

Master MEGA

Programme des Cours de 2ème année

Tronc commun du Master MEGA

Mécanique et thermodynamique des milieux continus

F. SIDOROFF, M. BRUNET, A. DANESCU

Objectifs : Synthèse unitaire de la mécanique des solides et des fluides. Cette synthèse s'appuie sur la mécanique des grandes transformations et sur la thermodynamique des phénomènes irréversibles. D'un point de vue pratique, on établit ainsi les bases indispensables à l'étude des fluides non-newtoniens (Génie des Procédés), des solides hyperélastiques (Caoutchouc, Polymères) et élastoplastiques (Mise en Forme).

Sommaire :

- A. Introduction : Euler et Lagrange. Mécanique des Milieux Continus classique. Contraintes et Déformations.
- B. Elasticité : Loi élastique, objectivité, incompressibilité.
Symétries matérielles : solides isotropes et anisotropes, fluides.
Aspects thermodynamiques. Hyperélasticité, exemples, inégalités constitutives.
Problèmes aux limites et aspects numériques.
- C. Fluides simples
Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles. Modèle de Kelvin. Fluide visqueux newtonien : fluide plastique et viscoplastique. Bingham et Norton-Hoff
Modèles différentiels : Fluide de Rivlin-Ericksen. Fluides d'Oldroyd. Fluide de Maxwell-Jauman.
Fluides simples. Fonctions viscométriques, écoulements viscométriques. Lois intégrales.
Fluides de Maxwell.

Traitement de données : de l'acquisition des signaux et images jusqu'à leur interprétation

D. VRAY, C. CACHARD

Objectifs : Proposer une démarche et des outils pour l'acquisition, le traitement et l'exploitation des signaux et des images issus des différents domaines d'applications

Sommaire :

Notions de base
Introduction. Représentation mathématique des signaux et des images. Représentation mathématique des systèmes
Traitement du signal : Capturer, mesurer, représenter, modéliser, analyser, filtrer, décider, contrôler
Les signaux. Représentation des signaux. Signaux de base : sinusoïdes, dirac, rectangle, sinus cardinal,... Notions sur le bruit.
Les systèmes. Représentation des systèmes. Propriétés des systèmes. Equation de convolution.
Transformée de Fourier. Définition, propriétés. Transformée de Fourier des signaux discrets. Transformée de Fourier discrète.
Transformée de Fourier rapide (FFT). Représentation temps-fréquence.
Echantillonnage et recouvrement spectral. Conversion analogique-numérique. Théorème d'échantillonnage. Conversion numérique-analogique.
Notions avancées
Filtrage. Filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF). Filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII). Caractérisation fréquentielle des filtres. Usage des fenêtres de pondération. Filtrage optimal, déconvolution.
Représentation temps-fréquence. Transformation de Hilbert et signal analytique. Amplitude et fréquence instantanée.
Applications : mécanique, biologie.
Elastographie : mesure des propriétés d'élasticité par traitement des signaux ultrasonores. Principe. Estimation des déplacements par inter-corrélation. Estimation des déformations. Comparaison et évaluation des méthodes. Applications : imagerie médicale.

Mécanique physique

D. MAZUYER, F. PLAZA, J. SCOTT

Objectifs : L'objectif du cours est de présenter diverses théories physiques actuellement utilisées de manière relativement universelle dans les différentes branches de la mécanique : mécanique des fluides, matériaux, systèmes dynamiques. Sans viser une présentation complète de chaque domaine, le cours s'attachera, en partant d'exemples représentatifs, à sensibiliser les élèves à ces approches unitaires ainsi qu'à introduire leur vocabulaire et leurs principaux concepts.

Sommaire :

- A. Echelles microscopiques et changements d'échelles
Diversité des échelles microscopiques d'espace et de temps.
Echelle microscopique continue : homogénéisation, bornes.
Echelle microscopique discrète : dynamique moléculaire, contraintes macroscopiques.
- B. Modèles stochastiques
Marches aléatoires. Mouvement brownien.
Application aux phénomènes diffusifs. Equations de Focker-Planck.
Application aux polymères : rayon de giration.
- C. Phénomènes critiques
Percolation : l'exemple de la conduction. Seuil de percolation et exposants caractéristiques. Applications : agrégation, milieux poreux, gels, polymérisation.
Master MEGA - Annexes 41
Phénomènes critiques : transition du premier et second ordre. Diagramme de phases. Transition ordre-désordre.
- D. Fractales et chaos
Géométrie fractale. Fractales déterministes et fractales aléatoires. Dimension fractale : définitions et mesure.
Applications : turbulence et rugosité.
Chaos déterministe : systèmes dynamiques : comportement asymptotique. Attracteur et bassins d'attractions. Régimes réguliers et chaotiques. Sections de Poincaré, exposants de Liapounoff. Exemples : mélange, systèmes mécaniques.

Systémique et modélisation des systèmes

M. MIRAMOND

Objectifs : Dans les domaines du Génie (mécanique, civil, énergétique, etc...), la modélisation des systèmes techniques - à concevoir, à fabriquer, à exploiter, etc.- renvoie à la problématique de la complexité : difficulté voire impossibilité d'aborder les problèmes par fragmentation, nécessité de construire des modèles adaptés au niveau de définition des objets (conception), nécessité de faire appel simultanément à des disciplines différentes du fait du caractère hétérogène ou multidimensionnel des relations constitutives de l'ensemble étudié, etc....

Cette question de la modélisation des systèmes est abordée en deux temps :

- * présentation de modèles généraux issus de la théorie des systèmes et des sciences et techniques de la conception,
- * définition de méthodes d'évaluation multiniveaux de comportement de systèmes (mécaniques, thermiques, bâtiments, réseaux,...) et des techniques associées en fonction du niveau de description des systèmes.

Sommaire :

- 1 : Méthodologie
 - * Eléments de la théorie des systèmes (notion d'approche systématique, structure/fonctionnement/évolution des systèmes, etc...)
 - * Typologies des modèles (niveaux de modélisation de la complexité, modèles cognitifs/prévisionnels/décisionnels,...)
 - * Modélisation des processus de conception et de décision (le modèle S.T.I. et les techniques associées, représentation par niveaux, modélisation multi-techniques, analyse multicritère).
- 2 : Evaluation multiniveaux de comportement
 - * Conception et assemblage de modèles
 - * Définition d'éléments, notion de taille et de niveau de description
 - * Méthodes de réseau maillé (méthode nodale, éléments finis, sous et sur-structuration-
 - * Application et mise en oeuvre sur des cas représentatifs des problématiques dans différents champs : mécanique, bâtiment et thermique, réseaux urbains

Instabilités et couplage

A.COMBESURE, H.BENHADID

Objectif: Introduire les concepts de base permettant de prévoir les instabilités et de calculer la réponse de systèmes couplés fluide-structure ainsi que leur instabilités statiques et dynamique.

Sommaire :

Introduction – Instabilités en statique et dynamique

Flambage et striction : Théorie linéaire , non linéaire élastique, non linéaire élastoplastique - Grandes déformations (instabilités en striction) – Dynamique - Effet des imperfections - Exemples industriels en statique - Flambage dynamique

Couplage fluide structure : Fluide au repos (acoustique, masse ajoutée, fluide visqueux) - Fluide en mouvement permanent ou transitoire

Instabilités couplées fluide structure : Instabilités statiques – Instabilités dynamiques

Spécialité Mécanique des Fluides

Tronc Commun de Spécialité

Les mécanismes de la dynamique des fluides

J. SCOTT, J.N. GENCE

Objectifs : Donner une vision de synthèse de la dynamique des fluides et l'illustrer par l'exemple. Le cours s'adresse à des étudiants ayant déjà étudié la mécanique des fluides et qui souhaitent revoir la discipline dans sa globalité.

Sommaire :

1. Mécanismes de base intervenant dans l'évolution d'un fluide dans l'espace et dans le temps. Rappels sur la traduction locale des principes de la physique macroscopique et sur les conditions limites associées. Comparaison de leur ordres de grandeur et nombres sans dimension.
2. Les écoulements à grand nombre de REYNOLDS pour lesquels la masse volumique peut être considérée comme constante.
Les approximations de la couche limite laminaire. Le modèle de fluide parfait incompressible et irrotationnel.
3. Les effets de gravité et le nombre de FROUDE. Les ondes de surface : Effets linéaires de dispersion, effets non linéaires de formation d'un front, le concept de soliton et l'équation de Korteweg et De Vries.
4. Les effets de compressibilité et le nombre de MACH. Les approximations du modèle isentropique. Idées de base sur la propagation du son. La formation des ondes de choc, les limites du modèle isentropique.
Le chapitre suivant est conçu comme un chapitre "tournant" changeant en fonction des connaissances de l'auditoire, et sera constitué de l'un des thèmes suivants, dont la liste n'est pas exhaustive :
 - La dynamique du tourbillon : diffusion visqueuse, étirement, effets de masse volumique.
Master MEGA - Annexes 42
 - Analyse des mécanismes conduisant certains écoulements à devenir instables (la physique du problème sera privilégiée devant le formalisme équationnel).
 - L'approximation de BOUSSINESQ et les effets convectifs.
 - Introduction à la turbulence des écoulements.

Aspects microscopiques de la mécanique des fluides

J. BATAILLE, F. PLAZA

Objectifs : Ce cours a pour but de donner aux étudiants une vision plus fondamentale des objets de la Mécanique des fluides, à la fois en élucidant l'origine microscopique des concepts de base (milieu continu, viscosité, conductivité, ...) et en pointant le rôle permanent de la Thermodynamique dans les écoulements. Pour ce faire, une partie importante du cours consistera à introduire, ou à rappeler, des éléments de physique statistique et de thermodynamique des phénomènes irréversibles.

Sommaire :

1. Rappels élémentaire de physique statistique de l'équilibre. Notions d'ensemble statistique, entropie, température – Ensemble canonique, énergie libre, ensemble T-P, potentiel thermodynamique. Gaz parfait classique - Forces de van der Waals, approximation de champ moyen, équation de van der Waals - Transition liquide-gaz. Phénoménologie, interprétation microscopique.
2. Origine microscopique des propriétés macroscopiques des liquides et des gaz. Equilibre local, définition de grandeurs macroscopiques - Viscosité des gaz et des liquides, adhérence aux parois, diffusion moléculaire.
3. Théorie cinétique des gaz. Equation de Boltzmann. Développement de Chapman-Enskog, équation de Navier-Stokes.
4. Introduction à la thermodynamique des phénomènes irréversibles. Etat local, production d'entropie - Relations flux-forces, relations d'Onsager.
5. Eléments de dynamique des gaz raréfiés. Régimes d'écoulement, couche de Knudsen - Adhérence et saut de température aux parois.

Méthodes numériques avancées

H. BENHADID, M. BUFFAT, D. JEANDEL

Objectifs : Approfondir les notions de base (stabilité et consistance) des méthodes numériques, introduire deux méthodes numériques fréquemment utilisées en mécanique des fluides : méthode des volumes finis et méthodes spectrales.

Remarque : L'obtention de l'une des deux parties (A ou B), est suffisante pour valider cette UE.

Sommaire :

Partie A : Méthodes des volumes finis

1. Introduction : Méthodes des volumes finis pour les problèmes de diffusion (1D, 2D et 3D) - Méthodes des volumes finis pour les problèmes de convection-diffusion - Bases théoriques et application des schémas : centré, décentré, hybride, de puissance, QUICK - Propriétés des schémas de discrétisation : Conservation de flux, Valeurs bornées, Transport
2. Résolution des problèmes couplés : vitesse-pression - Principe de la résolution sur un maillage décalé - Obtention et résolution de l'équation de la pression : Etude des schémas SIMPLER, SIMPLEC, PISO - Traitement des conditions aux limites : cas des frontières curvilignes - Algorithmes de projection
3. Applications - Problème de Stokes - Résolution de l'équation de Navier-Stokes et traitement des non-linéarités.

Partie B : Introduction aux méthodes spectrales

1. Introduction - Polynômes orthogonaux - Choix de la base de projection.
2. Introduction aux méthodes spectrales. Méthodes spectrales : Galerkin, Taux. Méthodes pseudo-spectrales : collocation, taux - Applications à la résolution d'équations linéaires : polynômes de Chebyshev, Legendre, Laguerre - Relations de récurrence - Traitement des termes non-linéaire - Application à la résolution d'une équation de Helmholtz (1D, 2D) - Problèmes dépendants du temps - Précision, convergence.
3. Le problème des erreurs de repliement : "aliasing". Désaliasing "grossier", désaliasing "fin".
4. Algorithme de transformation rapide.
5. Méthodes spectrales variationnelles. Application à la résolution d'une équation de Helmholtz - Application à la résolution d'un problème de Stokes.

Méthodes expérimentales en mécanique des fluides

F. LAADHARI, J-Y. CHAMPAGNE, S. SIMOENS

Objectifs : Présenter aux étudiants les grandes classes de méthodes expérimentales rencontrées en mécanique des fluides et approfondir les techniques de traitement de données qui leurs sont associées.

Sommaire :

Anémométrie à fils et films chauds, anémométrie laser-Dopler. Analyses statistiques et conditionnelles des signaux provenant des mesures dans les écoulements.

Méthodes optiques générales et analyse d'images : suivi de particules (Particles Image Velocimetry), fluorescence induite par laser pour la mesure de champs de concentration (Laser Induced Fluorescence).

Profil Stabilité, Turbulence, Mélange et Chaos

Introduction à la stabilité des écoulements

J. SCOTT, D. HENRY, F. RAYNAL

Objectifs : En variant les paramètres d'un écoulement (par exemple, le nombre de Reynolds), des changements radicaux de régime sont observés : stationnaire, périodique, laminaire, turbulent, etc.. Ces changements sont la conséquence d'instabilités (amplification spontanée de petites perturbations) qui apparaissent une fois qu'un certain seuil est traversé dans l'espace des paramètres. Le but de ce cours est de développer la théorie de ces instabilités et son interprétation physique.

Les principales questions adressées sont :

Quand est-ce qu'un écoulement donné devient instable ? C'est-à-dire, comment déterminer le seuil d'instabilité ?

Que devient un écoulement face à l'instabilité ?

Sommaire :

Introduction. Exemples d'instabilités hydrodynamiques. Notions de base : amplification de perturbations, seuils d'instabilité local et global. Analogie simple d'un pendule tournant. Formulation des équations d'évolution de la perturbation.

Théorie linéaire. Ecoulements plan parallèles et forme modale associée. Equation d'Orr-Sommerfeld. Problème de valeurs propres. Résultats et interprétation : écoulement en canal, couche limite sur plaque plane, jet, zone de cisaillement.

Théorème de Squire. Symétries et formes modales.

Théorie faiblement non linéaire. Limitations de la théorie linéaire. Développement asymptotique au voisinage d'un seuil linéaire à faible amplitude. Conditions de solvabilité et équation d'amplitude : l'équation de Landau. Conséquences : bifurcations, instabilités explosives et continues. Exemples.

Théorie énergétique. Conditions suffisantes pour la stabilité globale. Maximisation de la production de l'énergie de perturbation.

Problème énergétique de valeurs propres. Exemples.

Théorie non visqueuse. Equation de Rayleigh. Critères classiques d'instabilité non visqueuse. Ecoulements de profils monotones et linéaires par morceaux. Exemples de calculs analytiques.

Méthodes avancées d'analyse

P. CARRIERE, D. HENRY, L. LE PENVEN, F. RAYNAL

Objectifs : Cette U. E. propose un approfondissement des problèmes de stabilité par la présentation de formalismes et de techniques appropriés à l'étude de ces problèmes. Plusieurs modules, construits sur une base de 8 heures de cours chacun, sont présentés dans la suite. Chaque année, trois d'entre eux seront choisis pour constituer l'UE, avec une rotation envisagée au bout de deux ans.

Sommaire :

Thème 1 : Formalisme d'enveloppe (Equations de type Ginzburg-Landau)

Extension de l'analyse par méthode multi-échelles - vue dans le cours "Introduction à la stabilité des écoulements"- aux écoulements à structure lentement variable en espace. Extension de l'analyse multi-échelles aux directions spatiales. Dérivation d'une équation de Ginzburg-Landau à partir d'une équation modèle. Analyse des solutions à enroulement de phase et instabilité d'Eckhaus. Analyse des effets de (faible) confinement sur les seuils critiques. Dérivation d'une équation de Ginzburg-Landau dans le cadre des écoulements plan-parallèles.

Thème 2 : Nature convective ou absolue des instabilités ; Modes globaux d'instabilités

Ce module est un complément du cours "Introduction à la stabilité des écoulements" qui met en lumière les différences de nature convective (croissance spatiale) ou absolue (croissance temporelle locale) des instabilités et les conséquences sur leur dynamique.

Introduction heuristique et exemples. Etude de la réponse impulsionnelle pour une équation de Ginzburg-Landau : transformations de Fourier, relation de dispersion. Méthode de Briggs : transformations de Fourier inverse, condition de causalité, prolongement dans le plan complexe, déformation de contours d'intégration. Détermination asymptotique de la fonction de Green : méthode de "steepest descent", pointes de la relation de dispersion, détermination du critère de Briggs, limites de la démarche. Illustration du rôle de la nature de l'instabilité et introduction à la notion de mode global sur l'équation de Ginzburg-Landau dans un cas particulier.

Thème 3 : Instabilité paramétrique

Ce module présente plus particulièrement les instabilités des systèmes à coefficients périodiques. L'étude théorique est illustrée par deux exemples en mécanique des fluides : l'un concerne une des instabilités de tourbillons, l'autre est une instabilité d'un écoulement à surface libre.

Rappel sur les systèmes différentiels linéaires à coefficients périodiques : théorie de Floquet. Exemple : excitation paramétrique du pendule pesant ; régime linéaire et faiblement non linéaire. Excitation paramétrique d'ondes dans les fluides : Instabilité elliptique, instabilité de Faraday.

Thème 4 : Méthodes numériques pour l'étude des phénomènes non-linéaires

Présentation des méthodes numériques appropriées à l'étude de la dynamique des situations d'instabilités : suivi des branches de solutions, étude de leur stabilité, détermination des points de bifurcation. Méthodes de continuation (en fonction d'un paramètre, pseudo-arc length), méthodes de branchement. Méthodes de calcul des valeurs propres des grands systèmes (puissances itérées, Arnoldi). Méthodes de calcul direct des points de bifurcation : Bifurcation stationnaire, bifurcation oscillatoire (Hopf).

Sélection de problèmes en hydrodynamique

C. CAMBON, F. GODEFERD, M. HAMADICHE, D. HENRY

Objectifs : Cette U. E. propose un approfondissement des problèmes de stabilité par la présentation de diverses situations dans le domaine de la mécanique des fluides. Plusieurs modules, construits sur une base de 8 heures de cours chacun, sont présentés dans la suite. Chaque année, trois d'entre eux seront choisis pour constituer l'U. E. avec une rotation envisagée au bout de deux ans.

Sommaire :

Thème 1 : Convection de Rayleigh-Bénard

Présentation des instabilités en situation de thermoconvection, la convection de Rayleigh-Bénard : illustration sur ce cas des différentes techniques vues dans le cours "Introduction à la stabilité des écoulements", présentation de résultats en situations confinées.

Position du problème de Rayleigh-Bénard. Discussion des hypothèses de Boussinesq. Analyse linéaire : détermination du nombre de Rayleigh critique. Analyse par la méthode énergétique : équivalence avec les résultats de l'analyse linéaire et conséquences. Analyse faiblement non linéaire : étude des équations d'amplitude et prédiction des structures surcritiques. Résultats en situations confinées avec influence importante des symétries.

Thème 2 : Instabilités dans les tourbillons

Contribution à l'étude de stabilité d'écoulement à lignes de courant fermées. Impact de la rotation en bloc sur les instabilités tridimensionnelles. Introduction et discussion de techniques particulières d'analyse, allant de la "particule déplacée" aux méthodes de suivi de perturbations à "onde courte".

Introduction, exemples et illustrations : instabilité centrifuge, elliptique, instabilités coopératives (Widnal, Crow). Ondes d'inertie et ondes de Kelvin. Résonances et instabilités paramétriques. "Distorsion rapide" et analyse WKB des perturbations à onde courte. Analyse de Floquet (temporelle) en suivant des trajectoires fermées. Quelques problèmes actuels sur les écoulements tourbillonnaires et les jets tournants.

Thème 3 : Instabilités sous-critiques en écoulement cisailé

On étudie la stabilité des écoulements cisailés tels que la couche limite de Blasius, l'écoulement de Couette et de Poiseuille, du point de vue de la croissance algébrique des perturbations à amplitude non infinitésimale, à la différence de la classique croissance exponentielle.

Introduction, contexte physique, applications - Modes primaires à croissance algébrique et instabilité secondaire - Seuils de stabilité marginale sous-critique - Application détaillée à la couche limite de Blasius.

Thème 4 : Instabilités absolues et convectives dues à l'interaction fluide/structure

On s'intéresse dans ce cours aux instabilités rencontrées en aéroélasticité et dans les applications biomédicales. On étudie en particulier les écoulements extérieurs au voisinage d'une paroi non rigide et les écoulements dans les conduites de section circulaire déformable.

Notion de stabilité absolue et convective. Classification des instabilités dues à l'interaction fluide/structure et ceci en aéroélasticité et dans les applications biomédicales. Etudes linéaires et méthodes de recherche des valeurs propres. Aperçu sur les méthodes non linéaires appliquées à l'interaction fluide/structure. Contrôle des instabilités des écoulements par des parois non rigides afin de réduire le frottement.

Bases physiques de la turbulence

F. LAADHARI, C. BAILLY

Objectifs : Introduction à la description des écoulements turbulents en mécanique des fluides et aux concepts physiques qui sous-tendent souvent la modélisation.

Sommaire :

Caractérisation et définition des écoulements turbulents à partir de l'observation. Exemples, conséquences pratiques, propriétés physiques essentielles.

Description statistique des écoulements turbulents et concepts de base associés. Equations de Reynolds. Interprétation des contraintes de Reynolds : le problème de fermeture. Bilan d'énergie cinétique. Discussion d'exemples académiques et appliqués.

Turbulence homogène et isotrope : la turbulence de grille décroissante, résultats expérimentaux.

Phénoménologie tourbillonnaire associée aux transferts énergétiques.

Estimation des échelles de l'écoulement turbulent.

Introduction à la modélisation de la turbulence dans les écoulements cisailés libres et de paroi.

Modèles de diffusivité turbulente.

Un exemple de méthode prédictive des écoulements turbulents : le modèle K, ϵ .

Modélisation de la turbulence

C. CAMBON, J.P. BERTOGLIO, F. LAADHARI

Objectifs : Familiariser les étudiants avec les grands principes qui sous-tendent l'approche de modélisation des écoulements turbulents et illustrer cette démarche en présentant les modèles les plus classiques. L'objectif est de permettre la compréhension des modèles qui existent dans les codes de calculs d'écoulements turbulents ainsi que de donner des éléments permettant l'analyse des résultats et l'évaluation des performances des différents modèles. Une partie du cours porte sur des modèles très classiques (modèles statistiques en un point), tandis qu'une autre apporte des éléments sur des approches plus riches (modèles statistiques en deux points) ou plus modernes (technique de Simulation des Grandes Echelles et modélisation de sous-maille).

Sommaire :

1. Généralités sur les écoulements turbulents. Il s'agit ici essentiellement d'une introduction et de rappels d'éléments vus en cours de turbulence : transition, quelques propriétés des écoulements turbulents, décomposition de Reynolds, propriétés de l'opérateur moyenne statistique, écriture des équations moyennées, problème de fermeture, décomposition par filtrage grandes et petites échelles, problème de la modélisation de sous-maille. Présentation d'un certain nombre d'écoulements de références permettant de valider les modèles.
2. Modélisation statistique en un point. Equations en un point, classification et signification physique des termes inconnus. Enoncé des grands principes de modélisation, notion de fonctions tensorielles isotropes et théorèmes de représentation. Hypothèses de type Quasi-Normale. Application à la modélisation des termes inconnus de l'équation des tensions de Reynolds. Exemples d'application des modèles. Modèle k-epsilon.
3. Modélisation spectrale et corrélations en deux points. Justification physique de la description statistique plus complexe : caractère non-local de la pression fluctuante, interactions multi-échelles. Présentation du problème modèle de turbulence homogène anisotrope (THA) avec gradients moyens uniformes (cf. aussi I). Rappels sur les séries et transformées de Fourier. Analyse détaillée de la réponse linéaire de la turbulence en présence d'écoulements moyens typiques, applications à la modélisation statistique et à l'analyse de stabilité. Retour sur les tenseurs de corrélations de vitesse et vitesse-pression en un point. Equations de Karman-Howarth, Lin et Craya, fermeture quasi-normale (EDQNM) en THI. Quelques exemples d'applicabilité des théories linéaires et non-linéaires à des écoulements plus complexes, et SGE (ci-dessous).
4. Simulation des Grandes Echelles et modélisation de sous-maille. Notions de simulation numérique directe. Exemples d'application. Notions de Simulation des Grandes Echelles, filtrage, modélisation de sous-maille, viscosité turbulente, apports de l'approche spectrale, notion d'approche dynamique, etc...

Mélanges Fluides

F. RAYNAL, P. CARRIERE, F. PLAZA.

Objectifs : Après une introduction aux principes de base pour l'analyse du problème du mélange au sein d'un fluide, donner les éléments essentiels pour la compréhension des mécanismes physiques intervenant dans le mélange laminaire, en particulier le mélange chaotique, et dans le mélange turbulent.

Remarque : ce cours comporte, dans sa troisième partie une brève introduction aux notions essentielles pour l'analyse des écoulements turbulents.

Sommaire :

1. Introduction. Notions et caractérisation de fluides multi-espèces réactantes. Principales lois de conservation. Fluides binaires et loi de diffusion de Fick. Extension des lois de diffusion aux fluides multi-espèces. Réduction à l'équation d'advection-diffusion d'un scalaire passif dans le cas de milieux dilués. Analyse globale de l'équation d'advection-diffusion. Exemples sur des écoulements simples.
2. Mélange laminaire par chaos. Intérêt du mélange chaotique. Notions essentielles en théorie des systèmes dynamiques : applications de Poincaré points hyperboliques, variétés stables et instables. Ecoulements plans périodiques en temps : recoupement des variétés stables et instables, dynamique des lobes, transport. Quelques exemples d'écoulements tridimensionnels : écoulements ABC, mélangeur en lignes type Kenics. Effets de la diffusion moléculaire.
3. Mélange turbulent. Rappels sur la turbulence : approche statistique, grandeurs dynamiques pertinentes. Equations moyennées du scalaire, approche spectrale, bilan du scalaire entre échelles. Modèle de cascade : Théorie d'Oboukhov-Corrsin, échelle diffusive, échelle de Batchelor, régime de Batchelor ; résultats expérimentaux. Problèmes actuels : intermittence du scalaire, rôle de l'injection, caractérisation de la cascade du scalaire (modèle multifractal, cascade infiniment divisible, ...), convection de Rayleigh-Bénard turbulente.

Profil Ecoulements complexes et Environnement

Dynamique fluides complexes et modélisations particulières

J. L. BARRAT

Objectifs : Donner une compréhension microscopique du comportement rhéologique de fluides complexes, en fonction de leurs constituants moléculaires. Donner des notions sur les méthodes de modélisation d'écoulement basées sur des approches particulières, qui sont particulièrement utiles pour la modélisation de fluides complexes, dans la mesure où leur comportement macroscopique est directement lié aux changements de structure microscopique.

Pré-requis : connaissances de base en hydrodynamique, sur les processus stochastiques (mouvement brownien), en thermodynamique (transitions de phase et facteur de Boltzmann), et en capillarité (tension de surface).

Sommaire :

1. L'exemple des polymères. Définition des principales grandeurs rhéologiques. Comportement viscoélastique et non newtonien, contraintes normales. Les modèles moléculaires pour la dynamique des polymères : solutions diluées et concentrées, modèles de Rouse, Zimm et reptation et les propriétés rhéologiques qui en découlent. Méthodes expérimentales pour étudier la dynamique : rhéologie, mais aussi complément sur les méthodes de type diffusion de lumière dynamique.
2. D'autres exemples de fluides complexes. Suspensions de sphères dures (rôle du Peclet, viscosité, thixotropie). Systèmes diphasiques et émulsions : éléments de thermodynamique, Description semi-continue (type Landau-Ginzburg couplée à hydrodynamique). Rôle des surfactants. Fluides charges, phénomènes électrovisqueux. Séminaires et/ou travail bibliographique sur d'autres exemples : ferrofluides, argiles, cristaux liquides, écoulements granulaires.
3. Méthodes de modélisation particulières. Idées générales, comment choisir la description en fonction du problème, comment paramétrer, problèmes d'échelles de temps et de longueur et 'coarse graining'. Méthodes continues : dynamique moléculaire et 'DPD' (dissipative particle dynamics). Méthodes sur réseau : LB ('lattice Boltzmann') ; couplage avec méthodes continues.

Hydraulique fluviale

R. PERKINS, N. RIVIERE

Objectifs : Depuis des siècles, les fleuves et les rivières ont été exploités de plusieurs manières (par exemple, pour fournir de l'eau dans un but domestique ou d'irrigation, pour le transport, pour la génération d'électricité) et encore aujourd'hui les inondations d'un fleuve important peuvent avoir des effets dévastateurs en son voisinage. Le but de ce cours est de fournir aux étudiants une compréhension complète des processus fondamentaux en ingénierie hydraulique, à travers le développement de modèles appropriés mais simples.

Sommaire :

1. Introduction. Cycle de l'eau --Les systèmes fluviaux --Les problèmes fluviaux actuels.
2. Les écoulements uniformes dans les canaux découverts. Résistance à l'écoulement : l'écoulement uniforme et la profondeur normale --La propagation d'une onde de gravité : la profondeur critique - La charge spécifique et la force spécifique - Le ressaut --Les écoulements graduellement variés : les régimes et les formes de la surface de l'eau.
3. Les écoulements non-permanents dans les canaux découverts. Les variations lentes : l'équation de mouvement --La méthode des caractéristiques - La rupture d'un barrage- La propagation des ondes de crue.
4. Les ouvrages hydrauliques. Les vannes - Les seuils - Les déversoirs - Les transitions dans les canaux.
5. Le transport des sédiments. Le mouvement des particules solides - Les rides, dunes et antidunes - Le seuil d'érosion -- Le transport par le lit, la mise en suspension des sédiments - Le transport des sédiments en suspension.
6. Les techniques de modélisation et de mesure. Le principe de similitude - Les modèles aux fonds immobiles - Les modèles aux fonds mobiles - La modélisation des phénomènes instationnaires.

Dynamique de l'atmosphère et de l'océan

R. PERKINS

Objectifs : Il existe un échange continu d'énergie cinétique, de chaleur, de quantité de mouvement et de matière entre les océans et l'atmosphère, et ces deux systèmes sont notamment actionnés par les radiations solaires. Leurs dynamiques sont ainsi étroitement couplées. Le but de ce cours est de fournir une compréhension physique des circulations atmosphériques et océaniques à grande échelle, et les conséquences pratiques de tels systèmes.

Sommaire :

1. Introduction. La composition et les propriétés physico-chimiques de l'atmosphère et des océans - Le rayonnement solaire - La stratification et la stabilité.
2. L'eau dans l'atmosphère. L'atmosphère humide - Stabilité dans une atmosphère humide - La physique des nuages.
3. Les ondes dans un système non-rotatif. Les ondes de surface - L'équation des ondes en eau peu profonde - Les marées.
4. Les ondes dans un fluide stratifié. Les ondes sur l'interface entre deux fluides de masse volumique différente - Le mode baroclinique - Les ondes dans un fluide à stratification continue - Les ondes internes.
5. Les effets de rotation. L'équation de mouvement dans un système en rotation - Le problème d'ajustement vers l'équilibre, problème dit de Rossby - L'équilibre géostrophique - Le vent thermique - Circulation, vorticité et vorticité potentielle.
6. Les mouvements forcés. Le transport d'Ekman - Le pompage d'Ekman - La couche d'Ekman - Le jet nocturne.
7. Mouvements à grande échelle dans l'atmosphère et l'océan. La circulation générale dans l'atmosphère. La circulation générale dans l'océan.

Couche limite atmosphérique

R. PERKINS, C. CAMBON

Objectifs : La couche limite atmosphérique est le lieu de nombreux processus physiques qui déterminent par exemple le temps, les efforts induits sur les bâtiments et les ponts ou la qualité de l'air que nous respirons. L'objectif de ce cours est d'expliquer les différents processus, les interactions entre eux, et l'interaction entre l'atmosphère et la surface de la terre. C'est également d'exposer les différentes approches de modélisation disponibles actuellement.

Sommaire :

1. Introduction. La structure de la couche limite - L'équilibre d'énergie à la surface de la terre.
2. La couche limite neutre. Les profils de vitesse - Les caractéristiques aérodynamiques de la surface de la terre - Le flux de chaleur - Le flux d'humidité - La couche limite interne.
3. Les effets thermiques dans la couche limite.-La structure thermique de la couche limite - La stabilité de la couche limite -- La couche limite convective - La couche limite stable - L'influence du relief.
4. La dispersion atmosphérique. La dispersion turbulente - La modélisation Eulérienne - L'approche Lagrangienne - L'influence de la stabilité de l'atmosphère - Les différents types de rejet.

5. L'environnement atmosphérique. La composition chimique de l'atmosphère - Les réactions chimiques principales - Les forces éoliennes sur les structures - Le transport des sédiments par le vent.
6. Les techniques de mesure et de modélisation. Mesures de pression, température, humidité, concentrations et vitesses. La soufflerie atmosphérique. Le canal stratifié. Les modèles numériques 3D. Les modèles "opérationnels".

Écoulements polyphasiques et interfaces

M. LANCE, J. BATAILLE

Objectifs : Décrire les phénomènes physiques intervenant dans les écoulements diphasiques fluides-fluides et fluides-solide, d'une part à l'échelle des interfaces, et d'autre part, à l'échelle macroscopique de milieux homogènes équivalents.

Sommaire :

Description générale des différents régimes d'écoulement.

Dynamique des inclusions : bulles, gouttes et particules solides.

Equations de bilan moyennées. Formalismes de moyenne et modèle à deux fluides.

Modélisation des transferts interfaciaux.

Instabilités dans les écoulements diphasiques.

Cycle de l'eau et risque d'inondation

M. LANG, P. BREIL, E. LEBLOIS

Objectifs : Posséder les notions de base permettant de comprendre et caractériser le fonctionnement hydrologique des bassins versants et de maîtriser les techniques aujourd'hui utilisées pour se prémunir du risque d'inondation.

Sommaire :

A. Présentation générale du cycle hydrologique

1. Cycle hydrologique d'un bassin versant.
Les différentes composantes : atmosphère, ruissellement, stockage ; Le bassin versant et ses variables caractéristiques ; Métrologie du cycle de l'eau.
2. Régime hydrologique des cours d'eau.
Débit moyen ; Etiage ; Crue.
3. Modélisation des processus d'écoulement.
Les différents processus : Horton, surface saturée ; Les différents modèles pluie-débit.

B. Analyse fréquentielle

4. Analyse et critique des données.
Les différentes erreurs sur les données ; Tests statistiques ; Mise en cohérence et comblement des données.
5. Analyse locale des probabilités.
Echantillonnage ; Choix d'une loi de probabilité et d'une méthode d'estimation des paramètres ; Calcul des valeurs de débits et d'hydrogrammes de référence.
6. Estimation probabiliste des événements de crue extrême.
Modèle probabiliste simplifié : Gradex et Agregée ; Approche par simulateur événementiel et modèle pluie-débit : GRShypre ; Utilisation de l'information historique : méthodologie générale et différents exemples d'application.
7. Estimation régionale du régime hydrologique.
Estimation sur un site non jaugé : méthodes sommaires, courbes QdF ; Méthodes de cartographie.

C. Gestion du risque d'inondation

8. Annonce et prévision des crues.
Organisation des services d'annonce des crues ; Modèles de prévision des crues.
9. Prévention du risque d'inondation.
Problématique du risque : aléa / vulnérabilité ; Les différentes mesures de protection et leurs effets ; La méthode Inondabilité.
10. Influences humaines sur le risque d'inondation.
Effets de l'aménagement du territoire ; Effets des ouvrages de protection et de rétention ; Détection de tendances sur les séries observées.