils de performance ont été déterminés au préalable par le corps professoral qui doit s'assurer de leur réalisme et du fait qu'ils soient élaborés de façon à être observables et mesurables. Par conséquent, l'évaluation est de type critérié, la performance de chaque personne étant comparée à un ensemble de critères précis.

La stratégie d'évaluation des apprentissages adoptée pour les deux programmes systématise deux formes d'évaluation. Ce sont : l'évaluation formative qui permet à l'étudiante et l'étudiant de faire un bilan de ses forces et de ses faiblesses et l'évaluation sommative qui sanctionne les apprentissages à la fin de chaque unité d'apprentissage de deux semaines. Cette dernière évaluation est basée sur plusieurs productions et un examen. L'évaluation du travail individuel prime sur l'évaluation du travail d'équipe.

Afin de donner à l'étudiante et l'étudiant de multiples occasions de vérifier puis de démontrer son niveau d'atteinte des performances attendues, trois moyens sont utilisés : les formes d'évaluation sont diversifiées, les moyens utilisés sont variés, leur fréquence élevée et enfin, chaque étudiante et étudiant a accès à une rétroaction de la part de différentes personnes ressources (professeurs, spécialistes techniques, moniteurs, auxiliaires, etc.). Ces mesures visent à suivre de près la progression de l'étudiant et à contrôler son niveau de maîtrise des contenus et des compétences.

7.2 Les évaluations formatives périodiques

Durant chaque unité d'APP, l'évaluation formative prend diverses formes : examens, laboratoires procéduraux, exercices, etc.; l'objectif est de permettre à l'étudiante et l'étudiant de valider ses connaissances et de corriger ses faiblesses ou ses erreurs. Cette démarche de validation se réalise

auprès des professeurs ou des pairs. De plus, les laboratoires de la première semaine servent à des fins de bilan provisoire de certains apprentissages.

L'horaire prévoit aussi un moment prédéterminé, consacré à un examen à caractère formatif en présentiel ou en ligne, afin de permettre à l'étudiante et l'étudiant de se situer par rapport aux objectifs visés. L'examen est suivi d'une correction à l'aide du solutionnaire. Puis, selon les cas, des rencontres individuelles ou collectives sont offertes. Ces rencontres permettent à l'étudiante ou l'étudiant de remédier à ses faiblesses avant l'examen sommatif de fin d'unité d'APP.

7.3 Les évaluations sommatives périodiques individuelles

Les performances des étudiantes et des étudiants sont évaluées à la fin de chaque période de deux semaines, ce qui correspond à la durée d'une unité d'APP. Le moyen d'évaluation privilégié est l'examen. Il sanctionne les contenus et les compétences maîtrisés à la fin de chaque unité.

Les résultats de l'examen sont répartis en fonction des différents sigles de ses activités pédagogiques d'appartenance. Cette répartition varie de 2% à 25%, dépendamment de l'importance du contenu, de son niveau de difficulté et des compétences visées par l'unité d'APP. Le contenu de chaque examen individuel d'une unité d'APP est donc généralement fractionné et comptabilisé dans plus d'une activité pédagogique.

7.4 L'évaluation des projets de session

Les productions résultant des différentes étapes du projet sont des évaluations d'équipe. Ces diverses productions sont :

- les rapports d'étape du projet ;
- les livrables tels que circuits, logiciels ;
- les revues de projet ;
- les présentations orales techniques ;
- le rapport de projet ;
- le bilan d'équipe.

Le professeur responsable du projet, et ses collègues impliqués à titre de membre d'un jury ou de superviseur, contribuent à l'évaluation des différentes productions du projet. Le poids relatif de l'autoévaluation et de l'évaluation par les pairs est typiquement de 15% de l'évaluation individuelle dans le cas des projets de session.

Le bilan individuel du projet de la première session d'études (S1) est particulier: l'étudiant signe une déclaration sur l'honneur puis dispose de huit (8) heures pour produire un bilan réflexif des

apprentissages réalisés. Soulignons que cette pratique est utilisée par certaines universités américaines telles Stanford, Berkeley ou Minnesota University, pour cette forme d'examens basés sur la réflexion, la métacognition ou l'évaluation, pour en citer quelques exemples.

7.5 Les évaluations sommatives individuelles de fin de session

Les deux dernières semaines de la session sont consacrées aux examens individuels de synthèse. Ces examens couvrent tous les contenus et toutes les compétences développées en cours de session. Leur forme est variée : examen de laboratoire en temps réel, examen de type papier – crayon, etc. Les examens de synthèse comptent pour 23% à 35% de la note pour une activité pédagogique.

Enfin, si un étudiant ne maîtrise pas toutes les compétences d'une activité pédagogique, il se voit attribuer la note «Incomplet », cela, même s'il obtient la note de passage pour l'activité; il dispose d'une session pour rectifier la situation. La note «Échec» est attribuée si l'étudiant ne maîtrise pas l'ensemble des compétences visées dans une activité pédagogique au niveau de la note de passage de 50%.

8 Conclusion

La réforme en profondeur des programmes de baccalauréat en génie électrique et en génie informatique, amorcée en 1998 et mise graduellement en application à partir de la session d'automne 2001, constitue une entreprise innovatrice et de longue haleine. Elle repose sur une approche par compétences et une stratégie d'apprentissage par problèmes et par projets, lesquelles s'appuient sur des fondements professionnels largement reconnus et des fondements théoriques supportés par les progrès récents de la recherche en psychologie cognitive.

Cette réforme s'inspire notamment de celle qui a été réalisée avec succès par la Faculté de médecine de l'Université de Sherbrooke. Pour la formation des ingénieurs, elle innove à l'échelle canadienne en ce sens que les deux programmes en cause sont les deux premiers à être en totalité convertis à l'apprentissage par problèmes et par projets.

Les professeurs du Département s'engagent avec conviction dans la réforme même si elle exige d'eux des changements majeurs dans leurs pratiques d'enseignement. De leur côté les étudiantes et les étudiants accueillis dans les programmes réformés en septembre 2001 adhèrent avec enthousiasme à cette approche pédagogique dont ils reconnaissent l'efficacité et qu'ils estiment correspondre à leur perception du travail de l'ingénieur.
