

Projet de formation

pour le baccalauréat en ingénierie à
l'École Polytechnique de Montréal



*Projet éducatif
de la formation
en mathématiques*

Unité de mathématiques de l'École Polytechnique

Présenté au Comité d'implantation le 1^{er} novembre 2004

1	Identification de l'équipe pédagogique.....	3
2	Vision et objectif.....	3
2.1	Responsabilité de l'enseignement des mathématiques	3
2.2	Analyse de la situation actuelle.....	4
2.3	Valeurs poursuivies.....	6
3	Tableau des cours de mathématiques.....	8
3.1	Contextualisation des cours	8
3.2	Cours offerts au baccalauréat.....	10
4	organisation pédagogique	16
4.1	Intégration des matières	16
4.2	Réduction de la charge de travail étudiante et du contenu des cours.....	16
4.3	Méthodes pédagogiques.....	17
4.3.1	Méthodes d'enseignement	18
4.3.2	Encadrement	19
4.3.3	Évaluation des apprentissages.....	20

1 IDENTIFICATION DE L'ÉQUIPE PÉDAGOGIQUE

- Cours de mathématiques du 1^{er} cycle
- Département de mathématiques et de génie industriel
- Responsable de l'équipe pédagogique :
Carole Burney-Vincent
- Autres professeurs et rôles :

l'ensemble des professeurs de l'équipe reflète bien la diversité des compétences dans différentes disciplines des mathématiques. De plus, chaque professeur est un membre de liaison avec une ou des équipes pédagogiques :

Luc Adjengue (civil, géologie, mines)
 Charles Audet (chimie)
 Bernard Clément (industriel)
 Guy Desaulniers (industriel)
 Steven Dufour (chimie et matériaux)
 Clément Frappier (électrique et physique)
 Richard Labib (électrique, informatique et logiciel)
 Marc Laforest (mécanique et matériaux)
 Antoine Saucier (civil, géologie, mines et physique)

- Autres membres :
- Guy Jomphe, associé de recherche (mécanique et logiciel)
 Mona Chaaban, étudiante, vice-présidente à l'éducation de l'AEP (2004-2005)
 Vincent Bouffard-Archambault, étudiant

2 VISION ET OBJECTIF

2.1 Responsabilité de l'enseignement des mathématiques

L'unité de mathématiques du département de mathématiques et de génie industriel a comme mission *d'assurer l'enseignement des mathématiques de base dans le cadre de tous les programmes de génie* (DG-308). Cette mission transversale donnée à des spécialistes des mathématiques permet non seulement d'assurer une pérennité de l'expertise en mathématiques à l'École, globalement bénéfique pour cette dernière et qui dépasse l'enseignement au 1^{er} cycle, mais aussi de garantir une certaine homogénéité et rigueur des enseignements des mathématiques de base. On entend par mathématiques de base : le calcul différentiel et intégral, l'algèbre, les équations différentielles, la statistique, les probabilités et l'analyse numérique.

La responsabilité d'un cours de mathématiques de base relève de l'unité de mathématique du département de mathématiques et de génie industriel. Compte tenu des ressources financières disponibles, cette responsabilité implique dans le contexte du PDF:

1. l'établissement d'un projet éducatif de l'enseignement des mathématiques à l'École;
2. l'obligation d'identifier conjointement les besoins de chaque programme en ce qui a trait aux mathématiques de façon à arrimer notre projet éducatif avec ceux des programmes de génie;
3. un lien continu entre les équipes pédagogiques des programmes et celle des mathématiques;
4. que l'unité mathématique du département de mathématiques et de génie industriel est redevable de l'analyse des cours de mathématiques, de leur prestation et de la qualité de leur enseignement.

2.2 Analyse de la situation actuelle

- Liste des cours actuellement dispensés au premier cycle :

Tronc commun (tous les programmes)

- ING1005 – Calcul I (2 cr.)
- ING1006 – Algèbre linéaire (2 cr.)
- ING1007 – Calcul II (2 cr.)
- ING1003 – Équations différentielles (3 cr.)

Cours communs (tous les programmes)

- MTH2210 – Calcul scientifique pour ingénieurs (3 cr.)
- MTH2301 – Méthodes statistiques en ingénierie (3 cr.)
- MTH2305 – Probabilité pour ingénieurs (3 cr.)

Cours de spécialité

- MTH2110 – Méthodes mathématiques de la physique I (2 cr.)
- MTH2111 – Méthodes mathématiques de la physique II (2 cr.)
- MTH2120 – Analyse appliquée (3 cr.)
- MTH2401 – Recherche opérationnelle I (3 cr.)
- MTH4405 * Recherche opérationnelle II (3 cr.)

* cours optionnel (Génie industriel)

- Le contenu des cours actuels de tronc commun et des enseignements communs a été établi en réponse aux demandes et aux besoins exprimés par les programmes. Ces contenus sont le plus souvent «classiques» et ne présentent pas de surprises. Il a fallu parfois (compte tenu du nombre de crédits alloué) faire des compromis sur certains contenus. Malgré tout, les compromis n'ont pas été suffisamment nombreux de sorte que certains cours sont très lourds pour l'étudiant (et l'enseignant) (par exemple, Équations différentielles).
- Les matières enseignées sont sensiblement les mêmes dans la majorité des universités du Québec qui offrent un baccalauréat en ingénierie. Il y a souvent, ailleurs, plus de crédits alloués aux cours de mathématiques et ces crédits supplémentaires servent à revoir certaines notions antérieures et donc à mieux arrimer le cégep à la première

année. (Ceci peut expliquer en partie un meilleur taux de rétention des étudiants de première année dans ces universités.)

- Tous ces cours ont été pensés et construits par des professeurs spécialistes de la matière concernée, professeurs de l'École Polytechnique et ce pour des étudiants en génie.
- Les professeurs de mathématiques de l'École Polytechnique considèrent les étudiants de l'École inscrits au baccalauréat comme « leurs étudiants » : il n'y a pas de cours de seconde zone.
- Les cours de mathématiques du tronc commun et des enseignements communs sont dispensés à plusieurs sections par année et sont coordonnés. Cette situation comporte des inconvénients et des avantages. Les inconvénients sont surtout liés à l'organisation : la charge de travail assumée par les coordonnateurs est lourde. Les avantages sont de multiples natures : la coordination d'un cours assure une équité certaine aux étudiants qui le suivent, ces cours sont offerts à toutes les sessions donnant ainsi une flexibilité aux cheminements dans les programmes.
- Les cours de mathématiques sont dispensés à des sections d'environ 70 étudiants. Cette situation est vécue de façon différente selon les personnes. Certains professeurs sont à l'aise avec des sections plus nombreuses, d'autres préféreraient des sections ayant moins d'étudiants. Il appert aussi que plus le nombre d'étudiants est élevé dans une classe, plus l'étudiant s'y sent anonyme. Cet anonymat facilite l'absentéisme.
- La consultation étudiante sur la charge de travail des étudiants au premier cycle de l'École Polytechnique (novembre 2003) pointe de façon non équivoque certains cours de mathématiques quant à la lourdeur de la charge de travail. Deux cours ressortent : Équations différentielles (ING1003) et Calcul scientifique pour ingénieurs (MTH2210). Pour ces deux cours, la quantité de matière est en cause mais pas uniquement. Plusieurs aspects de ces cours sont questionnés : la place de ceux-ci dans les cheminements ainsi que l'utilisation de logiciels mathématiques.
- Plusieurs logiciels mathématiques sont utilisés à l'intérieur de nos cours. Certains de ceux-ci le sont de façon naturelle : il est impensable de faire des statistiques appliquées sans un logiciel approprié comme Statistica. De même, l'analyse numérique ne saurait se passer de tels outils. Néanmoins, l'unité mathématique se questionne : la responsabilité d'introduire de tels logiciels doit-elle lui incomber? L'apprentissage des logiciels Maple et Matlab dans certains cours de mathématiques ajoutent à la difficulté des cours et à la charge de travail de l'étudiant. On peut ajouter à ce questionnement celui de certains programmes concernant le choix de ces logiciels plutôt que d'autres.
- Les cours de spécialité ont un contenu sur mesure correspondant aux besoins des programmes qui les ont commandés. Le taux de satisfaction des départements par rapport à ces cours est élevé.

2.3 Valeurs poursuivies

L'ingénieur de conception doit faire l'intégration des mathématiques, des sciences fondamentales, des sciences du génie et des études complémentaires de façon à développer des éléments, des systèmes et des procédés qui répondent à des besoins spécifiques (BCAPI 2003). La place des mathématiques dans la formation des ingénieurs est depuis toujours reconnue. Elle l'est d'autant plus dans le contexte de formation d'un ingénieur de conception où la modélisation mathématique est souvent la base de toute conception innovatrice.

Toujours dans un contexte de conception et d'innovation, le discours que tient le CRSNG à propos des mathématiques est on ne peut plus éloquent : « ... *le rôle et l'incidence des mathématiques dans le monde scientifique, technologique et biomédical ont pris des proportions étonnantes depuis dix ans. Les instruments de conceptualisation et de calcul sont devenus essentiels au progrès dans une foule de domaines des sciences de la vie, des technologies de l'information et des communications, des nanosciences et des secteurs financier et industriel. C'est une réalité nouvelle pour les mathématiques. Leur caractère interdisciplinaire et leur rôle crucial dans l'avancement de la recherche interdisciplinaire ont été soulignés à maintes reprises. Les mathématiques sont un puissant instrument d'investigation et un langage commun de la science et du génie.*

Les mathématiques constituent une science riche et active possédant une dynamique interne et des sources de problèmes fondamentaux et de conjectures qui leur sont propres. Elles sont de plus un cadre conceptuel et une source d'outils puissants pour les sciences et la technologie. On a montré à maintes et maintes occasions que, à terme, l'importance et l'intérêt des mathématiques pour l'entreprise scientifique tout entière reposent sur la solidité et à la vigueur de la recherche fondamentale qui s'y fait... »

Il nous apparaît clairement que le projet pédagogique de l'enseignement des mathématiques devrait être articulé autour du triplet :

Connaissance-Formation-Pertinence

Un extrait du rapport du comité-École sur l'enseignement des mathématiques à l'École Polytechnique déposé en 2000 indique d'ailleurs:

...Les cours de mathématiques au premier cycle doivent viser beaucoup plus que la simple transmission d'éléments de connaissance. On doit viser une FORMATION. L'ingénieur est de moins en moins appelé à effectuer des calculs et de plus en plus impliqué dans la conception, la modélisation, l'analyse, la validation, ... L'abstraction et la formalisation logique qu'apporte une formation en mathématiques donne, au même titre que la théorie dans les sciences, des moyens puissants et efficaces pour simplifier et structurer des réalités complexes. En cela la FORMATION que le futur ingénieur peut retirer des mathématiques (et des sciences en général) est particulièrement utile...

Évidemment, cette formation ne vise pas à former des mathématiciens mais des ingénieurs qui se démarqueront dans leur profession. L'objet d'étude doit donc s'appuyer sur des

considérations concrètes issues principalement de l'ingénierie. Cette pertinence est l'élément qui assurera une cohésion dans l'intégration des matières.

Il n'appartient pas à l'unité mathématique de définir l'ingénieur, mais il est important de souligner les valeurs et qualités mathématiques qui peuvent enrichir la personnalité d'un ingénieur (en fait, de tout scientifique) : rigueur, logique, capacité d'abstraction, méthode, concision, esprit d'analyse, clarté, ... La pratique des mathématiques, faite de façon encadrée, tuteurée pourrait-on dire, modèle l'individu qui s'y adonne.

Ceci dit, il y a d'autres qualités, d'autres comportements que nous pensons que tout étudiant de l'École Polytechnique devrait avoir : honnêteté, respect envers lui-même, les autres et ses engagements, responsabilité, ponctualité, ... D'autres encore : autonomie, capacité au travail en équipe, civisme, souci de l'environnement, ... Il appartient à la communauté polytechnicienne de prôner un tel ensemble de qualités et de travailler à créer un climat propice à leur développement.

Il est donc impératif qu'il y ait des échanges entre les professeurs de mathématiques et les autres professeurs de l'École. De plus, il faudrait que ces échanges se poursuivent d'une manière continue au-delà de la mise en place de la réforme actuelle afin d'assurer un suivi, un meilleur contrôle de la qualité des programmes.

La cohérence (qualité mathématique) devrait aussi se retrouver dans la suite des cours de mathématiques. L'intégration des mathématiques dans les cours de mathématiques doit être renforcée. L'intégration des mathématiques dans les autres cours dépend de plusieurs facteurs : la place des cours dans le curriculum, l'utilisation d'exemples reliés au génie dans les cours de mathématiques et l'utilisation des concepts et des outils mathématiques dans les autres cours.

La coloration des cours (on ne parle pas ici de versions différentes de cours) est peu souhaitable en première année et discutable en deuxième année. Les étudiants de première année ne sont pas en mesure de saisir tous les aspects des applications en génie. La non coloration en première année assure le respect de l'approche prescrite de la contrainte 9 (*minimiser la pénalité en nombre de crédits que devra subir un étudiant qui change de programme après la première année*) pour les cours de mathématiques. Nous croyons cependant que cette coloration est souhaitable en troisième et quatrième années. Malgré tout, certaines questions se posent. Combien de versions différentes d'un même cours pouvons-nous offrir compte tenu des ressources? Comment colorer des cours sans multiplier de façon indue les cours "noirs"? Doit-on "assurer" des équivalences entre des cours colorés?

L'introduction de logiciels mathématiques à l'intérieur des cours de mathématiques est fortement questionnée à l'intérieur de l'unité mathématique. Nous pensons que cette introduction ajoute aux difficultés des étudiants, sans compter que l'impact sur la charge de travail est important. Même si l'utilisation de logiciels mathématiques est inévitable dans certains domaines (statistiques, analyse numérique), nous pensons que la responsabilité de l'introduction de ces logiciels ne doit pas incomber uniquement à l'unité mathématique. D'ailleurs, dans plusieurs facultés de génie, cette introduction est faite en dehors des cours de mathématiques.

3 TABLEAU DES COURS DE MATHÉMATIQUES

3.1 Contextualisation des cours

On trouvera dans ce chapitre une liste des cours de mathématiques que le département de mathématiques et de génie industriel prévoit donner à partir de l'automne 2005 dans le cadre du "Projet de formation".

Le premier souci de l'équipe pédagogique de mathématiques a été de valider, en collaboration avec les équipes pédagogiques, les contenus de cours, de préciser les compétences et les savoir-faire que les programmes souhaitent. La cohérence devait aussi se retrouver dans la suite des cours de mathématiques. Il était et il est impératif qu'il y ait des échanges entre les professeurs de mathématiques et les autres professeurs de l'École.

Cette offre de cours découle des nombreuses discussions et échanges entre les départements, l'unité mathématique et le comité d'implantation. Les cours énumérés ici sont les cours de première année ainsi que des cours que les programmes choisiront comme étant des cours de première, deuxième voire troisième année. Dans le cas où plusieurs versions d'un même cours apparaissent, nous tenons à préciser que ces versions sont proposées en considérant plusieurs facteurs évoqués par les départements dont des demandes concernant les contenus et des restrictions (parfois très fortes) sur le nombre de crédits disponibles. Certaines de ces versions sont des solutions de compromis. Dans certains cas, il est encore trop tôt pour préciser si une version sera "noire", "blanche" ou même "zébrée" puisque cette caractéristique d'un cours dépendra de la clientèle et donc des choix des départements.

Dans certains cas, il a été facile de déterminer des contenus à couvrir, les cours qu'occuperaient ces contenus et la place de ces cours dans le curriculum. Ce qui s'est traduit par des changements mineurs pour les trois premiers cours de première année, à savoir Algèbre linéaire, Calcul I et Calcul II. Ces changements ont été apportés pour obtenir une plus grande cohérence, créer un regroupement logique des contenus tout en diminuant certains de ceux-ci. Le tout a été grandement facilité par le fait que ce sont des contenus classiques élémentaires sur lesquels sont construits les autres cours. Il en a été autrement en ce qui a trait aux notions d'équations différentielles, de méthodes numériques, de probabilité et de statistiques. Les programmes ont exprimé des besoins et des visions différentes, non seulement pour les contenus mais pour les approches pédagogiques.

Les différents programmes de l'École ont indiqués rapidement leurs exigences concernant les équations aux dérivées partielles ainsi que le nombre de crédits qu'ils pouvaient allouer à un tel cours. Les conséquences de ces choix sont la création de deux cours d'équations différentielles : un cours de deux crédits d'équations différentielles ordinaires et un second cours de trois crédits couvrant les équations différentielles ordinaires et une partie non négligeable reliée aux équations aux dérivées partielles.

L'utilisation du logiciel Maple a été jugée non souhaitable par l'ensemble des programmes. En conséquence, il a été décidé d'abandonner le logiciel Maple. La situation est totalement différente pour le logiciel Matlab dont l'utilisation est jugée pertinente par les programmes. Il n'y a cependant pas eu de consensus de ceux-ci au sujet de la responsabilité de cet enseignement de Matlab bien que tous reconnaissent que notre responsabilité est l'enseignement des

mathématiques et non celle de l'enseignement de logiciels de programmation. Les solutions proposées pour s'assurer de l'apprentissage de ce logiciel sont donc diverses et ont un impact sur les cours de méthodes numériques.

En effet, autant il a été facile de cerner des contenus qui ont fait consensus rapidement autant les discussions ont été longues concernant la place du logiciel Matlab dont l'utilisation dans les cours de d'analyse numérique est jugé pertinente par la majorité des programmes. Deux départements se sont démarqués quant à leurs demandes concernant ce cours. Le département de génie mécanique demande une forte intégration de ce cours dans son curriculum avec une approche pédagogique différente tout en utilisant le logiciel Matlab, utilisation d'autant facilitée que les étudiants en génie mécanique auront suivi, en plus d'ING1025, le cours MEC2510. De façon opposée, le département de génie chimique désire un cours d'Analyse numérique sans utilisation d'un logiciel. Les choix faits à ce jour par les programmes nous ont amenés à proposer trois versions du cours : ces trois versions différentes par l'approche pédagogique le seront aussi par l'utilisation ou non de Matlab et par le "bagage Matlab" avec lesquels les étudiants arriveront dans ces cours. Toutes ces discussions ne sont pas insignifiantes puisque les contenus affectent la charge de travail de l'étudiant de façon directe et que l'utilisation d'un logiciel augmente cette charge et ajoute à la difficulté d'un cours. Les contenus ont été diminués, pas au niveau des concepts de base, mais par une diminution du nombre de méthodes étudiées. L'utilisation du logiciel Matlab sera vécue différemment par les étudiants selon qu'ils y auront déjà été initiés ou non. Nous avons donc opté pour une solution mitigée : nous ferons un examen de qualification pour évaluer les connaissances du logiciel Matlab et nous inviterons les étudiants qui ne le réussissent pas à suivre une formation sur ce logiciel.

Enfin, tous les programmes sont unanimes pour affirmer qu'un ingénieur désireux de développer une forte expérience pour la conception doit avoir une formation solide en probabilités et méthodes statistiques. Ainsi, les onze programmes veulent non seulement conserver les notions de base de probabilités et de statistiques, mais reconnaissent la nécessité d'en voir plus, d'explorer des concepts sous-jacents à celles-ci, menant à des applications plus proches de leur champ d'application. En particulier, le programme de génie industriel propose même une deuxième cours de méthodes statistiques.

Cependant, suite aux multiples discussions que les professeurs de l'unité mathématique, oeuvrant dans l'axe de recherche dédié aux probabilités et statistiques, ont eu avec les responsables des programmes, il apparaît qu'aucun crédit supplémentaire, hormis les trois crédits existants, ne pourra être consacré à l'enseignement de modules spécialisés. Une exception notable est l'équipe pédagogique du programme de génie industriel qui propose 6 crédits sur les méthodes statistiques.

De plus, les contraintes du projet de formation doivent nous permettre de consacrer plus de temps à approfondir les notions de base de façon à ce que les étudiants puissent maîtriser davantage la matière enseignée. Ces contraintes sont essentielles dans un cours de probabilités et statistiques où les concepts sont souvent contre intuitifs et où la façon de résoudre les problèmes est tout à fait nouvelle pour les étudiants.

L'unité mathématique a donc conçu, pour se conformer à la fois aux contraintes et satisfaire les programmes, quatre versions du cours de probabilités et statistiques. Ces versions comprennent les concepts de base en probabilités et les notions essentielles en statistiques qui seront vues en

un temps jugé logique et sensé par les membres experts de l'unité mathématique. Elles comprendront aussi, suivant les différentes versions, de la matière supplémentaire destinée aux ingénieurs des différents programmes.

3.2 Cours offerts au baccalauréat

La liste des cours actuels et ce qu'ils deviendront est:

- ING1005 remplacé par MTH1101
- ING1006 remplacé par MTH1006
- ING1007 remplacé par MTH1102
- ING1003 remplacé par MTH1110 ou MTH1115
- MTH2110 demeure
- MTH2111 demeure
- MTH2120 demeure
- MTH2210 remplacé par MTH2210A, MTH2210B ou MTH2210C
- MTH2301 et MTH2305 remplacés par MTH2302A, MTH2302B, MTH2302C ou MTH2302D
- MTH2312 nouveau
- MTH2401 remplacé par MTH2402
- MTH4405 demeure
- MTH4411 nouveau

MTH1006

(2, 2, 2) 2cr.

Algèbre linéaire

Plan et espace euclidiens. Vecteurs géométriques du plan et de l'espace. Produits scalaire, vectoriel et mixte. Droites et plans. Espaces vectoriels, sous-espaces vectoriels, indépendance linéaire, base, dimension. Bases orthogonales et orthonormales, procédé de Gram-Schmidt. Transformations linéaires, matrices et changement de bases. Noyau, image et rang. Systèmes d'équations linéaires homogènes, non homogènes et liens avec les matrices. Valeurs propres et vecteurs propres. Diagonalisation. Formes quadratiques et matrices symétriques. Applications à la géométrie : classification des équations du second degré (coniques et quadriques).

MTH1101 Automne, hiver et été

(2, 2, 2) 2cr.

Calcul I

Séries et approximations d'une fonction à une variable, polynôme et série de Taylor, erreur d'approximation, critères de convergence. Nombres complexes : arithmétique des nombres complexes, représentation dans le plan complexe, formes polaire et d'Euler. Fonctions de plusieurs variables : représentation de fonctions, courbes et surfaces de niveau, dérivées partielles, différentielle, gradient et dérivée directionnelle, dérivation en chaîne, polynôme de Taylor à plusieurs variables. Optimisation : extrema sans contrainte, méthode du gradient, extrema avec contrainte d'égalité ou d'inégalité, multiplicateur de Lagrange.

MTH1102
(2, 2, 2) 2 cr.

Calcul II
Préalable : MTH1101

Intégration de fonctions de plusieurs variables : intégrales multiples, systèmes de coordonnées, changement des variables. Courbes et surfaces paramétrées. Intégrales curvilignes : champs scalaires et champs vectoriels, champs de gradients et champs conservatifs, théorème de Green. Intégrales de surface et de flux pour les graphes, cylindres, sphères et surfaces paramétrées. Divergence et théorème de la divergence, rotationnel et théorème de Stokes.

MTH1110 Automne et hiver
(2, 2, 2) 2cr.

Équations différentielles ordinaires
Préalables : MTH1006, MTH1101

Équations différentielles d'ordre 1 : équations à variables séparables, exactes (facteur intégrant), linéaire et de Bernoulli. Équations différentielles d'ordre supérieur : solutions fondamentales, équations homogènes à coefficients constants, équations d'Euler-Cauchy, équations non-homogènes, oscillations libres et forcées. Systèmes d'équations différentielles : lien avec les équations d'ordre supérieur, systèmes linéaires d'ordre homogènes et non-homogènes, systèmes non-linéaires, linéarisation et stabilité. Transformée de Laplace : équations différentielles linéaires non-homogènes avec membre de droite continu ou discontinu.

MTH1115 Automne, hiver et été
(3, 2, 4) 3cr.

Équations différentielles
Préalables : MTH1006
Corequis : MTH1102

Introduction aux équations différentielles ordinaires et aux dérivées partielles; champs de directions, classification et application. Équations différentielles d'ordre 1 : équations à variables séparables, exactes (facteur intégrant), linéaire et de Bernoulli. Équations différentielles d'ordre supérieur : solutions fondamentales, équations homogènes à coefficients constants, équations d'Euler-Cauchy, équations non-homogènes, oscillations libres et forcées. Systèmes d'équations différentielles : lien avec les équations d'ordre supérieur, systèmes linéaires d'ordre homogènes et non-homogènes, systèmes non-linéaires, linéarisation et stabilité. Transformée de Laplace : équations différentielles linéaires non-homogènes avec membre de droite continu ou discontinu. Classification des équations aux dérivées partielles, équation de la chaleur pour une tige, équation d'onde pour une corde et une membrane vibrante, équation de Laplace et résolution du problème de Dirichlet pour un rectangle et un cercle, conditions aux frontières homogènes et non-homogènes, séries de Fourier, solutions par séries.

MTH2110 Automne
(3, 0, 3) 2cr.

Méthodes mathématiques de la physique I
Corequis : MTH1115
Préalables : MTH1102

Fonctions d'une variable complexe. Fonctions analytiques, calcul des résidus. Distribution de Dirac. Séries de Fourier. Coefficient d'Euler, identifié de Parseval. Transformée de Fourier. Convolution. Principe d'incertitude. Transformée de Laplace inverse. Équations différentielles ordinaires : applications des séries de Fourier, applications de la transformation de Fourier et applications de la transformée de Laplace. Méthode de Fröbenius. Fonctions de Bessel d'ordre zéro.

MTH2111 Hiver
(3, 0, 3) 2cr.

Méthodes mathématiques de la physique II
Préalable : MTH2110

Équations aux dérivées partielles. Méthode de séparation des variables. Équations de Laplace, de la diffusion d'Helmholtz. Fonctions de Green. Coordonnées curvilignes et tenseurs. Fonctions spéciales. Problème de Sturm-Liouville, opérateurs hermétiques. Fonctions de Bessel. Polynômes de Legendre, d'Hermite et de Laguerre.

MTH2120 Automne et hiver
(3, 2, 4) 3cr.

Analyse Appliquée
Préalables : MTH1102

Fonctions d'une variable complexe. Fonctions analytiques. Intégrales complexes. Formules de Cauchy. Séries de Laurent. Transformée en z. Calcul des résidus. Théorème d'échantillonnage. Série de Fourier. Coefficients d'Euler. Conditions de Dirichlet. Transformée de Fourier. Identifié de Parseval. Convolution. Inversion de la transformée de Laplace.

MTH2210A Automne, hiver et été
(3, 2, 4) 3cr.

Analyse numérique pour ingénieurs
Préalables : MTH1110 ou MTH1115, ING1025

Introduction aux méthodes numériques. Erreurs de modélisation, de représentation et de troncature. Équations algébriques non-linéaires. Systèmes d'équations algébriques linéaires et non-linéaires. Équations différentielles. Interpolation, différentiation et intégration numériques. Application des méthodes numériques à l'étude de problèmes en sciences appliquées et en génie.

Note : Un examen de qualification pour évaluer les connaissances du logiciel Matlab aura lieu lors de la première séance de laboratoire, les étudiants non qualifiés seront invités à suivre une formation sur ce logiciel.

MTH2210B Automne
(3, 2, 4) 3cr.

Analyse numérique pour l'ingénieur chimiste
Préalable : MTH1110 ou MTH1115

Introduction aux méthodes numériques par le biais de problèmes tirés du génie chimique. Introduction à l'analyse numérique. Erreurs de modélisation, de représentation et de troncature. Équations algébriques non-linéaires. Systèmes d'équations algébriques linéaires et non-linéaires. Équations différentielles. Interpolation, différentiation et intégration numériques.

MTH2210C Automne et hiver
(3, 2, 4) 3cr.

Analyse numérique pour l'ingénieur mécanicien
Préalables : MTH1115, ING1025, MEC2510 et
MEC**** (à déterminer par génie mécanique)

Introduction aux méthodes numériques par le biais de problèmes tirés du génie mécanique. Erreurs de modélisation, de représentation et de troncature. Équations algébriques non-linéaires. Systèmes d'équations algébriques linéaires et non-linéaires. Équations différentielles. Interpolation, différentiation et intégration numériques.

MTH2302A
(4, 2, 3) 3cr.

Probabilités et statistiques
Préalables : MTH1006, MTH1101

Notions de probabilités : axiomes, probabilité conditionnelle, règle de Bayes, analyse combinatoire. Variables aléatoires : fonctions de répartition de masse et de densité, espérance et variance. Lois de probabilités usuelles : de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson, hypergéométrique, uniforme, exponentielle, Gamma, normale, de Weibull et de Cauchy. Statistique descriptive : diagrammes, logiciel de base. Distribution d'échantillonnage : estimation, erreur quadratique moyenne, intervalles de confiance, limites de tolérances. Test d'hypothèses : tests paramétriques et test d'ajustement. Régression simple. Vecteurs aléatoires, chaînes de Markov, processus de Poisson et mouvement Brownien.

MTH2302B
(4, 2, 3) 3cr.

Probabilités et statistiques
Préalables : MTH1006, MTH1101

Notions de probabilités : axiomes, probabilité conditionnelle, règle de Bayes, analyse combinatoire. Variables aléatoires : fonctions de répartition de masse et de densité, espérance et variance. Lois de probabilités usuelles : de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson, hypergéométrique, uniforme, exponentielle, Gamma, normale, de Weibull. Statistique descriptive : diagrammes, logiciel de base. Distribution d'échantillonnage : estimation, erreur quadratique moyenne, intervalles de confiance, limites de tolérances. Test d'hypothèses : tests paramétriques et test d'ajustement. Régression simple. Planification d'expériences, contrôle de la qualité, gestion du risque et simulation numérique.

MTH2302C
(4, 2, 3) 3cr.

Probabilités et statistiques
Préalables : MTH1006, MTH1101

Notions de probabilités : axiomes, probabilité conditionnelle, règle de Bayes, analyse combinatoire. Variables aléatoires : fonctions de répartition de masse et de densité, espérance et variance. Lois de probabilités usuelles : de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson, hypergéométrique, uniforme, exponentielle, Gamma, normale, lognormale et de Weibull. Distribution d'échantillonnage : estimation, erreur quadratique moyenne, intervalles de confiance, limites de tolérances. Test d'hypothèses : tests paramétriques et test d'ajustement. Régression simple. Régression multiple, méthodes statistiques spatiales, distributions multi-normales et analyse de décision.

MTH2302D
(4, 2, 3) 3cr.

Probabilités et statistiques
Préalables : MTH1006, MTH1101

Notions de probabilités : axiomes, probabilité conditionnelle, règle de Bayes, analyse combinatoire. Variables aléatoires : fonctions de répartition de masse et de densité, espérance et variance. Lois de probabilités usuelles : de Bernoulli, binomiale, géométrique, de Poisson, hypergéométrique, uniforme, exponentielle, Gamma, normale, de Weibull et de Cauchy. Statistique descriptive : diagrammes, logiciel de base. Distribution d'échantillonnage : estimation, erreur quadratique moyenne, intervalles de confiance, limites de tolérances. Test d'hypothèses : tests paramétriques et test d'ajustement. Régression simple. Fiabilité, durée de vie, renouvellement, file d'attente.

MTH2312
(3, 2, 4) 3cr.

Compléments de statistiques
Préalables : MTH2302

Description à venir.

MTH2402
(4, 2, 6) 4cr.

Recherche opérationnelle I
Préalables : MTH2302

Description à venir.

MTH4411
(3, 2, 4) 3cr.

Théorie de la décision
Préalables : MTH2402, SSH5201

Description à venir.

MTH4405
(3, 0, 6) 3cr.

Recherche Opérationnelle I
Préalables : MTH2402

Rappel de la programmation linéaire. Programmation en nombres entiers : méthode de séparation et d'évaluation progressive, méthode de coupes. Programmation dynamique. Décomposition de Dantzig-Wolfe. Programmation non-linéaire : programmation avec et sans contraintes, conditions d'optimalité, algorithme de gradient, approximation quadratique séquentielle, gradient réduit, méthode de pénalité. Modèles stochastiques : chaîne de Markov, programmation stochastique et décomposition. Applications au design optimal et aux problèmes d'ingénierie. Introduction à quelques logiciels d'optimisation.

Voici par programme, les cours de mathématiques qui feront partie du curriculum. Cette liste découle des choix départementaux connus à ce jour : il convient donc de la valider.

Génie	Algèbre linéaire MTH1106	Calcul I MTH1101	Calcul II MTH1102	Équation différentielle	Méthodes Numériques MTH2210	Probabilités Statistiques MTH2302	Cours de spécialités
Chimique	Oui	Oui	Oui	MTH1110	B	B	Aucun *
Civil	Oui	Oui	Oui	MTH1115	A	C	Aucun
Électrique	Oui	Oui	Oui	MTH1115	A	A	MTH2120
Géologique	Oui	Oui	Oui	MTH1115	A	C	Aucun
Industriel	Oui	Oui	Non	Non	Non	D	MTH2312 MTH2402 MTH4411
Informatique	Oui	Oui	Non	MTH1110	A	A ou D	Aucun
Logiciel	Oui	Oui	Non	MTH1110	A	D	Aucun
Matériaux	Oui	Oui	Oui	MTH1115	A	B	Aucun
Mécanique	Oui	Oui	Oui	MTH1115	C	B	Aucun
Mines	Oui	Oui	Oui	MTH1115	A	C	Aucun
Physique	Oui	Oui	Oui	MTH1115	A	A	MTH2110 MTH2111

* Module de 1 crédit à l'intérieur du cours GCH2530

4 ORGANISATION PÉDAGOGIQUE

4.1 Intégration des matières

L'intégration des mathématiques dans les cours de mathématiques était acquise, elle demeure et est même augmentée : le regard porté sur l'ensemble des cours nous a permis de valider non seulement les contenus mais leur suite logique. La cohérence doit se retrouver à l'intérieur d'un cours mais aussi dans l'ensemble des cours. C'est ce souci de cohérence qui nous a fait déplacer certains contenus d'un cours à un autre.

L'intégration des mathématiques dans les autres cours dépend de plusieurs facteurs, entre autres, la place des cours dans le curriculum qui facilite l'utilisation des concepts et des outils mathématiques adéquats, et encore une fois, pertinents. Il était donc impératif qu'il y ait des échanges entre les professeurs de mathématiques et les autres professeurs de l'École. Dans ces échanges entre les équipes pédagogiques des programmes et l'équipe pédagogique de mathématiques, il nous est apparu clair, dès le début, que nous aurions à maintenir un équilibre entre la satisfaction complète des demandes départementales et l'éparpillement sinon l'écartèlement entre onze programmes.

L'intégration des connaissances doit être une composante importante de tous les programmes. Dans ce contexte, la tendance naturelle de plusieurs départements est de vouloir des cours colorés à leur saveur. Encore faut-il en avoir les moyens. Les ressources sont limitées et dans ce contexte, les cours proposés sont des compromis pour les départements qui les choisissent et pour l'unité mathématique. Dans ce contexte de compromis, un effort réel a été fait pour cerner des contenus et des habiletés à développer chez l'étudiant et pour déterminer la meilleure place pour les cours dans le curriculum.

4.2 Réduction de la charge de travail étudiante et du contenu des cours

Des efforts sérieux ont été faits pour réduire les contenus de cours. C'est certainement réussi pour les cours de Calcul I, Calcul II et d'Algèbre linéaire. Notre expérience avec le contenu du nouveau cours d'équations différentielles ordinaires de deux crédits, déjà vu durant la première moitié du cours actuel, nous permet de dire avec confiance que la charge de travail est adéquate par rapport au nombre de crédits. Le cours d'équations différentielles de trois crédits sera perçu de façon différente selon que l'étudiant soit en première année où à la fin de la seconde année. Une révision majeure du cours a été faite et des mesures importantes ont été prises pour réduire la charge de travail. D'une part, on note l'allégement significatif du cours avec un triplet (3, 2, 4) réparti sur treize semaines au lieu du triplet (3.5, 1.5, 4) réparti sur onze semaines. D'autre part, l'introduction des ÉDO d'ordre 1, le retrait des solutions en série, le retrait de Maple et l'adoption d'une meilleure distribution des évaluations (2 intra + 1 final) devrait permettre une charge de travail conforme à un cours de 3 crédits.

Les trois versions des cours de "Méthodes numériques" ou "Analyse numérique" sont des versions moins chargées que la version actuelle du cours MTH2210, premièrement parce que nous ne serons plus dans l'obligation de satisfaire les demandes de 11 départements avec une seule version du cours et deuxièmement parce que le logiciel Matlab ne sera plus enseigné à même les heures du cours. Les différentes versions du cours pourront ajouter ou éviter certaines

méthodes, i.e. plus d'interpolation et moins de méthodes pour les ÉDO pour génie informatique et vice-versa pour génie mécanique. Les séances de travaux dirigés qui étaient consacrées à l'introduction au logiciel de Matlab seront maintenant utilisées à aider les étudiants à maîtriser les concepts. Ce cours sera aussi allégé en plaçant l'emphase sur les méthodes les plus répandues quitte à brosser un portrait moins large de la théorie et de l'éventail des méthodes numériques disponibles. La réforme du cours ING1025, aura un impact sur les cours de méthodes numériques qui utiliseront Matlab, cependant le fait que tous les programmes n'imposent par l'apprentissage de Matlab aura sûrement des répercussions. Comment sera vécu, par l'étudiant, le fait que nous lui demandons d'être responsable de sa préparation à Matlab? Comment obtiendra-t-il les moyens que l'École mettra à sa disposition pour s'y préparer? Ces moyens seront-ils suffisants? (L'École aura-t-elle raison de sa bonne conscience?)

Les quatre versions des cours de probabilités et statistiques sont des versions non légères : tous les départements ont souhaité des contenus à ajouter aux notions de base. Tous les programmes sauf celui de génie industriel nous ont fait savoir à quelles contraintes de crédits ils faisaient face. En conséquence, les quatre versions ont des triplets "éloquents" de (4, 2, 3). Le non allègement des contenus s'est traduit par un léger également dans le temps (les triplets des cours actuels MTH2301 et MTH2305 sont respectivement (4, 1, 4) et (3, 2, 4). Ces heures de contact permettront un meilleur soutien pour les étudiants.

La volonté de réduire la charge de travail des étudiants ne peut se traduire uniquement par le contrôle ou la réduction des contenus. Cette réduction de la charge passe aussi par des changements au niveau de l'évaluation. Là encore, il y a un équilibre à chercher entre un encadrement accru avec une rétroaction forte et une diminution du travail demandé à l'étudiant. Ces deux objectifs sont contradictoires : on ne peut donner de la rétroaction à l'étudiant qu'en regard de travaux qu'il aura produit, quelle que soit la nature de ceux-ci. Il faudra utiliser judicieusement le temps imparti aux trois chiffres du triplet.

4.3 Méthodes pédagogiques

Le succès de l'enseignement dépend de l'élaboration d'objectifs académiques précis et l'implantation de moyens pour assurer l'atteinte de ces objectifs par les étudiants. La courte section 4.4.1 discutera des méthodes pédagogiques qui seront mises en place pour faciliter l'acquisition des connaissances, surtout pendant les cours magistraux et les sessions de travaux dirigés. La section 4.4.2 examinera les moyens qui seront utilisés pour améliorer la communication entre les étudiants et les enseignants afin de garantir que les étudiants ont correctement identifiés les objectifs et qu'ils cheminent adéquatement vers ceux-ci. La section 4.4.3 terminera avec une description des méthodes d'évaluation que nous utiliserons pour mesurer si ces objectifs ont été atteints.

Commençons d'abords en rappelant que l'unité mathématique reçoit les futurs ingénieurs immédiatement après le CÉGEP et 1) que ces étudiants ont reçu des formations variées et 2) qu'ils n'ont pas tous la maturité pour prendre complètement en main leur éducation. Cette réalité est de plus en plus apparente au sein de l'unité et des études indépendantes des cégepiens ont confirmés cette tendance. L'unité mathématique propose des approches qui changeront en fonction de la maturité des étudiants.

4.3.1 Méthodes d'enseignement

L'unité possède un corps professoral dévoué à l'enseignement et tous les professeurs engagés dans les dernières années sont impliqués dans l'enseignement au premier cycle dont plusieurs participent à la coordination des cours et sont membres du PDF de l'unité mathématique. Le département s'est donc stratégiquement préparé à satisfaire ses obligations envers les autres départements. Ces enseignants apportent au département une vaste expérience en enseignement dont : l'apprentissage collaboratif, l'apprentissage en groupes et l'intégration des technologies en enseignement.

Malheureusement des contraintes imposées par la grande taille des groupes ne nous permettent pas d'appliquer la majorité des méthodes actives d'enseignement. Par contre, la familiarité de nos étudiants aux sciences de bases nous permet d'appliquer les méthodes mathématiques au génie et d'explorer des analogies intuitives très riches entre les mathématiques et le génie. Nous proposons de continuer cette tendance, très appréciée par les étudiants, et même de la solidifier en établissant des liens permanents entre l'unité mathématique et les différents départements et de favoriser l'échange à l'intérieur du département des demandes. Le PDF a permis d'identifier les professeurs qui serviront de points de contact. Le département procèdera à une réévaluation régulière des demandes et du taux de satisfaction des autres départements. L'échange au sein du département sera aussi facilité par la construction d'une liste de problèmes et d'applications des mathématiques appropriés aux différents génies. Le renforcement du lien entre les mathématiques et les applications augmentera sûrement la motivation des étudiants et donc favorisera leur succès.

Il existe par contre un exemple où l'application *a posteriori* des mathématiques aux génies ne suffirait pas. Le cours MTH 2210C, analyse numérique pour l'ingénieur mécanicien, se servira des applications concrètes du génie pour motiver l'introduction et l'utilisation de méthodes numériques concrètes. Cette contextualisation des mathématiques, quoique extrêmement difficile à faire à l'intérieur d'un cours, est désirée par le département de génie mécanique pour les raisons suivantes :

1. les réformes pédagogiques du département placeront l'emphase sur les projets intégrateurs;
2. le département de génie mécanique offre aux étudiants du premier cycle plus de trois cours avancés nécessitant de l'analyse numérique;
3. le département de génie mécanique possède une expertise en analyse numérique;
4. le département investi dans l'apprentissage du logiciel Matlab avec son cours MEC 2510 et veut encourager son utilisation dans tous ces autres cours;
5. le département à l'intention de modifier le cheminement étudiant pour s'assurer que les étudiants de MTH 2210C en fin de 2^{ème} année auront vu suffisamment d'applications en génie pour permettre la contextualisation.

La première raison implique que le département recherche un niveau de compétence élevé dans l'application de méthodes numériques à des problèmes concrets. Les deuxième et troisième points indiquent que le département enseigne déjà de l'analyse numérique et que le cours de MTH 2210 ne deviendra pas un cours « terminal » du cheminement. Les points 4 et 5 démontrent que le département de génie mécanique est prêt à s'investir dans le succès du cours MTH 2210C.

L'unité mathématique reconnaît ces besoins et propose de collaborer avec génie mécanique pour l'élaboration du cours MTH 2210C. Plus spécifiquement, les professeurs Laforest et Dufour de mathématiques et Trépanier et Reggio de mécanique participeront à ce projet, assurant ainsi la viabilité et la continuité de ce cours MTH dans le contexte d'une coordination partagée. Ils appliqueront bientôt pour une subvention au BAP.

4.3.2 Encadrement

L'encadrement des étudiants passe par un meilleur contact professeur-étudiant. La meilleure personne pour expliquer comment on réussit ses études en mathématiques est un professeur de mathématiques. L'étudiant doit recevoir des commentaires de son professeur sur sa façon d'étudier, de rédiger, d'aborder des exercices de base et d'attaquer des exercices plus sérieux. Il faut augmenter la rétroaction à l'étudiant tout en contenant la charge de travail de celui-ci. La rétroaction augmente aussi la charge de travail de l'enseignant car celui-ci ou celle-ci doit d'abords préparer ces contrôles, les corriger et ensuite en discuter avec les étudiants en dehors des heures de cours. Nous croyons que la rétroaction est particulièrement importante pour les étudiants au début de leur baccalauréat car ce sont ceux qui ont le moins d'expérience.

Cependant, le nombre de cours à dispensés est élevé et en fait il sera plus élevé qu'actuellement. Les enseignements de base étaient couverts par sept cours (ING1005, ING1006, ING1007 ING1103, MTH2210, MTH2301 ou MTH2305). Ces mêmes enseignements nécessiteront dorénavant douze cours, dont seulement deux (MTH2210B et MTH2302C) seront des cours "noirs" à une section. L'organisation et la prestation des dix autres cours, donnés à multiples sections, occuperont plus de professeurs que maintenant. Il ne faut pas oublier les cinq cours de spécialité qui passeront maintenant à sept. Comme nous dispensons aussi des cours préparatoires en mathématiques (MTH0103 et MTH0105) et un module de un crédit à l'intérieur d'un cours de chimie (GCH2530), il faudra recourir à plus de chargés de cours que maintenant, et cela, même si nous savons pouvoir compter sur des ressources professorales provenant d'autres départements de l'École.

Avec l'offre de cours que nous déposons dans le cadre du Projet de formation nous dépassons la limite des ressources professorales pour la coordination et la prestation des cours. Nous pensons qu'il est important qu'un cours vive, qu'il évolue et cela suppose qu'il y ait plus qu'un professeur impliqué dans la création d'un cours et sa prestation. Le travail efficace de l'équipe pédagogique résulte du dynamisme des personnes qui la composent mais aussi de la synergie créée par les diverses expériences partagées, les discussions des professeurs réellement impliqués à l'intérieur de nos cours. La mobilité de nos professeurs dans plusieurs cours est une caractéristique à conserver et même à augmenter.

Si nous voulons augmenter l'encadrement de manière significative tout en maintenant une liaison entre l'unité mathématique et les programmes de l'École par des professeurs réguliers de mathématiques il est impératif que nous augmentions nos ressources personnes. Il est peu probable que nous puissions augmenter de façon notable le nombre de professeurs de mathématiques. Il faudrait à tout le moins, que nous puissions compter sur la présence et l'expérience de maîtres d'enseignement qui épauleraient les professeurs en place dans l'organisation des cours et surtout l'encadrement des chargés de cours, chargés de travaux dirigés, tuteurs et correcteurs.

4.3.3 Évaluation des apprentissages

C'est dans cet aspect de l'enseignement que l'unité mathématique compte surtout innover et répondre aux besoins particuliers des étudiants issus directement des CÉGEPs. Nous comptons augmenter, pour les cours de base MTH 1101, 1102, 1106 et 1115, le nombre de contrôles et de devoirs par session de 2 à 3. Nous introduirons aussi des mini-contrôles réguliers d'un format qui reste à déterminer. Pris dans leur ensemble, ces changements auront un impact majeur sur plusieurs aspects de l'enseignement. Les contrôles toucheront moins de matière ce qui devrait aider les étudiants à réussir et éviter une compétition entre les cours pour le temps des étudiants vers la mi-session et la fin de session. Les notes seront aussi plus représentatives des efforts des étudiants car il deviendra possible d'évaluer un plus grand nombre de leurs compétences.

Les mini-contrôles permettront la rétroaction et nous anticipons qu'ils ne participeront que très peu (ou pas du tout) dans la pondération du cours. La raison d'être de ces questions est de permettre aux étudiants de mieux se préparer pour les examens et d'identifier leurs lacunes avant les contrôles. L'unité mathématique essaie cette automne dans les cours de ING 1005, 1007 et 1003 trois différentes formes de mini-contrôles (prenant chacun au plus 10 minutes). Les résultats préliminaires de ces expériences sont mixtes mais les mini-contrôles semblent améliorer le taux de présence en classe et aident les étudiants à rester à jour dans la matière (un problème inévitable pour les étudiants en 1^{ère} année). Une alternative intéressante serait d'utiliser les sessions de travaux dirigés pour administrer les mini-contrôles. Dans tous les cas, l'évaluation des étudiants nécessitera des ressources.