

Projet Numérique

Niveau L3 - Semestre S6 - Crédits 6 ECTS - Code LU3ME104 - Mention Licence mécanique

Présentation pédagogique :

L'objectif de cette UE est de développer l'autonomie des étudiants dans la compréhension, la modélisation et la mise en œuvre d'une méthode de résolution numérique d'un problème de mécanique. La démarche mise en œuvre au cours du projet doit mettre en évidence la séquence de modélisation, la méthodologie de simulation, ainsi que la validation et l'analyse physique des résultats. Les projets sont conduits en binôme. L'évaluation se fera sur la base de rendus intermédiaires semblables à des TP, d'un rapport écrit et d'une soutenance orale.

Contenu de l'Unité d'Enseignement :

Chaque groupe de TD se voit proposer un projet issu d'une thématique de la Licence de Mécanique. Les problèmes physiques abordés définissent un cadre d'étude dans lequel les étudiants vont développer une méthode de résolution numérique. En ce sens, les objectifs sont communs aux différents groupes. Parmi les thématiques proposées susceptibles de varier d'une année à l'autre, nous citerons :

- Simulation numérique de phénomènes transitoires

Ce projet a pour but la simulation numérique de phénomènes transitoires, en particulier les ondes en une et deux dimensions. Ces phénomènes sont modélisés par des équations aux dérivées partielles munies de conditions aux limites et initiales appropriées. Seront abordés pour cela :

- La discrétisation en espace par différences finies, de façon complémentaire aux cours de mathématiques et méthodes numériques (LU3ME008 et LU3ME009) ;
- La discrétisation en temps, à l'aide de divers schémas dont on étudiera la stabilité et la précision ;
- Les approches par séparations de variables et séries de Fourier, qui fourniront des solutions de référence ;

Le projet sera effectué intégralement dans le langage Python, qui d'une part comporte tous les outils de calcul numérique nécessaires et d'autre part permet de générer facilement des sorties graphiques.

- Structures élancées et Adhésion

Ce projet porte sur la mécanique des structures élancées et l'adhésion. Les objectifs sont d'une part de caractériser expérimentalement des poutres en flexion, et d'autre part de modéliser et de simuler les formes de celles-ci et de comparer aux résultats expérimentaux. Une première partie est consacrée à la résolution de travaux pratiques à développer dans le langage de programmation proposé pour la résolution numérique d'équations différentielles courantes dans le domaine de la mécanique. Notamment, la résolution d'équations différentielles ordinaires est abordée par la méthode des différences finies et au travers de fonctions dédiées du langage proposé qui sont basées sur les méthodes de Runge-Kutta et de points de collocation.

- Introduction à l'optimisation aérodynamique

Le but de ce projet est d'introduire le concept d'optimisation de forme (ou design) en mécanique de fluide (compressible). La première partie est consacrée à une introduction succincte des concepts mathématiques d'optimisation (définition du problème d'optimisation, résultats d'existence et unicité, convexité, condition d'optimalité, introduction au problème dual), puis des algorithmes classiques de résolution basée sur le calcul d'un gradient : méthodes de descente à pas constant, optimal ou quasi-optimal, Newton, SLSQP. Des travaux pratiques seront effectués en Python (Notebook Jupyter) pour tester les performances des divers algorithmes sur des problèmes analytiques et le code open-source SU2 est utilisé pour optimiser la forme d'un profil d'aile NACA0012 ou RAE2822 dans un écoulement de fluide parfait.

- Simulation numérique d'écoulements bi-dimensionnels

Les étudiants apprennent à résoudre l'écoulement bi-dimensionnel se développant autour d'un cylindre infini. La solution de l'écoulement potentiel (autour d'un cylindre fixe ou en rotation) est reprise initialement et sert de référence. La solution stationnaire d'une formulation scalaire des équations de Navier Stokes est ensuite obtenue par simulation numérique. Les équations de la fonction de courant et de la vorticité sont discrétisées   l'ordre deux par différences finies. Plusieurs schémas

itératifs sont testés. Une solution instationnaire est finalement obtenue afin de reproduire la formation de l'allée de von Karman. Une analyse de données expérimentales pourra finalement être entreprise à des fins de comparaison avec les solutions numériques. L'intégralité du projet est réalisé sous Matlab.

Pré-requis :

LU3ME008 : Mathématiques et méthodes numériques : EDP I
LU3ME004 : Bases de la mécanique des milieux continus
LU3ME101 : Ecoulement de fluide et ondes
LU3ME103 : Equilibre, stabilité et vibration

Références bibliographiques :

Gary Cohen, Higher-order numerical methods for transient wave equations. Scientific Computation. Springer, Berlin, 2002
G. Allaire, *Analyse numérique et optimisation*. Cours de l'École Polytechnique, 2004.

Ressources mises à disposition des étudiants :

Notes de cours, énoncés et corrigés de TP, Questionnaires moodle, ouvrages et articles scientifiques.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité :

- Modéliser un problème de mécanique.
- Discrétiser une équation différentielle en espace à l'aide de différences finies en 1D et 2D (complémentaire aux cours de mathématiques et méthodes numériques ME008 et ME009).
- Analyser un schéma temporel (stabilité, convergence, précision ...).
- Discrétiser un système d'équations différentielles en temps.
- Évaluer la qualité d'une approximation numérique au moyen d'un ou de plusieurs critères d'erreurs.
- Évaluer finalement la qualité du processus de simulation au moyen de comparaisons avec des résultats d'expériences.

Compétences développées dans l'unité :

- Compétences techniques :
 - Maîtriser les bases d'un langage de programmation (Python / Matlab / autre).
 - Réaliser des figures et animations de qualité pour rendre compte des résultats numériques.
- Compétences humaines :
 - Synthétiser clairement la démarche développée et les résultats obtenus dans un rapport.
 - Communiquer d'une présentation orale.
 - Développer son autonomie

Volumes horaires présentiel et hors présentiel :

Heures présentiels totales : 44 h.

Évaluation :

L'évaluation globale se fait sur la base de rendus intermédiaires (du type TP, comptant pour 30%), d'un rapport final (40%) et d'une soutenance orale (30%).

Responsable : jean-francois.krawczynski@sorbonne-universite.fr