



Le génie pour l'industrie

Département de mécanique  
Programme de 2<sup>e</sup> cycle

<b>Enseignant :</b>	
<b>Groupe 01 :</b>	Azzeddine Soulaïmani

## PLAN DE COURS – HIVER 2013

### SYS852 – APPLICATION DE LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS

---

#### Objectifs spécifiques

Acquérir les connaissances fondamentales sur la méthode des éléments finis afin de résoudre numériquement les problèmes d'ingénieurs gouvernés par les équations aux dérivées partielles. Connaître l'organisation générale des codes d'éléments finis. Réaliser un projet de modélisation numérique. Se familiariser à l'utilisation d'un progiciel commercial de calcul et de visualisation.

#### Stratégie pédagogique

- Séances de cours magistral de trois heures : théorie et applications,
- Devoirs sur la théorie, le développement de codes et sur l'utilisation d'un code commercial,
- Projet de modélisation d'un problème physique (développement d'un code d'éléments finis).

#### Connaissances préalables requises

- Maîtrise du calcul matriciel, différentiel et intégral. Maîtrise d'un langage de programmation.

#### Contenu détaillé (sujets couverts par période de trois heures)

##### Séances 1 et 2 : Introduction aux concepts fondamentaux

- Problèmes aux limites des milieux continus,
- Principes de quelques méthodes numériques de résolution d'EDP,
- Méthode des différences finies.

##### Séances 3 et 4 : Principe de la MEF

- Méthode des résidus pondérés,
- Formulation variationnelle forte,
- Formulation variationnelle faible : méthode de Galerkin,
- Élément de référence, coordonnées de référence à une dimension,
- Exemples à une dimension.

### **Séances 4 et 5 : Éléments et fonctions d'interpolation**

- Approximations polynomiales de Lagrange à une dimension, terminologie élément de type  $C^0$  et  $C^1$ ,
- Élément de référence, coordonnées de référence,
- Éléments en deux dimensions de type  $C^0$ ,
- Éléments en trois dimensions de type  $C^0$ ,
- Calcul des dérivées : matrice Jacobienne.

### **Séance 6 : Problèmes aux limites à fonction scalaire en deux dimensions, exemple du transfert de chaleur**

- Modélisation mathématique du problème,
- Formulations variationnelles forte et faible,
- Conditions de convergence : base polynomiale complète, condition de continuité inter-éléments,
- Discrétisation par éléments finis, représentation matricielle.

### **Examen Intra**

#### **Séance 7 : Intégration numérique**

- Formule de quadrature de Gauss et de Hammer.

#### ➤ **Introduction du projet** : développement d'un programme élémentaire d'éléments finis (partie 1)

#### **Séance 8 : Problèmes instationnaires**

- Discrétisation en temps par différences finies : schémas explicites et implicites,
- Résolution par superposition modale.

#### **Séances 9 et 10 : Problèmes aux limites à fonction vectorielle : exemple d'élasticité linéaire**

- Équations d'équilibre en trois dimensions et en plan,
- Formulations variationnelles forte et faible, principe des travaux virtuels,
- Conditions de convergence : base polynomiale complète, condition de continuité inter-éléments,
- Discrétisation par éléments finis, représentation matricielle.

#### ➤ **Suite du projet** : développement d'un programme élémentaire d'éléments finis (partie 2)

#### **Séances 11 et 12 : Application aux poutres et aux plaques**

- Application de la MEF aux plaques et poutres.

#### **Séance 13 : Survol de quelques problèmes de mécanique des fluides**

- Écoulements incompressibles : le problème de Stokes,
- Méthode d'éléments finis stabilisée.

## Mode d'évaluation

<i>Devoirs</i>	20 %	4 à 6 devoirs à remettre à temps (tout retard sera pénalisé) ayant pour objectif de réviser régulièrement la matière (équipe de 2 étudiants au plus).
<i>Projets</i>	35 %	Un projet consistant à élaborer un programme d'éléments finis pour la résolution d'un problème de structure ou de fluide (équipe de 2 étudiants au plus).
<i>Examen intra</i>	20 %	(date à préciser ultérieurement)
<i>Examen final</i>	25 %	

**CLAUSE PARTICULIÈRE. Pour réussir le cours, il faut obtenir au moins 60 %.**

**ABSENCE À UN EXAMEN ET À UN LABORATOIRE.** Dans les cinq (5) jours ouvrables suivant la tenue de son examen, l'étudiant devra justifier son absence auprès de la Coordinatrice - Affaires départementales (Génie mécanique) pour un examen durant le trimestre et auprès du Bureau des services académiques pour un examen final. Toute absence non justifiée par un motif majeur (maladie certifiée par un billet de médecin, décès d'un parent immédiat ou autre) à un examen, entraînera l'attribution de la note zéro (0).

**PLAGIAT ET FRAUDE.** Les clauses du « Chapitre 10 : Plagiat et fraude » du « Règlement des études de 1er cycle » s'appliquent dans ce cours ainsi que dans tous les cours du département de génie mécanique. Afin de sensibiliser les étudiants au respect de la propriété intellectuelle, tous les étudiants doivent consulter la page **Citer, pas plagier!**

<http://www.etsmtl.ca/Etudiants-actuels/Cycles-sup/Realisation-etudes/Citer-pas-plagier>.

## Références

- Ouvrage de référence obligatoire : 'Méthode des éléments finis', auteurs : G. Dhatt, G. Touzot & E. Lefrançois Hermes-Lavoisier.  
Site internet : [www.mec.etsmtl.ca/cours/sys852](http://www.mec.etsmtl.ca/cours/sys852)
- Jacob Fish and Ted Belytschko : A First Course in Finite Elements Jacob Fish. JohnWiley & Sons, Ltd, 2007.
- Reddy, J.N., 'An Introduction to the Finite Element Method', McGraw Hill.
- Buchanan, G., 'Finite Element Analysis Série Shaum'.
- Hughes, T.J.R., 'The Finite Element Method Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis', Prentice-hall.

## Courriel « ÉTUDIANTS-PROFESSEURS »

Le Service des technologies de l'information, en collaboration avec les départements et le Service des enseignements généraux, vous présentent leur service de « courriel étudiants-professeurs ».

Cet outil vise à augmenter la quantité de services offerts aux étudiants et à favoriser un échange accru d'informations entre les étudiants et les professeurs. Chaque étudiant disposera d'une boîte de courriel (15 MB) et d'une adresse normalisée. Chaque professeur pourra ainsi communiquer avec un étudiant ou avec l'ensemble des étudiants inscrits à son cours.

a) Clientèle cible :

- tous les étudiants inscrits à chaque session

b) Accessibilité :

- à partir d'un fureteur quelconque sur le site WEB de l'ÉTS sous la rubrique :  
GUICHET INTERACTIF
- à partir d'un fureteur quelconque à l'adresse suivante :  
<https://etscourriel.etsmtl.ca/>
- à partir d'un logiciel client en mode POP3 ou MAPI :
  - serveur entrant : webmail.ens.etsmtl.ca
  - serveur sortant : le serveur SMTP de votre fournisseur Internet

c) Authentification au système de courriel :

- à chaque session de travail, le système de courriel vous demandera de vous identifier; une fenêtre (Mot de passe réseau) apparaîtra et vous devrez fournir à la rubrique :
  - Nom de l'utilisateur : votre code d'accès universel
  - Mot de passe : votre NIP (utilisé dans ChemiNot)

Pour connaître votre code d'accès universel? Allez dans ChemiNot, sous l'onglet intitulé : **Info.générales**. La forme générale de ce code est la suivante : AA99999. Si vous avez oublié votre NIP, allez au Bureau du registraire.

Avec la création de votre boîte de courriel, le système de courriel vous a également créé une adresse électronique dite « normalisée » que vous pouvez diffuser. Elle a la forme suivante : [Prénom.nom.99@ens.etsmtl.ca](mailto:Prénom.nom.99@ens.etsmtl.ca) (disponible dans ChemiNot).

Notez que cette adresse normalisée ne contient pas de caractères accentués, ni de caractères spéciaux comme par exemple : l'apostrophe et l'espace (les logiciels de courriel ont horreur de ces caractères).

Bonne utilisation,

Service de l'informatique et des télécommunications  
23.04.2002