

Conservatoire National des Arts et Métiers
Chaire de Calcul Scientifique

Enseignement Mutualisé de Modélisation Numérique (EMMN)

L'Enseignement Mutualisé de Modélisation Numérique s'adresse aux élèves du Cnam en formation d'Ingénieurs en Sciences et Techniques Industrielles et/ou en Diplôme d'Etudes Supérieures Techniques. Cet enseignement est actuellement prévu comme une option, sachant qu'il pourrait être obligatoire pour certaines spécialités.

Besoin d'un enseignement de calcul scientifique

L'emploi de logiciels de simulation est maintenant incontournable parmi les compétences qu'un ingénieur doit maîtriser. En particulier les applications complexes (fluides, structures, thermique, etc.) demandent de savoir utiliser et exploiter des outils logiciels de mécanique des fluides numérique eux mêmes très élaborés, comme Fluent, Star CD ou Powerflow, ...

Mais il faut un minimum de connaissances en profondeur des algorithmes numériques, avoir entendu parler par exemple de "schéma implicite", de "coefficient de relaxation" ou de "nombre de Péclet local". Il est nécessaire aussi de disposer d'une pratique élémentaire de la programmation (gestion de la mémoire, boucle, branchement) pour se rendre compte de la fragilité des logiciels opérationnels et apprendre à maîtriser leur complexité. C'est cet objectif (ambitieux !) que le module EMMN se propose d'aborder. Il ne s'agit donc pas d'un cours numérique fondamental orienté vers les aspects purement numériques et algorithmiques mais d'une introduction aux concepts qui sous-tendent la pratique.

Pédagogie

Le module EMMN est une Unité d'Enseignement ("demi-valeur", 6 ECTS) sous la responsabilité double de la chaire de calcul scientifique (40 heures de "cours-travaux pratiques") et de chacune des chaires associées (20 heures de travaux pratiques). Il va de soi que la chaire de calcul scientifique peut également proposer en collaboration avec les demandeurs un programme de travaux pratiques spécifiques à chaque spécialité (voir l'exemple de l'acoustique).

Formation à distance

L'adaptation de cet enseignement EMMN à la Formation Ouverte à Distance sera envisagée dès sa mise en place, prévue en septembre 2006.

Introduction à la Modélisation Numérique (40 heures)

- Approximation des systèmes différentiels (5 heures).

On s’attachera à rappeler le concept de simulation dynamique et les notions fondamentales comme les schémas d’Euler et de Runge-Kutta, la précision et la stabilité. Il s’agit essentiellement de rappels de résultats vus (en principe) en licence (cours d’Informatique Appliquée au Calcul Scientifique).

- Un modèle propagatif et diffusif à une dimension d’espace (20 heures). Le point fondamental à prendre en compte au niveau numérique est la signification physique d’une équation aux dérivées partielles et son principe de discrétisation (passage de la forme continue à la forme discrétisée). C’est de ce point de vue que résultent les questions naturelles d’erreur numérique, de stabilité et de convergence. Compte tenu des besoins exprimés pour les sciences et techniques industrielles, on s’attachera à l’étude d’un modèle d’advection diffusion. Là encore, les notions de “volumes finis”, “nombre de Péclet local”, “schéma décentré”, “schéma centre”, “respect de la positivité des variables physiques” ou “matrice tridiagonale” doivent être assimilées par les auditeurs. Un second point concerne l’analyse critique d’une modélisation et d’une solution numérique. Les auditeurs seront sensibilisés aux différentes sources d’erreurs inhérentes à une modélisation. On pense naturellement à la discrétisation, au maillage, aux conditions aux limites, aux modèles physiques et au niveau de précision requis.

- Les travaux pratiques sur ces exemples (15 heures), demandent de traiter les trois points suivants :

(i) (re)-prise en main d’Unix (le minimum vital !) et d’Octave (clone gratuit de “Matlab”)

(ii) Conception et expérimentation pour quelques exemples d’équations différentielles comme celui d’un réacteur piston (génie des procédés).

(iii) Conception d’un modèle numérique de résolution d’une propagation linéaire avec diffusion ; assemblage possible de sous-programmes déjà existants. Test pour une couche limite laminaire (solution analytique et comparaison numérique, en mettant en évidence le rôle premier du maillage), modélisation d’un pôt catalytique.

Travaux pratiques spécifiques à chaque spécialité (20 heures)

- Génie des procédés.

Cet enseignement pourrait être une introduction pratique à l'emploi d'un outil de simulation pour les fluides (Fluent), sur des cas d'école où la solution est connue de manière classique grâce au sens physique où à des calculs analytiques. On pourra s'intéresser par exemple à un écoulement laminaire et turbulent dans un tube, dans un coude, dans une barre, autour d'un obstacle, ou à l'agitation d'une cuve.

- Techniques du froid

L'emploi de bases de données thermodynamiques pourrait être incorporé à cet enseignement.

- Turbomachines

La complexité des problèmes physiques de cette discipline (on fait le feu, et ça bouge !) impose de limiter les difficultés à un seul exemple. La méthodologie pratique de résolution d'un problème de mécanique des fluides numérique est proposée, à l'appui de quelques études de cas appliquées aux machines thermiques idéalement en milieu réactif et en repère relatif mobile. On insistera tout particulièrement sur la question du maillage, essentielle en mécanique des fluides numérique. On ne peut pas s'affranchir des questions de qualité du maillage, du niveau de densification, du taux de déformation et de son adaptation. Il en est de même de l'impact du maillage sur la diffusion numérique et la précision des résultats.

- Acoustique

Il s'agit ici de prolonger l'enseignement existant d'acoustique numérique. Les travaux pratiques pourraient reprendre l'enseignement d'acoustique instationnaire, où la méthode Haway des grilles décalées permet de simuler très simplement la propagation couplée des champs de pression et de vitesse. Application possible à la modélisation de la flûte traversière ou au tube de Kundt.

François Dubois
Professeur coordinateur du cours "EMMN"
Paris, 15 juillet 2005.