

# INGÉNIEUR ENSEEIHT MÉCANIQUE ET GÉNIE HYDRAULIQUE

## RÉSUMÉ DE LA FORMATION

**Type de diplôme :** Diplôme d'ingénieur

**Domaine ministériel :** Sciences, Ingénierie et Technologies

## PLUS D'INFOS

**Crédits ECTS :** 180

**Niveau d'étude :** BAC +5

**Public concerné**

\* Formation initiale

**Nature de la formation :** Diplôme

## Présentation

Le cycle ingénieur comporte un total de 6 semestres : 5 semestres de cours, travaux dirigés, travaux pratiques et projets dans les différentes matières ; 1 semestre de Projet de Fin d'Etudes (PFE) réalisé en relation avec le milieu industriel (dernier semestre du cycle ingénieur). Durant les semestres académiques, la formation est structurée en Unités d'Enseignement (UE) auxquelles sont associés des crédits ECTS. La validation d'une année est conditionnée par l'obtention de 60 crédits ECTS.

Au cours du cycle ingénieur les étudiants doivent effectuer :

-un stage d'une durée de 6 semaines au moins à la fin de la première année (juin, juillet, août) ;

-un stage d'une durée de 8 semaines au moins à la fin de la deuxième année (juin, juillet, août) ;

-un Projet de Fin d'Etudes : ce projet se déroule sur une période de 20 semaines au moins au cours du deuxième semestre de la dernière année du cycle ingénieur. Proposé par le milieu industriel et/ou de la recherche, il est encadré par les industriels et/ou les chercheurs concernés et suivi par les enseignants de l'ENSEEIHT.

Pour l'obtention du diplôme, les étudiants devront :

-obtenir 300 crédits ECTS ;

-justifier un niveau d'anglais certifié équivalent au niveau européen B2 ;

-avoir effectué un séjour à l'étranger d'une durée d'au moins 16 semaines soit sous la forme d'un ou plusieurs stages, soit sous la forme d'un séjour d'études dans une université partenaire.

L'obtention d'un diplôme d'ingénieur ENSEEIHT, quelle que soit la discipline, implique les qualités suivantes :

-Maîtrise des méthodes et outils de l'ingénieur et d'un large champ disciplinaire.

-Capacité à concevoir, réaliser et valider des solutions, des méthodes, des produits, des systèmes et des services.

-Aptitude à innover, entreprendre, collecter et intégrer des savoirs et à mener des projets de recherche.

-Maîtrise des enjeux de l'entreprise relatifs à son fonctionnement dans ses dimensions économique, juridique, environnementale et sociétale.

-Aptitude à s'intégrer et à travailler au sein d'une organisation multiculturelle et internationale.

-Savoir gérer sa formation et sa carrière professionnelle.

L'ingénieur INP-ENSEEIH "Mécanique et Génie Hydraulique" est un ingénieur de haut niveau technique et scientifique par la formation qu'il a suivie dans les domaines de la mécanique des fluides, de la combustion, de l'hydrologie, incluant la modélisation numérique et le calcul intensif.

Grace au socle commun de formation, l'ingénieur INP-ENSEEIH "Mécanique et Génie Hydraulique" :

- Maitrise les concepts et principes de la mécanique des fluides.
- Maitrise les systèmes thermodynamiques et les mécanismes de transferts.
- Maitrise les principes de base de la mécanique des solides et des structures.
- Maitrise les systèmes à fluides.
- Maitrise les méthodes numériques et le calcul scientifique haute performance.
- Maitrise les techniques d'instrumentation et de mesure utilisées en mécanique et mécanique des fluides.
- Conçoit, dimensionne et modélise des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.
- Conçoit, dimensionne et modélise des systèmes liés à des problématiques environnementales, naturelles et climatiques.
- Identifie, développe et valide des algorithmes pour la simulation numérique haute performance en mécanique des fluides.
- Conçoit, développe et caractérise des systèmes de contrôle pour la régulation et la commande de dispositifs hydrauliques et énergétiques, et pour le développement des systèmes nomades et embarqués.
- Modélise des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

Compétences détaillées :

- Identifier les régimes d'écoulements afin de proposer une modélisation adaptée d'un problème mettant en jeu des écoulements en mécanique des fluides générale et/ou en aérodynamique
- Appréhender les modèles physiques, la représentation des écoulements à tout régime pour optimiser des systèmes mécaniques complexes en mobilisant de manière croisée les concepts de l'aérodynamique, de la physique et du calcul numérique
- Identifier, sélectionner et analyser avec esprit critique des données issues d'expérimentations in situ ou de laboratoire ou de simulations numériques afin de représenter un phénomène multi-physique ou physique environnemental
- Conduire des projets en respectant les contraintes du cahier des charges, en utilisant des outils appropriés, dans un cadre collaboratif et communiquer les résultats en s'adaptant au public visé
- Analyser et modéliser les écoulements atmosphériques à toute échelle en réponse à une problématique environnementale
- Appréhender la modélisation, la représentation des écoulements à surface libre et souterrains afin de prévoir des aménagements ou de répondre à des enjeux sociétaux
- Mobiliser les concepts fondamentaux de la mécanique dans un but de conception, de dimensionnement et de maintenance d'ouvrages
- Analyser, contrôler et modéliser le fonctionnement des ouvrages hydrauliques afin de les gérer dans le respect des contraintes réglementaires et environnementales
- Choisir et mettre en oeuvre des modèles permettant d'appréhender des situations naturelles complexes dans un monde en transition
- Expliquer les phénomènes multiphysiques mis en jeu dans un système complexe et multi-échelle en mobilisant les concepts fondamentaux de l'énergétique
- Choisir et mettre en oeuvre des modèles afin de simuler le fonctionnement de systèmes énergétiques et multiphasiques afin de les caractériser et de les optimiser
- Identifier, sélectionner, représenter et analyser avec esprit critique des données issues d'expérimentations in situ ou de laboratoire ou de simulations numériques afin de représenter un phénomène physique en énergétique
- Mobiliser les concepts fondamentaux du calcul scientifique pour mettre en équation des phénomènes physiques en mécanique des fluides et adapter les méthodes de résolution
- Interpréter les résultats d'une simulation afin de critiquer les modèles pour améliorer et critiquer le système physique et sa représentation

-Utiliser les concepts de l'IA pour développer des modèles évolués permettant de traiter des problèmes physiques plus efficacement

-Développer sa réflexivité, en particulier la connaissance de soi, prototyper sur les principes de design thinking dans un cycle vertueux. Evaluer son bien-être, physique, mental et social, à gérer ses émotions et celles des autres, à être résilient et persévérer pour atteindre des objectifs d'un projet dans un contexte volatile, incertain, complexe, ambigu (VUCA), veiller au bien-être (physique, mental, social) et à l'épanouissement de ses collaborateurs et de soi-même.

-Construire son réseau professionnel via des outils et des techniques de branding personnel et de e-réputation, pour se représenter et représenter la profession d'ingénieur en tant qu'ambassadeur, faire rayonner auprès de publics divers le rôle et la fonction de l'ingénieur.e dans le respect de l'éthique, de la multiculturalité, de la diversité, du développement durable et de la responsabilité sociétale.

-Faire preuve de créativité et d'innovation, d'esprit d'entreprise, d'ouverture d'esprit, de conscience critique, de sens des responsabilités, d'engagement, pour développer des solutions respectueuses des transitions sociales et environnementales.

## Contenu de la formation

L'organisation des études sous statut étudiant (FISE) est assurée sur la base d'un plein temps. Le volume est d'environ 400 heures encadrées par semestre en moyenne sur les 3 années du cycle ingénieur.

## Organisation de la formation

Ingénieur ENSEEIHT Mécanique et Génie Hydraulique 1ère année  
Ingénieur ENSEEIHT Mécanique et Génie Hydraulique 2ème année  
Ingénieur ENSEEIHT Mécanique et Génie Hydraulique 3ème année

## Conditions d'accès

Selon les termes de son règlement, fixé chaque année en accord avec le Ministère chargé de l'éducation nationale, l'ENSEEIHT recrute environ 380 élèves par an sous statut étudiant dont 70 dans la spécialisation Mécanique et Génie Hydraulique.

3.3.1 La majorité des étudiants recrutés en première année (79% environ) sont les lauréats de concours nationaux (Concours Communs INP) présentés à l'issue de 2 années de Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE). Les CPGE constituent une formation supérieure fondamentale en matières théoriques scientifiques (mathématiques, physique, technologie, sciences de l'ingénieur) auxquelles s'ajoute un enseignement en français et en langues étrangères. 10% des étudiants reçus au baccalauréat scientifique sont admis dans les CPGE. Le rythme de travail y est très soutenu : plus de 60 heures par semaine entre les cours et le travail personnel. La formation en CPGE correspond à 120 crédits ECTS.

3.3.2 Des élèves ingénieurs sont recrutés en première année sur le concours du cycle préparatoire La Prépa des INP, préparé dans les INP de France (13% environ des étudiants).

3.3.3 Après un concours sur titres, l'accès est autorisé en première année à des étudiants titulaires d'une deuxième année de Licence ou d'un DUT (8% environ des étudiants).

3.3.4 Après un concours sur titres, l'accès est également autorisé en deuxième année de l'ENSEEIHT (semestre 7 du cursus d'études supérieures) à des étudiants titulaires d'une première année de Master, ou d'un diplôme étranger équivalent, pour un cycle de 4 semestres (2 années) d'études conduisant à l'obtention du diplôme d'ingénieur (5% environ de l'effectif de 2ème année).

3.3.5 Le même cursus, conduisant au diplôme d'ingénieur, peut également être suivi en alternance sous statut apprenti (20 élèves environ par an).

## Composante

École Nationale Supérieure d'Électrotechnique d'Électronique d'Informatique d'Hydraulique et des Télécommunications

## Lieu(x) de la formation

Toulouse

# Ingénieur ENSEEIHT Mécanique et Génie Hydraulique 1ère année

PLUS D'INFOS

Crédits ECTS : 60

## Organisation de la formation

### · Année-1A Mécanique-GH FISE

#### · Semestre 5-1A Méca-GH-FISE

#### · UE SOFT AND HUMAN SKILLS 1

Responsable(s)  
HULL ALEXANDRA

#### · Matière Professional English-S5-LV1

##### Pré-requis nécessaires

Aucun.

##### Objectifs

Développer ses compétences en communication professionnelle en effectuant des tâches de communication courantes, écrites et orales, en anglais.

##### Compétences visées

- 1) Conduire une réunion en anglais
- 2) Rédiger un mail, un ordre du jour & un compte rendu de réunion en anglais.
- 3) Rédiger un CV et une lettre de candidature en anglais.

##### Description

Un semestre de 12 séances interactives et hebdomadaires.

##### Volume horaire

21 heures TD

##### Responsable(s)

LEVRERO EMMA

##### Méthode d'enseignement

En présence

##### Langue d'enseignement

Anglais

##### Bibliographie

\* Palmer, A. (2013). *Talk Lean: Shorter Meetings. Quicker Results. Better Relations.* John Wiley & Sons.

- \* Benson, D. (2011). *The Art of Taking Minutes*. AmazonEncore.
- \* Reed, J. (2019). *The 7 Second CV: How to Land the Interview*. Penguin.
- \* Rubin, D (2015). *Wait, How Do I Write This Email?* News To Live By LLC.

#### - LV2-1A-Sem.5

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

A choix: 1 Parmi 1 :

#### - Matière Espagnol-S5

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

#### - Matière Portugais-S5

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

#### - Matière Chinois-S5

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

#### - Matière Italien-S5

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

#### - Matière Japonais-S5

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

#### - Matière Russe-S5

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

#### - Matière Allemand-S5

**Responsable(s)**  
CLOUZEAU MARTINA

#### - Matière FLE - S5

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

## - Matière EPS-S5-1ère Année

### Pré-requis nécessaires

Aucun

### Objectifs

- \* **Santé** vue comme un ensemble de ressources qu'il est nécessaire de mobiliser et de développer.
- \* **Connaissance de soi** dans l'effort.
- \* Accès à un domaine de la **culture**.

### Compétences visées

- \* Compétences motrices: remise en forme, acquérir et progresser dans des habiletés techniques spécifiques, soutenir des efforts de type aérobie.
- \* Compétences sociales: interagir avec les autres, et trouver sa place dans un collectif.
- \* Compétences psychologiques: s'engager, persévérer pour progresser, vers une valorisation de l'estime de soi.

### Description

- \* Choisir un sport parmi une liste d'une vingtaine de propositions (des activités pour tous les goûts).
- \* Un créneau hebdomadaire de sport.
- \* S'entraîner et réaliser un Cross en fin de semestre 1.

### Volume horaire

12 séances d'une heure et demie = 18h par semestre

### Responsable(s)

PRAT EMILIE

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Français

## - Matière Careers, Leadership et Management - Sem.5

### Pré-requis nécessaires

Aucun.

### Objectifs

Développer les compétences professionnelles clés pour communiquer avec des publics divers, gérer des projets et le travail d'équipe.

### Compétences visées

- 1) Se connaître en utilisant des outils et des indicateurs type-Myers Briggs pour définir ses préférences.
- 2) Analyser son e-réputation et les risques des réseaux sociaux; développer son profil professionnel type-LinkedIn.
- 3) Se présenter dans un entretien téléphonique.
- 4) Définir ses préférences/son profil en travail d'équipe en utilisant des indicateurs type-Belbin ; analyser les risques (communication interculturelle, diversité, conflits etc.)
- 5) Proposer un projet de travail en équipe; analyser un projet proposé.

### Description

1 semestre de 12 séances hebdomadaires dont l'objectif est le développement de son projet professionnel personnel.

**Volume horaire**

21 heures

**Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français et Anglais

**Bibliographie**

- \* Burnett, W., & Evans, D. J. (2016). *Designing your life: How to build a well-lived, joyful life*. Knopf.
- \* Covey, S. R. (1989). *The 7 Habits of Highly Effective People*. Simon & Schuster.
- \* Lencioni, P. (2006). *The five dysfunctions of a team*. John Wiley & Sons.
- \* Furnham, A. (1996). The big five versus the big four: the relationship between the Myers-Briggs Type Indicator (MBTI) and NEO-PI five factor model of personality. *Personality and Individual Differences*, 21(2), 303-307.

**- UE MATHÉMATIQUES 1****Responsable(s)**

BERGEZ WLADIMIR

**- Matière Intégration****Objectifs**

Comprendre le sens et savoir calculer une intégrale de Lebesgue d'une fonction sur une partie de  $\mathbb{R}$  ou de  $\mathbb{R}^n$ . Il s'agit aussi de comprendre et de savoir utiliser les outils principaux de traitement du signal définis en terme de transformation intégrales directe et inverse. Il s'agit aussi de comprendre ce qu'est une distribution et de savoir manipuler des distributions (dérivée, produit de convolution, transformation de Fourier).

**Compétences visées**

Savoir montrer qu'une fonction est mesurable, intégrable.

Savoir utiliser des théorèmes de passage à la limite sous le signe intégral. Savoir dériver sous le signe intégral.

Savoir manipuler des distributions et résoudre des équations différentielles grâce aux distributions.

Savoir calculer des transformées de Fourier et de Laplace, directes et inverses et interpréter les résultats en terme de traitement du signal.

**Description**

Théorie de la mesure.

Intégrale d'une fonction étagée positive, mesurable positive, mesurable de signe quelconque.

Théorème de passage à la limite, lien avec l'intégrale de limite, intégrales dépendant d'un paramètre.

Espaces  $L_p$ .

Définition d'une distribution, dérivation, produit de convolution.

Transformée de Fourier d'un signal. Transformée de Laplace d'un signal.

**Responsable(s)**

BERGEZ WLADIMIR

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

français

**Bibliographie**

Walter Rudin, Real and Complex Analysis, 3rd ed., Mc Graw Hill, 1987.

Laurent Schwartz, Méthodes mathématiques pour les sciences physiques, Hermann, 1965.

Walter Appel, Mathématiques pour la physique et les physiciens, 5ème ed., H&K, 2017.

Terence Tao, An introduction to measure theory, 2011.

## **- Matière Probabilités**

### **Pré-requis nécessaires**

Eléments de base du calcul des probabilités (triplet de probabilité, probabilités conditionnelles, formule des probabilités totales, théorème de Bayes), Calcul d'intégrales et de séries, changements de variables dans les intégrales, calcul matriciel de base

### **Objectifs**

Comprendre les notions de variables aléatoires discrètes et continues et les outils associés (espérance mathématique, densité de probabilité, fonction de répartition, fonction caractéristique, changements de variables aléatoires)

Savoir définir la loi d'un vecteur aléatoire et savoir déterminer ses lois marginales, ses lois conditionnelles, ses espérances mathématiques avec un intérêt particulier pour la covariance et le coefficient de corrélation). Savoir effectuer des changements de variables pour des vecteurs aléatoires

Comprendre comment les traitements liés aux vecteurs aléatoires se simplifient dans le cas Gaussien (lois marginales et conditionnelles, transformations affines, indépendance). Lois du chi-deux, de Student et de Fisher

Comprendre les différentes notions de convergence (en loi, en probabilité et en moyenne quadratique), l'utilité de la loi des grands nombres et du théorème de la limite centrale

### **Compétences visées**

Calcul de probabilités liées aux variables et vecteurs aléatoires

Vecteurs Gaussiens

Convergence de suites de variables aléatoires

### **Description**

- Définition d'un espace probabilisé
- Lois des variables discrètes et continues
- Couples de variables aléatoires



- Vecteurs Gaussiens
- Convergence et théorèmes limites

**Volume horaire**

7 cours de 1h45 et 5 TDs de 1H45

**Responsable(s)**

TOURNERET Jean-yves  
Jean-Yves.Tourneret@enseeiht.fr  
Tel. 2224

TOURNERET JEAN-YVES

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français

**Bibliographie**

- 1 .B. Lacaze, C. Mailhes, M.M. Maubourguet et J.Y. Tourneret, Probabilités et statistique appliquées, résumé de cours et illustrations, Cépaduès Editions, Toulouse, 1997
- 2 .P. Tassi, S. Legait, Théorie des probabilités en vue des applications statistiques, Editions Technip, Paris, 1990.
- 3 . Athanasios Papoulis and S. Unnikrishna Pillai, Probability, Random Variable and Stochastic Processes, McGraw Hill Higher Education, 4th edition, 2002.

**- UE INFORMATIQUE/CALCUL****Pré-requis nécessaires**

Aucun

**Objectifs**

Développer une méthode d'écriture de programme pour qu'un physicien puisse informatiser une application en s'appuyant sur l'algorithmique et la programmation structurée, le tout dans un environnement de programmation linux.

**Responsable(s)**

BONOMETTI THOMAS

**- Matière Informatique appliquée : systèmes, outils, architectures****Objectifs**

Présenter les ressources informatiques disponibles à l'ENSEEIHt tout en effectuant une mise à niveau des étudiants sur la maîtrise des outils et la compréhension de leur fonctionnement.

**Description**

- 1 .Présentation des outils de bureautique (traitement de texte et tableur).
- 2 . Introduction à l'architecture des ordinateurs.
- 3 . Notions et propriétés d'un système d'exploitation.
- 4 . Initiation à Unix : système de fichiers, principales commandes, shells.
- 5 . Du programme au processus (langages interprétés, langages compilés, compilateurs, édition de liens, exécution).

**Responsable(s)**

HAMROUNI ZOUHAIER  
HORGUE PIERRE

**- Matière Méthode d'Analyse et de Programmation : Algorithmique**

### Pré-requis nécessaires

Aucun

### Objectifs

Développer une méthode d'écriture de programme pour qu'un physicien puisse informatiser une application en s'appuyant sur l'algorithmique et la programmation structurée

### Description

- Méthode de décomposition d'un petit programme. Séquence, rupture de séquence, répétition.
  - Méthode de décomposition descendante d'un problème par analyse des flux de données entre les différentes parties d'un programme.
  - Définition des données, résultats et fonctionnalité d'un programme.
  - Introduction des notions de programme, sous-programme, fichier et pointeur.
- Traduction en langage Fortran de ces notions.

### Responsable(s)

BONOMETTI Thomas  
Thomas.Bonometti@imft.fr  
Tel. 2952

BONOMETTI THOMAS

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Français

### Bibliographie

Delannoy, C. (1997). *Programmer en Fortran 90: guide complet*. Eyrolles.

## - UE MÉCANIQUE DES FLUIDES 1

### Objectifs

À l'issue de cette unité d'enseignement, les élèves ingénieurs de première année seront capables :

- \* de décrire un ensemble d'applications de la mécanique des fluides
- \* de produire une analyse dimensionnelle à partir d'un modèle physique
- \* d'expliquer la signification physique des différents termes des équations de la mécanique des fluides
- \* d'employer les outils de l'algèbre pour manipuler les équations de la mécanique des fluides
- \* de générer des solutions analytiques des équations de Lamé et de Navier-Stokes

### Description

Les thèmes traités dans cette unité d'enseignements sont les suivants :

- \* Analyse dimensionnelle.
- \* Bilans de masse, de quantité de mouvement ou d'énergie.
- \* Compréhension des termes des équations de la mécanique des solides et des fluides.
- \* Solutions analytiques des équations de Navier-Stokes
- \* Couplage entre la thermodynamique et la compressibilité des fluides.

L'évaluation est composée comme suit :

- \* Trois examens écrits (1h45 chacun) : 75%
- \* Trois Travaux Pratiques (4h chacun) : 25%

Les séquences pédagogiques de 1h45 se répartissent comme suit :

- \* 15 Cours Magistraux
- \* 13 Travaux Dirigés
- \* 1 Bureau d'Étude
- \* 2 Amphis inversés

**Responsable(s)**

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

LEGENDRE DOMINIQUE  
THUAL OLIVIER

**· Matière Introduction à la Mécanique des Fluides**

**Objectifs**

Ce cours précède le cours de "Milieux continus" où les équations de Navier-Stokes sont dérivées et mise en oeuvre dans quelques situations académiques présentant une solution analytique accessible. L'objet de ce cours est d'apporter un éclairage physique sur quelques problèmes de base en mécanique des fluides via l'analyse dimensionnelle et l'analyse à l'aide d'ordres de grandeur. Il permet d'introduire les nombres sans dimension et l'adimensionalisation d'un système d'équation.

À l'issue du cours, les étudiants seront capables :

- \* de maîtriser le vocabulaire utilisé pour classier les écoulements et les phénomènes physiques observés
- \* de produire une analyse dimensionnelle d'un problème physique
- \* de rendre adimensionnel un système d'équation pour un problème physique
- \* d'expliquer la signification physique des différents termes des équations de conservation et de les utiliser pour analyser avec les mains un problème

**Description**

1) Illustration des écoulements classique et découverte du vocabulaire permettant de décrire les écoulements et les phénomènes physiques observés.

2) Analyse physique des Equations de Navier-Stokes. Les deux viscosités. Les mécanismes de transports. Les effets capillaires.

2) Dimension et adimensionalisation des grandeurs et équations. Discussion sur les études en similitudes

3) Théorème des Pi/Vaschy Buckingham et application pour la résolution de problèmes physiques simples.

4) Loi d'échelles et résolution de problème par manipulation des ordres de grandeurs

Deus séances de TP : TP1 en soufflerie pour mise en application des notion des forces aérodynamique et coefficient de traînée et portance. Etude ne similitude

TP2 : Expérience de Reynolds. Régime d'écoulement, laminaire/turbulent, perte de charge. Transitions de l'écoulement de Taylor-Couette.

**Responsable(s)**

LEGENDRE DOMINIQUE

**Méthode d'enseignement**

En présence

**· Matière Mécanique des milieux continus**

## Objectifs

Ce cours permet d'assimiler le formalisme de base de la mécanique des milieux continus menant à l'écriture des équations de Lamé et de Navier-Stokes.

À l'issue de la première partie du cours, les étudiants de première année seront capables :

- \* d'employer le formalisme de l'algèbre linéaire pour suivre les démonstrations conduisant aux équations de la mécanique des milieux continus ;
- \* expliquer les transformations entre intégrales de volumes et de surfaces dans les équations de bilan ;
- \* décrire les lois de comportement pour la diffusion de la chaleur ou la rhéologie des solides élastiques ;
- \* calculer les solutions analytiques de problèmes d'élasticité linéaire simple.

À l'issue de la seconde partie du cours, les étudiants de première année seront capables :

- \* de décrire la cinématique des écoulements à l'aide de matrices exprimant la rotation ou la déformation des particules ;
- \* de formuler les équations de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie ;
- \* décrire les lois de comportement pour la rhéologie des fluides newtoniens ;
- \* calculer les solutions analytiques de problèmes de mécanique des fluides simples.

## Description

- 1) Algèbre linéaire et tenseurs : convention d'Einstein, opérateurs différentiels, formule de la divergence
- 2) Hypothèse du continu : vecteur flux de chaleur par les petits tétraèdres, loi de Fourier et loi d'état conduisant à l'équation de la chaleur.
- 3) Grandes et petites déformations : Jacobienne, tenseurs des dilatations et des petites déformations, Jacobien.
- 4) Tenseur des contraintes en petites déformations : conservation de la masse en représentation lagrangienne, principe fondamental de la dynamique, existence et symétrie du tenseur des contraintes.
- 5) Équations de Lamé : loi de Hooke, ondes longitudinales et transversales dans les solides.
- 6) Cinématique : trajectoires, lignes de courant, dérivée particulaire.
- 7) Théorèmes de transport : vecteur rotation et tenseur des taux de déformation, dérivation sur un domaine mobile.
- 8) Équations de Navier-Stokes incompressibles : principe fondamental de la dynamique, loi de comportement.
- 9) Équations de Navier-Stokes compressibles : « théorème » de l'énergie cinétique et puissance des efforts intérieurs, premier principe de la thermodynamique.

Une séance de Travaux Pratiques (4h) : "Ressaut hydraulique", pour illustrer la notion de discontinuité et de relation de saut

## Volume horaire

Présentiel 50 h + Travail personnel 25 h = 75 h

## Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

ALBAGNAC Julie  
julie.albagnac@imft.fr  
Tel. 2935

PRAUD Olivier  
Olivier.Praud@imft.fr  
Tel. 2925

DURU Paul  
Paul.Duru@imft.fr

Tel. 2877

THUAL OLIVIER

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Bibliographie**

[1] O. Thual, *Mécanique des Milieux Continus*, Éd. Ress. Pédago. Ouv. INP 1018 (2012) 48h

[2] Introduction à la Mécanique des milieux continus déformables - Auteur : O. THUAL - Editeur : Cépaduès - Editions , 1997 - ISBN : 2854284550

URL : <http://www.cepadues.com/chercher.asp?rapid=thual>

[3] Étagère de cours Scholarvox : [Mécanique des milieux continus](#)

**- Matière Pratique Expérimentale en Mécanique des Fluides**

**Responsable(s)**

LEGENDRE DOMINIQUE

**- UE MECANIKES DES FLUIDES 2**

**Responsable(s)**

SEBILLEAU JULIEN

**- Matière Thermodynamique**

**Objectifs**

apprendre à utiliser les deux premiers principes de la thermodynamiques afin de réaliser des bilans d'énergies sur des installations classiques (turbines, compresseurs, chaudières, machine frigorifiques, moteurs,...).

**Description**

Ce cours reprend les bases de la thermodynamique classique avec l'énoncé des deux premiers principes, la formulation en équation d'états et l'utilisation des potentiels thermodynamique, les modèles simples de systèmes mono-constituants, les changements de phase et l'air humide.

**Responsable(s)**

SEBILLEAU Julien  
julien.sebilleau@imft.fr

SEBILLEAU JULIEN

**Méthode d'enseignement**

En présence

**- UE MECANIQUE 1**

**Responsable(s)**

LIOT OLIVIER

## - Matière Mécanique Rationnelle

### Objectifs

Formation générale en mécanique nécessaire à la poursuite des différents cursus en Hydraulique- Mécanique des Fluides. Assimilation des concepts, analyse et applications des principes, apprentissage de méthodes d'analyse et de résolution de systèmes mécaniques pour l'ingénieur.

### Description

- 1 . Consolidation des acquis : Référentiels, vitesses, accélérations, forces et grandeurs cinétiques, théorèmes généraux.
- 2 . Solides rigides : Mouvement rigide, matrice d'inertie, spécialisation des théorèmes généraux, intégrales premières du mouvement, contact entre solides, liaisons.
- 3 . Petites oscillations : oscillateur harmonique, équilibre, linéarisation des petits mouvements, modes propres, résonance, battements, analyse de stabilité linéaire de systèmes mécaniques.

### Responsable(s)

LIOT OLIVIER

## - Matière Elasticité Linéaire

### Objectifs

Ce cours doit permettre au mécanicien des fluides de connaître et appliquer le modèle de déformation élastique linéaire d'un solide. Il doit pouvoir calculer les contraintes régnant dans des systèmes simples (poutre en traction ou torsion, plaque en flexion, barrage poids, tube sous pression...).

### Compétences visées

- être capable de calculer ou mesurer une déformation
- être capable de calculer ou mesurer une contrainte
- être capable de déterminer les valeurs extrémales des contraintes (normales et tangentielles) ou des déformations (allongement relatif ou angle de glissement)
- être capable d'appliquer la loi de Hooke
- être capable de poser un problème d'élasticité en contraintes ou déplacement
- être capable de calculer les solutions d'un problème plan à partir d'une fonction d'Airy ou de fonctions analytiques

### Description

1. Petites déformations.
2. Contraintes.
3. Modèle élastique linéaire isotrope : loi de Hooke
4. Equations de l'élasticité linéaire : Navier/Lamé et Beltrami
5. Elasticité plane

### Responsable(s)

BERGEZ WLADIMIR

### Méthode d'enseignement

En présence

### Bibliographie

## - Semestre 6-N7-1A Mécanique-GH FISE

### - UE SOFT AND HUMAN SKILLS 2

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

#### - Matière Professional English-LV1-Sem.6

##### Pré-requis nécessaires

Aucun.

##### Objectifs

Développer ses compétences en communication professionnelle en effectuant des tâches de communication courantes, écrites et orales, en anglais.

##### Compétences visées

- 1) Rédiger un poster infographic.
- 2) Présenter un projet d'équipe lors d'une session poster.
- 3) Rédiger un feedback type SWOT en respectant les principes de la critique constructive.

##### Description

Un semestre de 12 séances interactives et hebdomadaires.

##### Volume horaire

21 hours

**Responsable(s)**  
LEVRERO EMMA

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Langue d'enseignement**  
Anglais

##### Bibliographie

- \* Krum, R. (2013). *Cool Infographics: Effective Communication with Data Visualization and Design*. Wiley.
- \* Gallo, C. (2009). *The Presentation Secrets of Steve Jobs. How To Be Insanely Great In Front Of Any Audience*. McGraw-Hill Education.
- \* Bright, D. (2014). *The Truth Doesn't Have to Hurt: How To Use Criticism To Strengthen Relationships, Improve Performance And Promote Change*. AMACOM.

#### - LV2-1A-Sem.6

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Espagnol-S6**

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

**- Matière Portugais-S6**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Chinois-S6**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Italien-S6**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Japonais-S6**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Russe-S6**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Allemand-S6**

**Responsable(s)**  
CLOUZEAU MARTINA

**- Matière FLE - S6**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière EPS-S6-1ère Année**

**Pré-requis nécessaires**

Aucun

**Objectifs**



- \* **Santé** vue comme un ensemble de ressources qu'il est nécessaire de mobiliser et de développer.
- \* **Connaissance de soi** dans l'effort.
- \* Accès à un domaine de la **culture**.

#### **Compétences visées**

- \* Compétences motrices: remise en forme, acquérir et progresser dans des habiletés techniques spécifiques, soutenir des efforts de type aérobique.
- \* Compétences sociales: interagir avec les autres, et trouver sa place dans un collectif.
- \* Compétences psychologiques: s'engager, persévérer pour progresser, vers une valorisation de l'estime de soi.

#### **Description**

- \* Choisir un sport parmi une liste d'une vingtaine de propositions (des activités pour tous les goûts).
- \* Un créneau hebdomadaire de sport.
- \* S'entraîner et réaliser un Circuit Training en fin de semestre 2.

#### **Volume horaire**

12 séances d'une heure et demie = 18h par semestre

#### **Responsable(s)**

PRAT EMILIE

#### **Méthode d'enseignement**

En présence

#### **Langue d'enseignement**

Français

### **- CAREERS & MANAGEMENT S6 CHOIX**

#### **Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Matière LEADERSHIP - S6**

##### **Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

#### **- Matière ENTREPRENEURSHIP - S6**

##### **Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

#### **- Matière CITIZENSHIP - S6**

##### **Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

### **- EIp à choix SHS-S6**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Matière Careers, Leadership and Mangement-Sem.6**

##### **Pré-requis nécessaires**

Aucun.

### Objectifs

Développer les compétences professionnelles clés pour communiquer avec des publics divers, gérer des projets et le travail d'équipe.

### Compétences visées

- 1) Explorer le concept de l'engagement civique et le développement des compétences professionnelles.
- 2) Concevoir, créer et présenter en anglais un projet d'équipe d'engagement civique en s'appuyant sur un poster infographique.
- 3) Développer un ePortfolio pour ses productions en lien avec son projet professionnel personnel (PPP).
- 4) Réaliser une courte séquence vidéo (un "pitch") pour expliquer et justifier son choix d'options en M1.

### Description

1 semestre de 12 séances hebdomadaires dont l'objectif est le développement de son projet professionnel personnel.

### Volume horaire

10,5 heures

### Responsable(s)

HULL ALEXANDRA

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Français et anglais

### Bibliographie

- \* Chhabra, S. (2018). *Handbook of Research on Civic Engagement and Social Change in Contemporary Society*. Information Science Reference.
- \* Krum, R. (2013). *Cool infographics: Effective communication with data visualization and design*. John Wiley & Sons.
- \* Hartnell-Young, E., & Morriss, M. (2006). *Digital portfolios: Powerful tools for promoting professional growth and reflection*. Corwin Press.
- \* Westfall, C. (2012). *The New Elevator Pitch: The Definitive Guide to Persuasive Communication in the Digital Age*. BookBaby.

## - Matière Innovation-Entreprenariat-S6

### Responsable(s)

HULL ALEXANDRA

## - ELP à Choix

A choix: 1 Parmi 1 :

## - UE HYDRAULIQUE

### Responsable(s)

ALBAGNAC JULIE

## - Matière Bilans intégraux

### Pré-requis nécessaires

Introduction à la mécanique des fluides

Mécanique des milieux continus

Outils mathématiques pour la mécanique des fluides

### Objectifs

Établir les équations intégrales de bilan qui régissent le mouvement de fluides homogènes

### Compétences visées

Ces bilans intégraux permettent notamment de calculer les efforts sur un profil à l'aide du théorème d'Euler ou l'évolution de la pression ou de la vitesse dans un écoulement à l'aide des différents théorèmes de Bernoulli.

### Description

Application des principes de la mécanique newtonienne et de la thermodynamique

### Responsable(s)

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

ROUX HÉLÈNE

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Français

### Bibliographie

Chassaing, P. 2000. Mécanique des fluides - Éléments d'un premier parcours. Toulouse, France : Cépaduès Éditions.

Chapitre 3

Pré-requis : chapitres 1 et 2

## - Matière APP Hydraulique

### Objectifs

[Lien externe vers la capsule vidéo de présentation du cours](#)

Il s'agit d'être capable de calculer des pertes de charges dans un réseau hydraulique en lisant un diagramme de Moody où en développant un programme numérique ad hoc. Le calcul des grandeurs liées à un ressaut hydraulique constitue un second objectif. Enfin, l'établissement de liens entre l'hydraulique et la mécanique des fluides fait partie intégrante de cet enseignement.

Cet enseignement combine plusieurs formules pédagogiques :

- \* Enseignement Transmissif Traditionnel (ETT) : les enseignants exposent un savoir à l'aide de cours magistraux et de travaux dirigés.
- \* Apprentissage Par Projet (APP) : la réalisation de projets motive une recherche d'informations utiles, de manière autonome.
- \* Progresser En Groupes (PEG) : un travail individuel du cours est suivi par des discussions et des collaborations de groupes.

### Description

L'hydraulique en charge traite des écoulements sous pression dans des conduites fermées. L'hydraulique à surface libre traite des écoulements dans des canaux ouverts. Les notions essentielles sont :

- \* Charge hydraulique
- \* Pertes de charge linéiques
- \* Pertes de charge singulières

Les machines hydrauliques désignent les pompes ainsi que les turbines. Les notions essentielles sont :

- \* Les trois types de pompes
- \* Bilan de charge et rendements
- \* Paramètres de fonctionnement

### Responsable(s)

ALBAGNAC Julie  
julie.albagnac@imft.fr  
Tel. 2935

CASSAN Ludovic  
Ludovic.Cassan@imft.fr  
Tel. 2971

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

ROIG Veronique  
Veronique.Roig@imft.fr  
Tel. 2820

DURU Paul  
Paul.Duru@imft.fr  
Tel. 2877

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

CASSAN LUDOVIC  
ALBAGNAC JULIE

### Bibliographie

- \* Olivier Thual, [Hydraulique pour l'ingénieur généraliste](#), Cépaduès-Éditions 2018
- \* Olivier Thual, [Hydraulique pour l'ingénieur généraliste](#), *Éd. Ress. Pédago. Ouv. INP 0714* (2018) 16h
- \* Saad BENNIS, *Hydraulique et hydrologie*, Presse de l'Université de Québec, 2009. Chapitres 2, 3, 5 et 6. [Accès ScholarVox](#)
- \* Frank M. WHITE, *Fluid mechanics*, 7th Edition in SI Units, *McGraw-Hill*, 2011. Chapitres 6, 10 et 11
- \* Bruce R. MUNSON, Theodore H. OKIISHI, Wade W. HUEBSCH and Alric P. ROTHMAYER, *Fundamentals of Fluid mechanics*, 7th Edition SI Version, *Wiley*, 2013. Chapitres 8, 10 et 12. La 6ème édition est téléchargeable sur ([Engineering Study Material](#))

## • UE DECOUVERTE EN MECANIQUE DES FLUIDES

Responsable(s)  
ALBAGNAC JULIE

### • Matière Introduction au vol

**Responsable(s)**  
AIRIAU CHRISTOPHE

### **- Matière Energies renouvelables**

**Responsable(s)**  
TANGUY SÉBASTIEN

## **- UE MATHÉMATIQUES 2**

**Responsable(s)**  
BERGEZ WLADIMIR

### **- Matière Différences finies**

#### **Objectifs**

A l'issue de ce cours l'étudiant doit être capable de proposer une discrétisation pertinente pour une EDP linéaire à l'aide de la méthode des différences finies et d'en analyser la convergence (consistance et stabilité) et la précision.

#### **Description**

La méthode des différences finies est dans un premier temps introduite pour la discrétisation des équations modèles (équation d'advection et équation de diffusion). Les techniques d'analyse de convergence (consistance et stabilité) et de précision sont abordées en s'appuyant sur le théorème de Lax et sur la méthode de la matrice. Ces outils d'analyse sont ensuite utilisés pour choisir des schémas de discrétisation adaptés à chacune des familles d'EDP linéaires. L'analyse de l'erreur commise (diffusion, dispersion) est finalement introduite.

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

### **- Matière Statistiques**

#### **Pré-requis nécessaires**

Éléments de calcul des probabilités, calcul d'intégrales et de séries, éléments de base d'optimisation, éléments de base de calcul matriciel

#### **Objectifs**

Comprendre ce qu'est un modèle statistique, savoir déterminer les propriétés des estimateurs des paramètres de ce modèle et enfin savoir mettre en œuvre les principales méthodes d'estimation statistique associées (maximum de vraisemblance, moment, estimation Bayésienne, intervalles de confiance)

Comprendre la notion de test statistique, savoir déterminer les performances d'un test et savoir appliquer le théorème de Neyman-Pearson dans le cas de variables aléatoires discrètes et continues.

Comprendre le principe des tests d'adéquation (tests du chi-deux et de Kolmogorov)

#### **Compétences visées**

## Principes de l'estimation statistique et des tests d'hypothèses binaires

### Description

#### Estimation

- Modèle statistique et qualités d'un estimateur
- Inégalité de Cramér-Rao
- Maximum de vraisemblance
- Méthodes des moments
- Estimation Bayésienne
- Intervalles de confiance

#### Tests statistiques

- Probabilité de fausse alarme, de non détection et courbes COR
- Théorème de Neyman-Pearson
- Test du chi-deux et de Kolmogorov

### Volume horaire

6 cours de 1h45, 4 TDs de 1h45 et 3TPs de 1h45

### Responsable(s)

TOURNERET Jean-yves  
Jean-Yves.Tourneret@enseeiht.fr  
Tel. 2224

TOURNERET JEAN-YVES

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Français

### Bibliographie

1. B. Lacaze, M. Maubourguet, C. Mailhes et J.-Y. Tourneret, Probabilités et Statistique appliquées, Ce#padues, 1997.
2. Athanasios Papoulis and S. Unnikrishna Pillai, Probability, Random Variable and Stochastic Processes, McGraw Hill Higher Education, 4th edition, 2002.

## - Matière Introduction à Optimisation

### Objectifs

\* Acquérir les bases de l'optimisation : variables de décision, fonction objectif, minimisation de problèmes non linéaires, problèmes de moindres carrés, minimisation sous contrainte

\* Connaître et pratiquer les techniques d'optimisation numérique : méthodes itératives de gradients ; cas des problèmes de moindres carrés ; autres méthodes numériques telles que le recuit simulé (« simulated annealing »); problèmes de réseaux/graphes

### Compétences visées

- être capable de poser un problème d'optimisation avec ou sans contrainte

- être capable d'utiliser des solveurs (Matlab, Python...) pour résoudre des problèmes de minimisation, type régression linéaire/non linéaire, méthode de Newton...

- être capable d'appliquer la minimisation fonctionnelle et les équations d'Euler-Lagrange pour des systèmes simples

#### Description

1. Minimisation libre et sous contrainte, multiplicateurs de Lagrange, convexité
2. Application 1 : Régression non linéaire, calage de modèles,
3. Application 2 : Méthode de Newton pour la recherche des points d'équilibre
4. Optimisation fonctionnelle
5. Application : surfaces minimales

#### Responsable(s)

BERGEZ VLADIMIR

#### Méthode d'enseignement

En présence

#### Bibliographie

- \* Engineering Optimization (Theory and Practice) - Auteur : RAO S.S
- \* Operations Research, 2nd edition - Auteur : TAHA H.A - Editeur : Collier-McMillan
- \* Linear and Nonlinear Programming - Auteur : LUENBERGER D.G

### - Matière Matlab

#### Responsable(s)

BERGEZ VLADIMIR

### - UE SIGNAL ET AUTOMATIQUE

#### Responsable(s)

HARRAN GILLES

### - Matière Signal et Automatique

#### Objectifs

L'objectif est d'acquérir des outils de l'ingénieur en traitement du signal déterministe et en automatique à temps continu, pour une première approche des principaux aspects liés aux vibrations mécaniques dans un contexte industriel : la modélisation, la mesure, le contrôle. La modélisation à paramètres localisés (lumped parameters) est privilégiée.

#### Description

Le module se compose de deux parties :

#### I Analyse Modale Expérimentale (4 CM, 6TD, 1TP) :

- \* Modèle SLI Système Linéaire Invariant
- \* Introduction aux concepts d'organisation et d'interaction.
- \* Fonction de Réponse en Fréquence (F.R.F).
- \* Mode oscillatoire et apériodique. Stabilité.
- \* Propriété de convolution. Effet mémoire.
- \* Filtrage (RII, RIF).
- \* Introduction au concept de signal (analyse de Fourier)

\* Techniques numériques d'identification

- 1 . Conséquences de la troncature temporelle (fuite spectrale, résolution)
- 2 . Effets d'échantillonnage temporel (repliement spectral, th. de Shannon)
- 3 . TF discrète (Th de Shannon réciproque)

TP Analyse Modale Expérimentale : Identification modale (par marteau d'impact) et détection des défauts d'une machine tournante (suivi temps réel par Simulink RTW, problématique de mise en marche et arrêt de machine). Résonance et anti-résonance d'un système à 2 ddl.

## II APP Vibrations Sous Contrôle (projet par équipe)

Par un Apprentissage Par Projet, les étudiants s'approprient des concepts et connaissances élémentaires pour contrôler un processus hydromécanique. L'équipe pédagogique (5 tuteurs, un expert) a défini des objectifs d'apprentissage suivant :

- \* Le concept de système pour représenter un processus physique.
- \* Savoir traduire l'organisation (les interactions naturelles ou artificielles) d'un système par un schéma fonctionnel récursif (bouclé).
- \* Être capable de traduire les phénomènes de sa spécialité, par associations de modèles élémentaires: effet Inertiel, Résistif, Capacitif.
- \* Identifier un processus hydromécanique élémentaire par analyse de la réponse à une sollicitation déterministe (modèle de comportement)
- \* Linéariser un modèle non linéaire autour d'un point de fonctionnement pour obtenir un modèle L.T.I. (Système Linéaire Invariant) en transfert.
- \* Déterminer la stabilité d'un système asservi par le critère de Nyquist.
- \* Comprendre les risques de l'architecture bouclée (influence des retards de phase sur la stabilité).
- \* Comprendre l'intérêt de l'architecture bouclée pour la performance (pour la stabilité, pour gérer les perturbations).
- \* Savoir adapter un contrôleur Proportionnel tenant compte des antagonismes entre les performances (stabilité/précision, rapidité/sensibilité aux bruits).

Un « coach agile » accompagne les équipes pour la gestion de projet (méthode SCRUM).

### Responsable(s)

SEBILLEAU Julien  
julien.sebilleau@imft.fr

HARRAN Gilles  
Gilles.Harran@imft.fr  
Tel. 2884

HARRAN GILLES

### Méthode d'enseignement

En présence

## - UE MECANIQUE DES FLUIDES 3

### Responsable(s)

PRAUD OLIVIER  
MOUGEL JEROME

## - Matière Ecoulement à grand Reynolds

### Objectifs

Assimiler le formalisme des écoulements potentiels dans l'objectif d'introduire des bases pour la modélisation d'écoulement à grands Reynolds et en particulier pour l'aérodynamique. Une introduction à la dynamique de la vorticité est également proposée.



## Description

- Superposition d'écoulements potentiels.
- Efforts exercés par un écoulement potentiel sur un obstacle (formules de Blasius).
- Paradoxe de d'Alembert, théorème de Joukowski.
- Condition de Kutta.
- Méthode de la transformation conforme pour obtenir la portance d'un profil d'aile (exemple de la transformation de Joukovsky).
- Notions de base de dynamique tourbillonnaire.

Cet enseignement se décomposera en 5 Cours et 6 TD.

### Responsable(s)

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

PRAUD Olivier  
Olivier.Praud@imft.fr  
Tel. 2925

MOUGEL JEROME

### Bibliographie

Page cours moodle : <http://moodle-n7.inp-toulouse.fr/course/view.php?id=458>

## - Matière Ecoulement bas Reynolds

### Pré-requis nécessaires

Mécanique des fluides 1

### Objectifs

L'objet de ce cours est de décrire les phénomènes hydrodynamiques particuliers que l'on rencontre à petit nombre de Reynolds. Les équations de base sont commentées, analysées et résolues dans des géométries simples.

### Compétences visées

Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.

Aptitude à concevoir, développer et caractériser des systèmes de contrôle pour la régulation et la commande de dispositifs hydrauliques et énergétiques et pour le développement des systèmes nomades et embarqués.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques

### Description

Introduction :  $Re \ll 1$  qu'est ce que l'inertie ? et applications

Équations de base et différentes formulations

Propriétés spécifiques (linéarité, réversibilité, réciprocity) et conséquences.

Solutions fondamentales des équations de Stokes

Cellule de Hele-Shaw

Lubrification (palier hydraulique)

Ecoulements dans les couches minces

Calcul de la force de stokes

**Volume horaire**

12,5

**Responsable(s)**

TORDJEMAN PHILIPPE

**Bibliographie**

Hydrodynamique physique Guyon, Hulin Petit

**- Matière Bulles, gouttes, Particules**

**Description**

I. Bulles, gouttes et particules (5 séances de cours, 2 séances de TD)

1) Introduction: Enjeux industriels et environnementaux

des bulles gouttes et particules de l'énergétique et procédés à l'environnement

2) Les différents types de particules.

Nature de la particule vs condition surface (notion de tensio-actif)

Structure de l'écoulement et du sillage/ production de vorticité

Effet de forme (deformabilite des particules fluides: sphériques, ellipsoïdales, colottes) => limitation du cours

3) Vitesse terminale ( <=> La traînée)

pour chaque cas: solution avec les mains (arguments physiques) puis solution analytique

3a) Loi de Stokes : régime visqueux

3b) Loi de Newton: régime inertiel

3c) Loi de Levich (Dissipation de l'ecoulement potentiel visqueux)

4) Masse ajoutée

Energie cinétique, Impulsion, drift

5) Trajectoire

5a) Décomposition de Maxey

5b) Archimède généralisé

5c) Temps de relaxation

5d) Nombre de Stokes

Rq: un certain nombre d'effets dynamiques (  définir) devront être laissés de coté (et seront vus en 3H). Par exemple force d'histoire, lift, magnus.

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

## - UE CALCUL SCIENTIFIQUE 1

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

### - Matière Méthodes Numériques - Volumes finis

#### Objectifs

Comprendre les concepts fondamentaux de l'approche Volumes Finis. Savoir passer d'un problème physique continue à sa forme discrétisée en volumes finis.

#### Description

Introductions à la méthode des Volumes Finis.

Le principe de la méthode est introduit et les étapes de la mise en oeuvre sont détaillées sur la base d'exemples simples (équation de convection/diffusion) afin de permettre un passage aisé au codage.

Les séances de Bureau d'études associées consistent en la mise au point d'un programme rédigé en langage FORTRAN et exploité sur micro-ordinateur.

**Responsable(s)**  
STOUKOV ALEXEI

### - Matière Expériences numériques laminaires - Code FLUENT

#### Pré-requis nécessaires

Cours de MMC, mécanique des fluides (introduction)

#### Objectifs

- \* Présenter la structure d'un code de mécanique des fluides généraliste.
- \* Donner une méthode de décomposition d'un problème physique.
- \* Interpréter et critiquer les résultats du code.

#### Description

Présentation de la structure des codes généralistes de mécanique des fluides. - Apprendre à poser puis à décomposer un problème physique. - Introduire cette décomposition dans un code de calcul industriel (Fluent à l'heure actuelle). - Interpréter et critiquer les résultats du code sur différents exemples classiques du cours de mécanique des fluides de première année.

**Volume horaire**  
17.5

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Langue d'enseignement**  
français



## Composante

École Nationale Supérieure d'Électrotechnique d'Électronique d'Informatique d'Hydraulique et des Télécommunications

# Ingénieur ENSEEIHT Mécanique et Génie Hydraulique 2ème année

PLUS D'INFOS

Crédits ECTS : 60

## Organisation de la formation

### - Année 2A Méc-GH FISE

#### - Choix de Parcours S7-2A-Mécanique-GH FISE

A choix: 1 Parmi 1 :

#### - Sem 7 MF2E Parc. Programme Insertion Méthodologique (PIM)

#### - Choix d'UE Scientifique-MF2E

A choix: 3 Parmi 3 :

#### - UE MECANIQUE DES FLUIDES 4

Responsable(s)  
ALBAGNAC JULIE

#### - Matière Fluides complexes

##### Pré-requis nécessaires

Mécanique des milieux continus

Mécanique des fluides 1 et 2

##### Objectifs

Connaître et maîtriser les concepts de la mécanique des fluides complexes

##### Compétences visées

Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

##### Description

1/ Introduction- exemples d'applications  
5 grands types de fluides complexes : thixotrope, antithixotrope, pseudoplastique, dilatant, à seuil  
Effet de la différence des contraintes normales : effet Weissenberg, ...  
Exemples, applications, relation avec la microstructure, formulation  
Les fluides industriels et fluides environnementaux  
Notion de temps de relaxation, transition de phase, transition vitreuse, mélanges compatibles et incompatibles  
2/ Phénoménologie  
Les modèles analogiques mécaniques : Kelvin, Maxwell, Burger, ...  
Kelvin généralisé, Maxwell généralisé  
3/ Elasticité entropique  
Elasticité caoutchoutique, équation de Langevin  
4/ Mécanique des fluides complexes  
Lois de comportement et équation de conservation de la quantité de mouvement : objectivité, fluides de Reiner-Rivlin, fluides newtoniens généralisés, fluides pseudoplastics (écoulement bouchon), notion d'élasticité eulérienne, modèles de Maxwell corotationnel

et convecté (Oldroyd-B), modèles à intégrale simple (Lodge, Wagner,...)5/ Modèles moléculairesModèle de Rouse (polymère en solution)Fractalité et comportement autosimilaire – modélisation6/ Rhéologie expérimentaleRhéométries plan-plan, cône-plan, Couette, capillaire, élongationnelle

**Volume horaire**

17,5

**Responsable(s)**

TORDJEMAN PHILIPPE

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

français

**Bibliographie**

Rhéophysique P Oswald (Belin)

**- Matière Couches limites, jets et sillages laminaires**

**Objectifs**

Présentation des méthodes de calcul asymptotiques (fluide parfait, couches limites) et résolution analytique de problèmes simples en écoulement laminaire. Analyse des transferts en paroi (quantité de mouvement, flux de chaleur, transfert de masse)

**Description**

Rappels sur les écoulements de fluide parfait

Couches limites laminaires dynamiques, massiques et thermiques

- Localisation des effets visqueux dans les écoulements de fluides réels à grand nombre de Reynolds : bilan advection-diffusion

- Paramètres caractéristiques des couches limites : épaisseurs, transferts en paroi

- Equations locales de la couche limite dynamique isovolume: modèle de Prandtl - décollements

- Equations intégrales et bilans globaux en évolution isovolume : équations de von Karman

Méthodes et exemples de calcul des écoulements de couche limite

- Résolution des équations locales

- Calcul par méthode intégrale : équations de von Karman-Polhausen- Exemples de calculs : plaque plane, jet d'impactâ€

Titre TP associé(s) : Couche limite sur plaque plane à l'ENSICA

**Responsable(s)**

ALBAGNAC JULIE

**- UE MECANIQUE DES FLUIDES 5**

**Responsable(s)**

ZAMANSKY RÉMI

**- Matière Introduction aux écoulements turbulents**

### **Pré-requis nécessaires**

- Base de mécanique des milieux continus et de mécanique des fluides (notion de contraintes, équations de Navier-Stokes)
- Notions de statistique et de traitement du signal (moment, corrélation, spectre, fonction de distribution)

### **Objectifs**

- Présentation des méthodes classiques de traitement et de résolution des écoulements turbulents
- Introduction du concept de viscosité turbulente ainsi que les hypothèses et limitations qui y sont associées
- Application aux cas d'écoulements turbulents canoniques (jet, couche limite ...)
- Introduction phénoménologique de la statistique des champs turbulents (statistiques multi point - temps) et aux aspects de dispersion et mélange par les écoulements turbulents
- Ouverture sur les différentes stratégies de simulation numérique des écoulements turbulents.

### **Compétences visées**

- Estimation des échelles caractéristiques d'un écoulement turbulent
- Compréhension des modèles de viscosité turbulente
- Compréhension des notions de séparation d'échelles
- Compréhension des notions d'autosimilarité

### **Description**

- 9 cours
- 6 TD
- 2 TP machine
- 2 TP expérimental
- 1 exam

### **Cours d'introduction aux écoulements turbulents**

- 1- Introduction
- 2- Rappel de statistique et dérivation des équations de Reynolds
- 3- Écoulements librement cisailés (jets, sillages, couche de mélanges)
- 4- Écoulements de parois (couches limites, conduites)
- 5- Mélange turbulent et convection naturelle
- 6- Structure de la turbulence

**Responsable(s)**  
ZAMANSKY RÉMI

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Langue d'enseignement**  
Français

## Bibliographie

- [1] H. Tennekes et J. L. Lumley : A First Course in Turbulence. MIT Press, 1972.
- [2] E. Guyon, J.-P. Hulin et L. Petit : Hydrodynamique physique. EDP Sciences, 3e édition, 2012.
- [3] P. Chassaing : Turbulence en mécanique des fluides. Cépaduès-éditions, Collection POLYTECH, 2000.
- [4] S. B. Pope : Turbulent Flows. Cambridge University Press, 2000.
- [5] P. Davidson : Turbulence : An Introduction for Scientists and Engineers. OUP Oxford, 2004.
- [6] J. Mathieu et J. Scott : An Introduction to Turbulent Flow. Cambridge, 2000.

## - Matière Introduction aux Instabilités

### Objectifs

Les objectifs du cours sont les suivants :

- Explorer les outils mathématiques simples pour déterminer si un équilibre est stable ou instable.
- Appréhender la compréhension physique d'écoulements fluides à travers l'étude de leurs instabilités.

### Description

- Instabilité de Kelvin-Helmoltz
- Instabilité de Rayleigh-Bénard
- Linéarisation autour de l'équilibre

### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

LIOT Olivier  
olivier.liot@enseeiht.fr

THUAL OLIVIER

### Bibliographie

- [1] P. BERGE, Y. POMEAU, C. VIDAL, L'ordre dans le chaos, Hermann, 1984.
- [2] S. CHANDRASEKHAR, Hydrodynamic and hydromagnetic stability, Clarendon Press, 1981.
- [3] F. CHARRU, Instabilités hydrodynamiques, EDP Sciences, 2007.
- [4] P. G. DRAZIN, W. H. REID, Hydrodynamic Stability, Cambridge University Press, 2nd Edition, 2004.
- [5] E. GUYON, J.-P. HULIN, L. PETIT, Hydrodynamique physique, EDP Sciences, nouvelle 2ditions, 2001.
- [6] O. THUAL, Des ondes et des fluides, Cépaduès-Éditions, 2005.



[7] O. THUAL, [Hydrodynamique de l'environnement](#), Éditions de l'École Polytechnique, 2010.

[8] O. THUAL, Pédagothèque Dynamique, <http://thual.perso.enseeiht.fr/ofices>

[9] <http://moodle-n7.inp-toulouse.fr/course/view.php?id=350>

## - UE MECANIQUE 2

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

### - Matière Dynamiques des Ondes

#### Pré-requis nécessaires

Compétences en mécanique des fluides de la première année MFEE

#### Objectifs

À l'issue des cours magistraux et des travaux dirigés sur la dynamique des vibrations des cordes tendues, des ondes sonores, des ondes de surface et des ondes élastiques, les étudiants de ce cours seront capables de :

- \* produire rapidement la version linéarisée d'un modèle,
- \* illustrer avec précision les oscillations des champs physiques,
- \* appliquer rapidement la méthode de résolution de l'équation des ondes,
- \* générer avec recul des calculs de coefficients de réflexion et de transmission,
- \* générer sans erreur la relation de dispersion des ondes,
- \* comparer systématiquement leurs vitesses de phase et de groupe,
- \* expliquer le phénomène de paquets d'ondes,
- \* décrire qualitativement la réponse impulsionnelle d'un milieu.
- \* lire et assimiler une part importante des concepts et développements d'un livre de référence sur le sujet, en langue anglaise.

[Cliquer ici pour voir la vidéo](#)

<https://is.gd/FloVxU>

#### Compétences visées

- \* Connaître et maîtriser les concepts et principes de la mécanique des fluides.
- \* Connaître et maîtriser les principes de base de la mécanique des solides et des structures.
- \* Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.
- \* Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.
- \* Maîtrise des méthodes et outils de l'ingénieur et d'un large champ disciplinaire

#### Description

Cet enseignement est composé de 4 cours magistraux, trois TD, un Bureau d'étude sur le jeu sérieux "Trafic routier", un devoir maison et un examen écrit.

Cours magistraux et TD

Les chapitres suivants du livre de référence (Wave motion) sont abordés dans l'ordre suivant :

## 7. Formation et propagation des ondes de choc

1. Concepts de base
2. Ondes le long d'une corde tendue
3. Ondes sonores
4. Ondes de surface linéaires
5. Ondes dans un solide élastique

La présentation orale met en relief la généralité des concepts étudiés et une place importante sera accordée à la compréhension des calculs présentés dans le livre dans le but de bien l'assimiler. Des illustrations numériques sont développées.

Bureau d'Étude sur le jeu sérieux "Trafic routier"

- \* [Lien vers le simulateur de trafic routier](#)
- \* [Lien vers la ressource pédagogique numérique associée](#)

Objectifs : À l'issue du projet sur la dynamique de ce modèle de trafic routier, les étudiants de ce cours sauront appliquer la méthode des caractéristiques pour calculer l'évolution d'une densité de voitures en présence de petites perturbations ou de perturbations importantes comme l'alternance d'un feu de signalisation.

### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

THUAL OLIVIER

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Français

### Bibliographie

- \* J. BILLINGHAM and A.C. KING - Editeur : Cambridge University Press , 2006 - ISBN : 9780521634502
- \* J.-F. PARMENTIER et O. THUAL, [Modèle de trafic routier et caractéristiques](#), Éd. Ress. Pédago. Ouv. INPT 1013 (2012) 6h
- \* Étagère du cours ScholarVox : [Dynamique des ondes](#)

## - Matière Introduction à la mécanique des structures

### Objectifs

Introduire les concepts de base permettant de traiter un problème de mécanique des structures. A l'issu de ce cours, les étudiants seront capables de traiter des problèmes de statique et dynamique d'une structure soumise à un chargement ainsi que des problèmes de flambement d'une structure.

### Compétences visées

- Géométrie des poutres et introduction du visseur.
- Effort normal.

- Moment de flexion.
- Effort tranchant.
- Méthodes énergétiques (théorème de Castigiano, théorème de Ménabréa, méthode de la charge fictive, théorème de Maxwell-Betti).
- Modélisation du flambement d'une structure.
- Dynamique des structures (méthode de Rayleigh, méthode de Ritz, introduction à la méthode des éléments finis).

Cet enseignement se décomposera en 8 cours et 10 TD.

**Responsable(s)**  
DARTUS Denis  
Denis.Dartus@enseeiht.fr  
Tel. 2006/2859

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

MOUGEL JEROME

#### **Bibliographie**

Page cours moodle : <http://moodle-n7.inp-toulouse.fr/course/view.php?id=77>

## **- UE CALCUL SCIENTIFIQUE 2**

### **Pré-requis nécessaires**

- Notions d'analyse des schémas numériques pour les EDP
- Notions de programmation (python, C, fortran, etc)
- Notions sur la méthode des volumes finis

### **Objectifs**

Résoudre par simulation numérique des problèmes de mécanique des fluides via:

- l'utilisation de codes de calcul industriels
- le développement de codes de calculs de résolution d'équations aux dérivées partielles en 2 dimensions.

**Responsable(s)**  
BONOMETTI THOMAS

## **- Matière Expériences Numériques de MKF-FLUENT & Star-CD**

### **Pré-requis nécessaires**

- Connaissance en mécanique des fluides
- La manipulation antérieure d'un code de calcul est préférable

### **Objectifs**

Présenter la structure d'un code de mécanique des fluides généraliste. Interpréter les résultats du code en apportant une expertise critique basée sur les acquis des cours de mécanique des fluides de deuxième année.

### **Compétences visées**

Maitriser l'utilisation d'un code généraliste de calcul en mécanique des fluides

Maitriser les modèles de turbulence usuels

Analyser les performances des méthodes de traitement aux parois

### **Description**

Illustration des cours de mécanique des fluides de deuxième année.

Interpréter et critiquer les résultats du code sur différents exemples classiques : Ecoulement turbulent dans un tube, et mini-projet sur un cas avancé

### **Volume horaire**

15,75

### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

### **Méthode d'enseignement**

En présence

### **Langue d'enseignement**

Français

### **Bibliographie**

- voir Moodle

## **- Matière Méthodes Numériques pour les EDP**

### **Pré-requis nécessaires**

- Notions d'analyse des schémas numériques pour les EDP
- Notions de programmation (python, C, fortran, etc)
- Notions sur la méthode des volumes finis

### **Objectifs**

- Découvrir les problématiques associées à la résolution d'EDP par des schémas implicites et à la résolution de grands systèmes linéaires.

- Etre en mesure de partir d'un logiciel existant de résolution d'une équation aux dérivées partielles (équation d'advection-diffusion 2D / code écrit en Fortran 90 / schémas explicites) et de le modifier de sorte à implémenter un schéma numérique implicite

### **Description**

2 séances de cours magistral:

- Rappel sur les schémas explicites/implicites et la méthode des volumes finis
- Introduction aux méthodes directes et itératives de résolution de systèmes linéaires

8 séances de projet:

- 1 séance de prise en main du code explicite
- 1 séance en salle de TD pour écrire le schéma implicite
- 6 séances d'implémentation et d'exploitation du schéma implicite

**Responsable(s)**  
BONOMETTI Thomas  
Thomas.Bonometti@imft.fr  
Tel. 2952

BONOMETTI THOMAS

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Langue d'enseignement**  
Anglais

## - Matière Processus Stochastiques

**Responsable(s)**  
BERGEZ WLADIMIR

## - UE TRANSFERTS

**Responsable(s)**  
BERGEZ WLADIMIR

### - Matière Echanges Thermiques et Massiques

#### Objectifs

Ce cours a pour objectif d'introduire les trois grands mécanismes de transfert de la chaleur (conduction, convection, rayonnement) que l'ingénieur en mécanique des fluides peut être amené à rencontrer dans son métier. Ce cours doit permettre d'acquérir des méthodes de calcul des ordres de grandeurs des échanges thermiques sur des systèmes technologiques ou naturels. Ce cours s'appuie sur le livre Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Bergman et al..

#### Compétences visées

- être capable de calculer un flux de chaleur ou une résistance thermique dans les cas de conduction stationnaire
- être capable de calculer, à l'aide de corrélations, un coefficient d'échange de chaleur pour des écoulements incompressibles externes ou internes, ou en convection naturelle
- être capable d'utiliser les règles de dimensionnement et de calcul des échangeurs de chaleur basées sur le Nombre d'Unité de Transfert (NTU)
- être capable de manipuler des grandeurs spectrales ou directionnelles du rayonnement thermique (luminance, émittance, irradiance...)
- être capable de calculer des flux rayonnés entre surfaces

#### Description

1. Introduction : les différents mécanismes d'échange, bilans d'énergie, exemples d'application.
2. Conduction : problèmes stationnaires 1D et 2D, problèmes instationnaires.

3. Convection : convection forcée, écoulements externes et internes, convection naturelle, équations de conservation, couches limites et approches empiriques.
4. Rayonnement : physique du rayonnement, corps noirs, propriété des surfaces, interaction entre surfaces.
5. TP : thermographie infrarouge, mesure de la conductivité et de la diffusivité d'un sable.

**Responsable(s)**  
BERGEZ WLADIMIR

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Bibliographie**

T.L. Bergman, A.S. Lavine, F.P. Incropera, D.P. Dewitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, J. Wiley

**- Matière Transfert en Milieux Poreux**

**Pré-requis nécessaires**

Aucun pré-requis

Des connaissances en mécanique des fluides et mécanique des milieux continus de base (poiseuille, manipulation d'opérateurs, ...)

**Objectifs**

Les notions de base concernant les milieux poreux sont présentées.

La compréhension des déplacements d'humidité en milieux poreux sous l'effet de la gravité ou de la capillarité est abordée. On étudiera la résolution des problèmes d'écoulement en milieu poreux que ce soit en régime transitoire ou permanent.

In fine, l'étudiant suivant ce cours saura modéliser le transport de masse en milieu poreux en ayant abordé la problématique du changement d'échelle. Cet enseignement recouvre des domaines applicatifs larges: hydraulique souterraine, génie pétrolier, techniques de séchage, génie civil, agriculture, etc...

Il sert de base aux cours de spécialité de 3ème année en hydrologie ou milieu poreux multiphasique.

**Compétences visées**

- Développer la notion de changement d'échelle
- maîtriser la relation structure/propriétés en milieu poreux pour les écoulements fluide
- maîtriser les lois d'écoulement à l'échelle de Darcy
- développer la notion de changement d'échelle pour le transport de masse en milieu poreux

**Description**

- \* Description et caractérisation des différentes structures physiques les plus couramment rencontrées dans les milieux poreux. Définition de paramètres propres à leur étude.
- \* Présentation de certaines méthodes de résolution d'écoulements simples se produisant en hydraulique souterraine (Loi de Darcy, Ecoulements à surface libre, Ecoulements non permanents).
- \* Transport de masse en milieu poreux : établissement de l'équation de dispersion avec illustration du transport de soluté actif ou non au sein d'une matrice poreuse.

**Volume horaire**  
15,75

**Responsable(s)**  
DEBENEST Gerald  
gerald.debenest@enseeiht.fr  
Tel. 2050/2876

DEBENEST GERALD

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français

**Bibliographie**

- Cours Moodle
- transparents de cours
- exercices corrigés

**- UE SOFT AND HUMAN SKILLS****Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

**- Matière Professional English -Lv1-Sem.7****Pré-requis nécessaires**

Aucun.

**Objectifs**

Développer ses compétences en communication professionnelle en effectuant des tâches de communication courantes, écrites et orales, en anglais.

**Compétences visées**

- 1) Effectuer une présentation technique ou scientifique en anglais.
- 2) Développer son réseau professionnel (LinkedIn) ; contacter et interviewer un alumni (en anglais de préférence).
- 3) Rédiger un rapport écrit de son entretien alumni en anglais ; préparer les documents (CV, lettre, PowerPoint) en anglais pour son Projet Professionnel Personnel (PPP).

**Description**

1 semestre de 12 séances interactives et hebdomadaires.

**Volume horaire**

21 heures

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Anglais

**Bibliographie**

\* Gallo, C. (2014). *Talk Like TED: The 9 Public-speaking Secrets of the World's Top Minds*. St. Martin's Press.

\* Treu, J. (2014). *Social Wealth: How to Build Extraordinary Relationships By Transforming the Way We Live, Love, Lead and Network*. Be Extraordinary LLC.

\* Garner, B. A. (2013). *HBR Guide to Better Business Writing (HBR Guide Series)*. Harvard Business Review Press.

**· LV2-2ème Année-S7**

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

A choix: 1 Parmi 1 :

**· Matière Espagnol-S7**

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

**· Matière Portugais-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**· Matière Chinois-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**· Matière Italien-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**· Matière Japonais-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**· Matière Russe-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**· Matière Allemand-S7**

**Responsable(s)**  
CLOUZEAU MARTINA

**· Matière FLE - S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN



**- Matière EPS-2A-Sem.7**

**Responsable(s)**  
MIGEON PASCALE

**- Elp à choix SHS-S7**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Careers, Leadership et Management-S7**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Innovation-Entreprenariat-S7**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- UE FRANCAIS LANGUE ETRANGERE (FLE (PIM)**

**- Matière Français Langue Etrangère (FLE (PIM)**

**- UE PROJET FLE (PIM)**

**- Matière Projet FLE (PIM)**

**- Semestre 7 MF2E Parcours N7-2A-Mécanique-GH FISE**

**- UE SOFT AND HUMAN SKILLS**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Professional English -Lv1-Sem.7**

**Pré-requis nécessaires**

Aucun.

## Objectifs

Développer ses compétences en communication professionnelle en effectuant des tâches de communication courantes, écrites et orales, en anglais.

## Compétences visées

- 1) Effectuer une présentation technique ou scientifique en anglais.
- 2) Développer son réseau professionnel (LinkedIn) ; contacter et interviewer un alumni (en anglais de préférence).
- 3) Rédiger un rapport écrit de son entretien alumni en anglais ; préparer les documents (CV, lettre, PowerPoint) en anglais pour son Projet Professionnel Personnel (PPP).

## Description

1 semestre de 12 séances interactives et hebdomadaires.

## Volume horaire

21 heures

## Méthode d'enseignement

En présence

## Langue d'enseignement

Anglais

## Bibliographie

- \* Gallo, C. (2014). *Talk Like TED: The 9 Public-speaking Secrets of the World's Top Minds*. St. Martin's Press.
- \* Treu, J. (2014). *Social Wealth: How to Build Extraordinary Relationships By Transforming the Way We Live, Love, Lead and Network*. Be Extraordinary LLC.
- \* Garner, B. A. (2013). *HBR Guide to Better Business Writing (HBR Guide Series)*. Harvard Business Review Press.

## - LV2-2ème Année-S7

### Responsable(s)

BLANCO ANDRE

A choix: 1 Parmi 1 :

### - Matière Espagnol-S7

#### Responsable(s)

BLANCO ANDRE

### - Matière Portugais-S7

#### Responsable(s)

RYAN STEPHEN

### - Matière Chinois-S7

#### Responsable(s)

RYAN STEPHEN

**- Matière Italien-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Japonais-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Russe-S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Allemand-S7**

**Responsable(s)**  
CLOUZEAU MARTINA

**- Matière FLE - S7**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière EPS-2A-Sem.7**

**Responsable(s)**  
MIGEON PASCALE

**- EIp à choix SHS-S7**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Careers, Leadership et Management-S7**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Innovation-Entreprenariat-S7**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- UE MECANIQUE DES FLUIDES 4**

## **- Matière Fluides complexes**

### **Pré-requis nécessaires**

Mécanique des milieux continus

Mécanique des fluides 1 et 2

### **Objectifs**

Connaître et maîtriser les concepts de la mécanique des fluides complexes

### **Compétences visées**

Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

### **Description**

1/ Introduction- exemples d'applications5 grands types de fluides complexes : thixotrope, antithixotrope, pseudoplastic, dilatant, à seuilEffet de la différence des contraintes normales : effet Weissenberg, ...Exemples, applications, relation avec la microstructure, formulationLes fluides industriels et fluides environnementauxNotion de temps de relaxation, transition de phase, transition vitreuse, mélanges compatibles et incompatibles2/ PhénoménologieLes modèles analogiques mécaniques : Kelvin, Maxwell, Burger, ...Kelvin généralisé, Maxwell généralisé 3/ Elasticité entropiqueÉlasticité caoutchoutique, équation de Langevin4/ Mécanique des fluides complexesLois de comportement et équation de conservation de la quantité de mouvement : objectivité, fluides de Reiner-Rivlin, fluides newtoniens généralisés, fluides pseudoplastics (écoulement bouchon), notion d'élasticité eulérienne, modèles de Maxwell corotationnel et convecté (Oldroyd-B), modèles à intégrale simple (Lodge, Wagner,..)5/ Modèles moléculairesModèle de Rouse (polymère en solution)Fractalité et comportement autosimilaire – modélisation6/ Rhéologie expérimentaleRhéométries plan-plan, cône-plan, Couette, capillaire, élongationnelle

### **Volume horaire**

17,5

### **Responsable(s)**

TORDJEMAN PHILIPPE

### **Méthode d'enseignement**

En présence

### **Langue d'enseignement**

français

### **Bibliographie**

Rhéophysique P Oswald (Belin)

## **- Matière Couches limites, jets et sillages laminaires**

### **Objectifs**

Présentation des méthodes de calcul asymptotiques (fluide parfait, couches limites) et résolution analytique de problèmes simples en écoulement laminaire. Analyse des transferts en paroi (quantité de mouvement, flux de chaleur, transfert de masse)

### **Description**

Rappels sur les écoulements de fluide parfait

Couches limites laminaires dynamiques, massiques et thermiques

- Localisation des effets visqueux dans les écoulements de fluides réels à grand nombre de Reynolds : bilan advection-diffusion

- Paramètres caractéristiques des couches limites : épaisseurs, transferts en paroi
- Equations locales de la couche limite dynamique isovolume: modèle de Prandtl - décollements
- Equations intégrales et bilans globaux en évolution isovolume : équations de von Karman

Méthodes et exemples de calcul des écoulements de couche limite

- Résolution des équations locales
- Calcul par méthode intégrale : équations de von Karman-Polhausen- Exemples de calculs : plaque plane, jet d'impact

Titre TP associé(s) : Couche limite sur plaque plane à l'ENSICA

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

## - UE MECANIQUE DES FLUIDES 5

**Responsable(s)**  
ZAMANSKY RÉMI

### - Matière Introduction aux écoulements turbulents

#### Pré-requis nécessaires

- Base de mécanique des milieux continus et de mécanique des fluides (notion de contraintes, équations de Navier-Stokes)
- Notions de statistique et de traitement du signal (moment, corrélation, spectre, fonction de distribution)

#### Objectifs

- Présentation des méthodes classiques de traitement et de résolution des écoulements turbulents
- Introduction du concept de viscosité turbulente ainsi que les hypothèses et limitations qui y sont associées
- Application aux cas d'écoulements turbulents canoniques (jet, couche limite ...)
- Introduction phénoménologique de la statistique des champs turbulents (statistiques multi point - temps) et aux aspects de dispersion et mélange par les écoulements turbulents
- Ouverture sur les différentes stratégies de simulation numérique des écoulements turbulents.

#### Compétences visées

- Estimation des échelles caractéristiques d'un écoulement turbulent
- Compréhension des modèles de viscosité turbulente
- Compréhension des notions de séparation d'échelles
- Compréhension des notions d'autosimilarité

#### Description

- 9 cours
- 6 TD
- 2 TP machine
- 2 TP expérimental

- 1 exam

Cours d'introduction aux écoulement turbulent

1- Introduction

2- Rappel de statistique et dérivation des équations de Reynolds

3- Ecoulements librement cisailés (jets, sillages, couche de mélanges)

4- Ecoulements de parois (couches limites, conduites)

5- Mélange turbulent et convection naturelle

6- Structure de la turbulence

**Responsable(s)**

ZAMANSKY RÉMI

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français

**Bibliographie**

[1] H. Tennekes et J. L. Lumley : A First Course in Turbulence. MIT Press, 1972.

[2] E#. Guyon, J.-P. Hulin et L. Petit : Hydrodynamique physique. EDP Sciences, 3e édition édition, 2012.

[3] P. Chassaing : Turbulence en mécanique des fluides. Ce#paude#s-e#ditions, Collection POLYTECH, 2000.

[4] S. B. Pope : Turbulent Flows. Cambridge University Press, 2000.

[5] P. Davidson : Turbulence : An Introduction for Scientists and Engineers. OUP Oxford, 2004.

[6] J. Mathieu et J. Scott : An Introduction to Turbulent Flow. Cambridge, 2000.

**- Matière Introduction aux Instabilités**

**Objectifs**

Les objectifs du cours sont les suivants :

- Explorer les outils mathématiques simples pour déterminer si un équilibre est stable ou instable.
- Appréhender la compréhension physique d'écoulements fluides à travers l'étude de leurs instabilités.

**Description**

- Instabilité de Kelvin-Helmoltz
- Instabilité de Rayleigh-Bénard
- Linéarisation autour de l'équilibre

**Responsable(s)**

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

LIOT Olivier  
olivier.liot@enseeiht.fr

THUAL OLIVIER

**Bibliographie**

- [1] P. BERGE, Y. POMEAU, C. VIDAL, L'ordre dans le chaos, Hermann, 1984.
- [2] S. CHANDRASEKHAR, Hydrodynamic and hydromagnetic stability, Clarendon Press, 1981.
- [3] F. CHARRU, Instabilités hydrodynamiques, EDP Sciences, 2007.
- [4] P. G. DRAZIN, W. H. REID, Hydrodynamic Stability, Cambridge University Press, 2nd Edition, 2004.
- [5] E. GUYON, J.-P. HULIN, L. PETIT, Hydrodynamique physique, EDP Sciences, nouvelle 2ditions, 2001.
- [6] O. THUAL, Des ondes et des fluides, Cépaduès-Éditions, 2005.
- [7] O. THUAL, [Hydrodynamique de l'environnement](#), Éditions de l'École Polytechnique, 2010.
- [8] O. THUAL, Pédagothèque Dynamique, <http://thual.perso.enseeiht.fr/ot/ces>
- [9] <http://moodle-n7.inp-toulouse.fr/course/view.php?id=350>

**- UE MECANIQUE 2**

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

**- Matière Dynamiques des Ondes****Pré-requis nécessaires**

Compétences en mécanique des fluides de la première année MFEE

**Objectifs**

À l'issue des cours magistraux et des travaux dirigés sur la dynamique des vibrations des cordes tendues, des ondes sonores, des ondes de surface et des ondes élastiques, les étudiants de ce cours seront capables de :

- \* produire rapidement la version linéarisée d'un modèle,
- \* illustrer avec précision les oscillations des champs physiques,
- \* appliquer rapidement la méthode de résolution de l'équation des ondes,
- \* générer avec recul des calculs de coefficients de réflexion et de transmission,
- \* générer sans erreur la relation de dispersion des ondes,
- \* comparer systématiquement leurs vitesses de phase et de groupe,
- \* expliquer le phénomène de paquets d'ondes,

- \* décrire qualitativement la réponse impulsionnelle d'un milieu.
- \* lire et assimiler une part importante des concepts et développements d'un livre de référence sur le sujet, en langue anglaise.

[Cliquer ici pour voir la vidéo](#)

<https://is.gd/FloVxU>

### Compétences visées

- \* Connaître et maîtriser les concepts et principes de la mécanique des fluides.
- \* Connaître et maîtriser les principes de base de la mécanique des solides et des structures.
- \* Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.
- \* Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.
- \* Maîtrise des méthodes et outils de l'ingénieur et d'un large champ disciplinaire

### Description

Cet enseignement est composé de 4 cours magistraux, trois TD, un Bureau d'étude sur le jeu sérieux "Trafic routier", un devoir maison et un examen écrit.

Cours magistraux et TD

Les chapitres suivants du livre de référence (Wave motion) sont abordés dans l'ordre suivant :

7. Formation et propagation des ondes de choc

1. Concepts de base

2. Ondes le long d'une corde tendue

3. Ondes sonores

4. Ondes de surface linéaires

5. Ondes dans un solide élastique

La présentation orale met en relief la généralité des concepts étudiés et une place importante sera accordée à la compréhension des calculs présentés dans le livre dans le but de bien l'assimiler. Des illustrations numériques sont développées.

Bureau d'Étude sur le jeu sérieux "Trafic routier"

- \* [Lien vers le simulateur de trafic routier](#)
- \* [Lien vers la ressource pédagogique numérique associée](#)

Objectifs : À l'issue du projet sur la dynamique de ce modèle de trafic routier, les étudiants de ce cours sauront appliquer la méthode des caractéristiques pour calculer l'évolution d'une densité de voitures en présence de petites perturbations ou de perturbations importantes comme l'alternance d'un feu de signalisation.

### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

THUAL OLIVIER



**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français

**Bibliographie**

- \* J. BILLINGHAM and A.C. KING - Editeur : Cambridge University Press , 2006 - ISBN : 9780521634502
- \* J.-F. PARMENTIER et O. THUAL, [Modèle de trafic routier et caractéristiques](#), Éd. Ress. Pédago. Ouv. INPT 1013 (2012) 6h
- \* Étagère du cours ScholarVox : [Dynamique des ondes](#)

**- Matière Introduction à la mécanique des structures****Objectifs**

Introduire les concepts de base permettant de traiter un problème de mécanique des structures. A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de traiter des problèmes de statique et dynamique d'une structure soumise à un chargement ainsi que des problèmes de flambement d'une structure.

**Compétences visées**

- Géométrie des poutres et introduction du visseur.
- Effort normal.
- Moment de flexion.
- Effort tranchant.
- Méthodes énergétiques (théorème de Castigliano, théorème de Ménabréa, méthode de la charge fictive, théorème de Maxwell-Betti).
- Modélisation du flambement d'une structure.
- Dynamique des structures (méthode de Rayleigh, méthode de Ritz, introduction à la méthode des éléments finis).

Cet enseignement se décomposera en 8 cours et 10 TD.

**Responsable(s)**

DARTUS Denis  
Denis.Dartus@enseeiht.fr  
Tel. 2006/2859

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

MOUGEL JEROME

**Bibliographie**

Page cours moodle : <http://moodle-n7.inp-toulouse.fr/course/view.php?id=77>

**- UE CALCUL SCIENTIFIQUE 2****Pré-requis nécessaires**

- Notions d'analyse des schémas numériques pour les EDP
- Notions de programmation (python, C, fortran, etc)
- Notions sur la méthode des volumes finis

### **Objectifs**

Résoudre par simulation numérique des problèmes de mécanique des fluides via:

- l'utilisation de codes de calcul industriels
- le développement de codes de calculs de résolution d'équations aux dérivées partielles en 2 dimensions.

**Responsable(s)**  
BONOMETTI THOMAS

## **- Matière Expériences Numériques de MKF-FLUENT & Star-CD**

### **Pré-requis nécessaires**

Connaissance en mécanique des fluides  
La manipulation antérieure d'un code de calcul est préférable

### **Objectifs**

Présenter la structure d'un code de mécanique des fluides généraliste. Interpréter les résultats du code en apportant une expertise critique basée sur les acquis des cours de mécanique des fluides de deuxième année.

### **Compétences visées**

Maitriser l'utilisation d'un code généraliste de calcul en mécanique des fluides  
Maitriser les modèles de turbulence usuels  
Analyser les performances des méthodes de traitement aux parois

### **Description**

Illustration des cours de mécanique des fluides de deuxième année.

Interpréter et critiquer les résultats du code sur différents exemples classiques : Ecoulement turbulent dans un tube, et mini-projet sur un cas avancé

**Volume horaire**  
15,75

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Langue d'enseignement**  
Français

### **Bibliographie**

- voir Moodle

## **- Matière Méthodes Numériques pour les EDP**

### **Pré-requis nécessaires**

- Notions d'analyse des schémas numériques pour les EDP
- Notions de programmation (python, C, fortran, etc)
- Notions sur la méthode des volumes finis

### **Objectifs**

- Découvrir les problématiques associées à la résolution d'EDP par des schémas implicites et à la résolution de grands systèmes linéaires.
- Etre en mesure de partir d'un logiciel existant de résolution d'une équation aux dérivées partielles (équation d'advection-diffusion 2D / code écrit en Fortran 90 / schémas explicites) et de le modifier de sorte à implémenter un schéma numérique implicite

### **Description**

2 séances de cours magistral:

- Rappel sur les schémas explicites/implicites et la méthode des volumes finis
- Introduction aux méthodes directes et itératives de résolution de systèmes linéaires

8 séances de projet:

- 1 séance de prise en main du code explicite
- 1 séance en salle de TD pour écrire le schéma implicite
- 6 séances d'implémentation et d'exploitation du schéma implicite

### **Responsable(s)**

BONOMETTI Thomas  
Thomas.Bonometti@imft.fr  
Tel. 2952

BONOMETTI THOMAS

### **Méthode d'enseignement**

En présence

### **Langue d'enseignement**

Anglais

## **- Matière Processus Stochastiques**

### **Responsable(s)**

BERGEZ WLADIMIR

## **- UE TRANSFERTS**

### **Responsable(s)**

BERGEZ WLADIMIR

## **- Matière Echanges Thermiques et Massiques**

### **Objectifs**

Ce cours a pour objectif d'introduire les trois grands mécanismes de transfert de la chaleur (conduction, convection, rayonnement) que l'ingénieur en mécanique des fluides peut être amené à rencontrer dans son métier. Ce cours doit permettre d'acquérir des méthodes de calcul des ordres de grandeurs des échanges thermiques sur des systèmes technologiques ou naturels. Ce cours s'appuie sur le livre Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Bergman et al..

### Compétences visées

- être capable de calculer un flux de chaleur ou une résistance thermique dans les cas de conduction stationnaire
- être capable de calculer, à l'aide de corrélations, un coefficient d'échange de chaleur pour des écoulements incompressibles externes ou internes, ou en convection naturelle
- être capable d'utiliser les règles de dimensionnement et de calcul des échangeurs de chaleur basées sur le Nombre d'Unité de Transfert (NTU)
- être capable de manipuler des grandeurs spectrales ou directionnelles du rayonnement thermique (luminance, émittance, irradiance...)
- être capable de calculer des flux rayonnés entre surfaces

### Description

1. Introduction : les différents mécanismes d'échange, bilans d'énergie, exemples d'application.
2. Conduction : problèmes stationnaires 1D et 2D, problèmes instationnaires.
3. Convection : convection forcée, écoulements externes et internes, convection naturelle, équations de conservation, couches limites et approches empiriques.
4. Rayonnement : physique du rayonnement, corps noirs, propriété des surfaces, interaction entre surfaces.
5. TP : thermographie infrarouge, mesure de la conductivité et de la diffusivité d'un sable.

### Responsable(s)

BERGEZ WLADIMIR

### Méthode d'enseignement

En présence

### Bibliographie

T.L. Bergman, A.S. Lavine, F.P. Incropera, D.P. Dewitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, J. Wiley

## - Matière Transfert en Milieux Poreux

### Pré-requis nécessaires

Aucun pré-requis

Des connaissances en mécaniques des fluides et mécanique des milieux continus de base (poiseuille, manipulation d'opérateurs, ...)

### Objectifs

Les notions de base concernant les milieux poreux sont présentées.

La compréhension des déplacements d'humidité en milieux poreux sous l'effet de la gravité ou de la capillarité est abordée. On étudiera la résolution des problèmes d'écoulement en milieu poreux que ce soit en régime transitoire ou permanent.

In fine, l'étudiant suivant ce cours saura modéliser le transport de masse en milieu poreux en ayant abordé la problématique du changement d'échelle. Cet enseignement recouvre des domaines applicatifs larges: hydraulique souterraine, génie pétrolier, techniques de séchage, génie civil, agriculture, etc...

Il sert de base aux cours de spécialité de 3ème année en hydrologie ou milieu poreux multiphasique.

### Compétences visées

- Développer la notion de changement d'échelle
- maîtriser la relation structure/propriétés en milieu poreux pour les écoulements fluides
- maîtriser les lois d'écoulement à l'échelle de Darcy
- développer la notion de changement d'échelle pour le transport de masse en milieu poreux

**Description**

- \* Description et caractérisation des différentes structures physiques les plus couramment rencontrées dans les milieux poreux. Définition de paramètres propres à leur étude.
- \* Présentation de certaines méthodes de résolution d'écoulements simples se produisant en hydraulique souterraine (Loi de Darcy, Ecoulements à surface libre, Ecoulements non permanents).
- \* Transport de masse en milieu poreux : établissement de l'équation de dispersion avec illustration du transport de soluté actif ou non au sein d'une matrice poreuse.

**Volume horaire**

15,75

**Responsable(s)**

DEBENEST Gerald  
gerald.debenest@enseeiht.fr  
Tel. 2050/2876

DEBENEST GERALD

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français

**Bibliographie**

- Cours Moodle
- transparents de cours
- exercices corrigés

**- Choix de Parcours-S8-2A-Mécanique-GH FISE**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Semestre 8 MF2E FISE Parcours Eau et Environnement**

**- UE SOFT AND HUMAN SKILLS 4**

**Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

**- Matière Professional English-LV1-Sem.8**

**Pré-requis nécessaires**

Aucun.

### Objectifs

Développer ses compétences en communication professionnelle en effectuant des tâches de communication courantes, écrites et orales, en anglais.

### Compétences visées

- 1) Développer ses compétences en communication interactionnelle et en argumentation en participant à des joutes oratoires en anglais.
- 2) Rédiger un essai critique ("reaction paper") en anglais.
- 3) Présenter son projet professionnel lors d'un entretien d'embauche en anglais.

### Description

1 semestre de 12 séances interactives et hebdomadaires.

### Volume horaire

21 heures

### Responsable(s)

CASEY GENEVIEVE

### Méthode d'enseignement

En présence

### Langue d'enseignement

Anglais

### Bibliographie

- \* Heinrichs, J. (2017). *Thank you for arguing: What Aristotle, Lincoln, and Homer Simpson can teach us about the art of persuasion*. Three Rivers Press (CA).
- \* Turabian, K. L. (2010). *Student's guide to writing college papers*. University of Chicago Press.
- \* Kelley, T. (2017). *Get That Job!: The Quick and Complete Guide to a Winning Interview*. Plovercrest Press.

## - LV2-2<sup>e</sup> Année-Sem.8

### Responsable(s)

BLANCO ANDRE

A choix: 1 Parmi 1 :

### - Matière Espagnol-S8

#### Responsable(s)

BLANCO ANDRE

### - Matière Portugais-S8

#### Responsable(s)

RYAN STEPHEN

### - Matière Chinois-S8

#### Responsable(s)

RYAN STEPHEN

**- Matière Italien-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Japonais-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Russe-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière Allemand-S8**

**Responsable(s)**  
CLOUZEAU MARTINA

**- Matière FLE - S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière EPS-2A-Sem.8**

**Responsable(s)**  
MIGEON PASCALE

**- Careers and Management - Sem.8**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Leadership**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Entrepreneurship**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Citizenship**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

### - Elp à choix SHS-S8

A choix: 1 Parmi 1 :

#### - Matière Careers, Leadership et Management-S8

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

#### - Matière Innovation-Entreprenariat-S8

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

#### - Matière Citizenship-S8

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

### - Choix UE PROJET MF2E S8

A choix: 2 Parmi 2 :

#### - UE PROJETS INIT. PERSONNEL

##### Objectifs

L'objectif de cette unité d'enseignement est de mettre en oeuvre une méthodologie particulière (numérique ou expérimentale) pour mener à bien un projet scientifique.

Les compétences développées sont :

- \* Analyse physique du problème à traiter
- \* Choix d'une méthodologie appropriée
- \* Mise en oeuvre de cette méthodologie (outils existants ou à développer)
- \* Analyse des résultats

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

#### - Matière Projet Expérimental

##### Objectifs

Donner l'occasion aux étudiants d'approfondir leurs connaissances en réalisant un projet par petit groupe sous la conduite d'un tuteur pédagogique. Permettre aux étudiants d'acquérir autonomie et sens de l'initiative. Initier les étudiants à la conduite de projet et au travail en équipe.



### **Description**

Le programme de travail dépend du sujet choisi en concertation entre le groupe d'étudiants et le tuteur pédagogique. Il porte sur l'illustration, le plus souvent expérimentale, et la meilleure compréhension de phénomènes physiques abordés dans les enseignements du département.

### **Responsable(s)**

ALBAGNAC JULIE

## **- UE PROJET NUMERIQUE**

### **Pré-requis nécessaires**

Aucun

### **Objectifs**

- étudier un phénomène physique à partir d'outils de simulations numériques déjà existants ou à développer
- conduire un projet de groupe en semi-autonomie

### **Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC  
MAURIN RAPHAEL

## **- Matière Projet Numérique**

### **Objectifs**

L'objectif de ce cours (sous forme de projet) est d'étudier par petit groupe un phénomène environnemental de votre choix à partir d'outils de simulations numériques. Pour ce faire, vous aurez le choix du sujet et de la méthodologie, avec deux orientations fortes possibles: partir d'un code/logiciel de simulation numérique existant pour étudier un phénomène particulier ou développer directement un code de simulation numérique (résolution des équations de St Venant par exemple).

A partir de votre choix, vous réaliserez votre projet en groupe en autonomie, avec l'appui des encadrants pour vous guider dans votre démarche.

L'objectif de ce cours est multiple, il vous sera utile à la fois d'un point de vue numérique pour développer vos compétences de codage, d'utilisation et de compréhension des codes utilisés en environnement, pour approfondir et mieux comprendre un sujet en environnement, et également pour développer votre autonomie et vos compétences en gestion de projet.

Le rendu se fera sous forme d'un site internet, suivi d'un oral pour partager votre projet avec le reste de la classe.

### **Compétences visées**

- Gestion de projet: autonomie, organisation en groupe, gestion du temps...
- Codage/utilisation d'un logiciel
- Approfondissement d'une thématique d'intérêt personnel
- Rédaction d'un rapport, capacité d'analyse, de critique et de synthèse

**Responsable(s)**

MAURIN Raphael  
raphael.maurin@imft.fr  
Tel. 2944

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

BONOMETTI THOMAS

**- UE PROJET RECHERCHE****Responsable(s)**

COLIN CATHERINE

**- Matière Projet Recherche****Responsable(s)**

COLIN CATHERINE

**- UE HYDRODYNAMIQUE ET OUVRAGES****Objectifs**

Cette UE aborde toutes les notions d'hydrodynamique en environnement nécessaire à un ingénieur hydraulicien :

- \* les bases théoriques sont données dans le cours d'Hydraulique à surface libre,
- \* le projet de modélisation 1D et 2D permet aux étudiants de se familiariser avec des logiciels usuels de simulation des écoulements à surface libre 1D et 2D sur des cas pratiques de type bureau d'étude,
- \* les méthodes numériques pour les écoulements à surface libre font le lien entre la théorie et la modélisation en insistant sur les bonnes conditions d'utilisation des logiciels,
- \* le projet expérimental propose des applications directes des bases théorique et numérique,
- \* le cours Contrôle de canaux et irrigation applique l'ensemble de ces concepts à la gestion opérationnelle de canaux d'irrigation.

**Responsable(s)**

ROUX HÉLÈNE

**- Matière Hydraulique à surface libre****Objectifs**

Ce cours donne des bases théoriques en hydrodynamique de l'environnement en amont des enseignement spécialisé en hydraulique à surface libre ou en turbulence des rivières.

L'objectif est de former des ingénieurs capables d'approfondir les nombreuses applications de l'hydraulique à surface libre l'hydraulique fluviale, les réseaux d'irrigation ou d'assainissement, etc.

Un projet numérique est intégré dans le cours :

- \* Écoulement 1D sur un obstacle

- \* TP "Ressaut Hydraulique" (RH)
- \* TP "Tuyère de Laval Hydraulique" (TLH)
- \* TP "Seuil épais - Vanne de fond" (SV)

#### Description

- \* Hydraulique à surface libre : charge hydraulique, charge spécifique et impulsion, courbes de remous.
- \* Ondes de crues : équations de Navier-Stokes à surface libre, dérivation des équations de Saint-Venant, dynamique des ondes de crues
- \* Intumescences et ressauts : équations de Saint-Venant 1D, ondes de détente, ondes de compression.

#### Responsable(s)

THUAL OLIVIER

#### Bibliographie

[1] O. THUAL, [Hydrodynamique de l'environnement](#), Éditions de l'École Polytechnique, 2010.

## - Matière Modélisation 1D et 2D des écoulements à surface libre

#### Pré-requis nécessaires

Cours d'hydraulique à surface libre

#### Objectifs

Se familiariser avec des logiciels de simulation d'écoulements à surface libre résolvant les équations de Saint-Venant 1D/2D.

#### Compétences visées

Être capable de mettre en place un calcul pour étudier des écoulements en canaux ou rivière en choisissant le bon outil, en adéquation avec les données disponibles et le site d'étude.

#### Description

Utilisation d'un logiciel pour étudier des écoulements en canaux ou rivières : propagation d'un hydrogramme de crue, gestion d'un canal d'irrigation, impact d'ouvrages, ...

Codes de calcul :

- \* HEC-RAS (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>)
- \* TELEMAC2D (<http://www.opentelemac.org/>)

#### Responsable(s)

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

CASSAN Ludovic  
Ludovic.Cassan@imft.fr  
Tel. 2971

ROUX HÉLÈNE

#### Méthode d'enseignement

En présence

#### Langue d'enseignement

Français

#### Bibliographie

HEC-RAS (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>)

## - Matière Méthodes numériques pour les écoulements à surface libre

### Pré-requis nécessaires

- \* Volonté d'acquérir une compétence en modélisation des écoulements à surface libre
- \* Hydraulique à surface libre
- \* Calcul scientifique 1 et 2

### Objectifs

L'objectif du cours est de comprendre les enjeux et les limites des logiciels de résolution des équations de St Venant, tel que ceux utilisés par les ingénieurs en environnement (ex: Telemac ou HECRAS). Ceci devra vous permettre de bien comprendre l'enjeu de la prescription des conditions aux limites et de la bonne utilisation de ces logiciels pour donner une expertise valable.

### Description

- \* Rappels sur les propriétés des solutions et difficultés numériques rencontrées.
- \* Schémas pour les équations de Saint-Venant.
- \* Conditions aux limites.

### Responsable(s)

MAURIN Raphael  
raphael.maurin@imft.fr  
Tel. 2944

MAURIN RAPHAEL

### Méthode d'enseignement

Hybride

## - Matière Contrôle de canaux et irrigation

### Objectifs

- \* Sensibiliser à l'importance de la gestion temps-réel des systèmes hydrauliques à surface libre
- \* Développer la compréhension des problèmes hydrauliques et de commande de ces systèmes.
- \* Introduire les bases de l'automatique permettant de construire des algorithmes de régulation.
- \* Les approches de l'automatique classique ne s'appliquent pas facilement dans tous les cas (retards, interactions, non-linéarités, multi-variable).
- \* Systèmes complexes, de grande taille, distribués dans l'espace.
- \* Dynamique non-linéaire et modélisation par des EDP.

### Description

Séance de Cours 1 :

- \* Introduction
- \* Jeu commande manuelle
- \* Débriefing jeu
- \* PI temporel (ATV), LQG
- \* Options: I1 MIMO

Séance de Cours 2 :

- \* Modélisation fréquentielle SISO
- \* PI fréquentiel SISO (Bode)
- \* Classification
- \* exemple du canal de Gignac

Tp contrôle des canaux :

- \* Identification d'un modèle de bief
- \* Contrôle amont proche
- \* Contrôle aval distant

**Responsable(s)**

MALATERRE PIERRE OLIVIER

**Langue d'enseignement**

Français

**- UE Transferts en milieux naturels**

**Description**

Cette UE consiste en une introduction aux processus de transferts en milieux naturels, caractérisée ici par les aspects sédimentaire (érosion et transport de sédiment) et écologique (éco-hydraulique) liés aux cours d'eau, ainsi que par l'hydrologie de sub-surface (hydraulique en milieux poreux).

**Volume horaire**

52.5

**Responsable(s)**

MAURIN Raphael  
raphael.maurin@imft.fr  
Tel. 2944

CASSAN Ludovic  
Ludovic.Cassan@imft.fr  
Tel. 2971

ABABOU Rachid  
Rachid.Ababou@enseeiht.fr  
Tel. 2845

MAURIN RAPHAEL

**- Matière Erosion et Transport de matières solides**

**Pré-requis nécessaires**

- \* Mécanique des fluides: forces sur une particule dans un écoulement, hydraulique à surface libre (régime d'écoulement, connaissances générales), puissance d'un écoulement.
- \* Curiosité
- \* Motivation
- \* Participation

**Objectifs**

A la fin du cours les étudiants devront savoir

- \* Identifier les enjeux associés au transport de sédiments dans les rivières.
- \* Définir les nombres sans dimensions associé au transport de sédiments et les différents modes de transport associés.
- \* Déterminer le seuil de mise en mouvement d'un cours d'eau à partir de la granulométrie, de la hauteur d'eau et de la pente du cours d'eau.
- \* Expliquer les mécanismes associés à la pente d'équilibre d'un cours d'eau.
- \* Planifier l'évolution d'un cours d'eau dans des situations modèles à partir des mécanismes associés à l'équilibre d'un cours d'eau.
- \* Planifier l'évolution d'un cours d'eau dans des situations concrètes à partir des mécanismes associés à l'équilibre d'un cours d'eau.
- \* Décrire les différents type de cours d'eau et leur lien avec leur environnement (montagne, plaine,..).
- \* Comprendre des documents techniques sur le transport de sédiments dans les rivières.
- \* Défendre un projet d'aménagement de cours d'eau en argumentant sur des bases scientifiques.
- \* Interagir et convaincre un auditoire.
- \* Evaluer le travail et la compréhension des autres étudiants.

## Description

L'objectif du cours est de vous donner une première approche du transport de sédiment, plus particulièrement centré sur le transport de sédiments en rivières.

En partant des mécanismes à l'échelle des particules, nous introduirons les nombres sans dimensions relatif au transport de sédiment pour identifier les paramètres principaux et définir les différents régimes de transport. Le rôle des nombres sans dimensions et leurs implications sera illustré à travers des applications concrètes. Par la suite, nous introduirons le concept de puissance en lien avec la pente d'équilibre du cours d'eau. Ceci nous permettra d'analyser un certain nombre de situations de terrain et de comprendre les mécanismes de bases du transport de sédiments. A partir de là, nous étudierons également les différentes formes de cours d'eau, de la montagne vers la plaine.

La suite du cours sera consacré à l'étude et l'analyse de documents concrets rédigés par des acteurs du milieu (bureau d'études, RTM, syndicats de rivières...), qui seront ensuite expliqué et défendu à l'oral devant d'autres élèves.

L'enseignement s'appuiera largement sur la participation des élèves, à travers des activités, des temps de réflexions et du travail en groupe.

### Volume horaire

17.5

### Responsable(s)

MAURIN Raphael  
raphael.maurin@imft.fr  
Tel. 2944

MAURIN RAPHAEL

### Méthode d'enseignement

Hybride

### Langue d'enseignement

Français

### Bibliographie

"Éléments d'hydromorphologie fluviale", J.-R. Malavoi et J.-P. Bravard, guide Onema

<http://www.onema.fr/elements-d-hydromorphologie-fluviale>

"Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière", J.-R. Malavoi, C. C. Garnier, N. Landon, A. Recking, Ph. Baran, guide Onema

<http://www.onema.fr/elements-de-connaissance-pour-la-gestion-du-transport-solide-en-riviere>

"Torrents et rivières de montagne, dynamique et aménagements", sous la direction de A. Recking, D. Richard, G. Degoutte, Quae.

Disponible à la bibliothèque de l'N7

## - Matière Hydraulique en Milieux Poreux

### Objectifs

Spécialisation des bases de la mécanique des fluides et des milieux continus...

vers les problèmes des milieux poreux, avec applications en hydraulique souterraine,

en hydrologie des sols et des nappes souterraines, et/ou

en géotechnique -- milieux poreux déformables (selon les années).

### Description

#### Bases:

- \* Milieux poreux, porosité, indice des vides, densité apparente sèche, granulométrie.
- \* Hydrostatique des milieux poreux saturés et insaturés; courbe de rétention d'eau.
- \* Hydrodynamique: de Navier-Stokes à Darcy; loi de Darcy; équations de conservation.
- \* Milieux poreux déformables: compressibilité, contrainte effective/Terzaghi, etc.
- \* Revue des différentes équations d'écoulement (locales ou verticalement intégrées).
- \* Récapitulation: "Porous Media in a Nutshell".

#### Hydrologie et environnement:

- \* infiltration et formation de flaques (genèse des inondations 'hortoniennes').
- \* Crues de nappes par exfiltration, et interactions nappe-rivière.
- \* Problèmes de drainage de nappe (exemples en hydrologie et/ou en génie civil).

#### Génie civil et géotechnique (selon les années):

- \* Compactage, consolidation, subsidence.
- \* Digués en terre (débits de fuite).
- \* Tunnels et excavations souterraines (pompages, suintements, débits de fuite)

#### Responsable(s)

ABABOU RACHID

#### Bibliographie

- \* Physique du sol. - Auteur : A. Musy et M. Soutter - Editeur : Presses Polytech. et Univ. Romandes. Lausanne , 1991
- \* Hydraulique souterraine. - Auteur : G. Schneebeli - Editeur : Eyrolles , 1987
- \* ELEMENTS D'HYDROLOGIE SOUTERRAINE - Auteur : R.Ababou - Editeur : ENSEEIHT , 2007

URL : <http://rachid.ababou.free.fr>

- \* Dynamics of Fluids in Porous Media - Auteur : J. Bear - Editeur : Dover Publications , 1988

### - Matière Ecohydraulique

#### Responsable(s)

CASSAN LUDOVIC

### - UE APP METEO, CLIMAT, RESSOURCES EN EAU

#### Objectifs

À l'issue des cours "APP Climat" et "Géostatistiques et traitement des données", les étudiants de deuxième année seront capables :

- \* de décrire les principaux mécanismes impliqués dans le changement climatique ;
- \* d'expliquer le phénomène d'effet de serre et de forçage radiatif ;
- \* d'extraire des informations pertinentes de rapports du GIEC traitant des aspects physiques ;
- \* d'analyser les impacts du réchauffement climatique ;
- \* de mettre en œuvre des méthodes d'analyse et de traitement de données utilisées en géoscience

#### Responsable(s)

THUAL OLIVIER

### - Matière Géostatistique et Traitement des données

## Objectifs

Théorie et applications des méthodes d'analyse et de traitement de données utilisées en géosciences (terre et espace) et plus largement en ingénierie, tels que:

- \* Problèmes d'échantillonnage et d'estimation (d'une moyenne, d'une distribution)
- \* Méthodes de régression (simple, multiple)
- \* Problèmes d'interpolation et d'extrapolation de données en espace et en temps

## Description

### A. BASES STATISTIQUES :

- \* Fonction de Répartition, Densité de Proba, Moments et autres statistiques
- \* Construction d'une F.d.R empirique par points ou par histogrammes
- \* Estimation ou ajustement d'une loi modèle (e.g. par la méthode des moments)
- \* Echantillonnage: incertitude d'échantillonnage; méthode du Jack-Knife
- \* Lois de proba multivariées (jointe, marginale, conditionnelle: th. de Bayes)
- \* Matrice de variance-covariance et matrice de corrélation
- \* Régression simple  $Y=aX+b$  (ré-interprétation en termes d'estimation optimale)

### B. APPROFONDISSEMENTS -- (selon les années et les études de cas) :

- \* Régression multiple  $Y=A_1.X_1+\dots+A_k.X_k+b$
- \* Estimation Bayésienne de vecteurs d'états / application aux signaux temporels
- \* Variables binaires, processus aléatoires de défaillances, événements rares
- \* Triangulation de Delaunay & polygones de Voronoï
- \* Estimation Bayésienne de vecteurs d'états / application en espace  $(x,y,z)$ : géostatistique, krigeage, co-krigeage

## TYPES DE METHODES

Les méthodes "non statistiques" d'analyse de données

- \* Interpolation spatiale et calcul de moyenne spatiale par méthode non statistique
- \* Analyses ondelettes

## TYPES DE DONNEES

- \* Dans le temps (traitement de signaux géophysiques, hydrométéo, hydrologiques);
- \* Dans l'espace (méthodes d'interpolation et d'estimation géostatistique).

Exemples:

- \* Données temporelles ou "signaux" (séries chronologiques échantillonnées en temps)
- \* Défaillances, dépassement de seuils: analyses de fiabilité et études de risques
- \* Données spatialisées -- échantillonnées en espace  $(x,y,z)$

## TYPES D'APPLICATIONS:

Les études de cas sont tirées des sciences de la terre et de l'hydrologie ainsi qu'à la jonction entre applications industrielles et environnementales (ruptures ouvrages, génie civil, génie minier, études de risques / gestion déchets nucléaires, etc.).

## Responsable(s)

ABABOU RACHID

## Bibliographie

- \* Théorie des probabilités - Auteur : Ventsel Hélène - Editeur : Editions Mir , 1973
- \* Random Functions in Hydrology - Auteur : Bras R. et I.Rodriguez-Iturbe - Editeur : Dover Publications
- \* Probability, Random Variables, and Stochastic Processes - Auteur : Papoulis A.,S.U.Pillai - Editeur : McGrawHill , 2002
- \* Aide-Mémoire "Statistique et probabilités pour l'ingénieur" - Auteur : Veysseyre Renée - Editeur : Dunod , 2006



## - Matière APP Climat

### Objectifs

À l'issue des 17 séances de 1h45 de l'APP Climat, les élèves ingénieurs seront capables de :

- \* Décrire les phénomènes prédominants du cycle de l'eau et de la circulation atmosphérique
- \* Expliquer les mécanismes responsables du changement climatique et de ses impacts
- \* Organiser un enchaînement de processus à l'aide de diagrammes conceptuels
- \* Intégrer des informations multiples issues de documentations scientifiques
- \* Choisir des faits marquants pour expliquer des concepts scientifiques complexes
- \* Générer des ressources pédagogiques facilement utilisables par d'autres scientifiques

### Description

Le Tableau 1 présente le programme des 17 séances de l'APP Climat. Les deux premières séances sont regroupées en une demi-journée pour une présentation de l'enseignement, suivie d'une formation à l'animation de La Fresque du Climat. Les deux dernières séances, également regroupées en une demi-journée, sont consacrées à des créneaux de « cours renversés », au cours desquels des trinômes présentent à un groupe d'étudiant-e-s la synthèse des « Conférences Pédagogiques Multimédia » qu'ils ont construites. Entre ces deux demi-journées, les séances combinent des conférences par des enseignants et des ateliers de travaux de groupes bénéficiant de l'encadrement de ces experts.

Créneau		Séquen- ce- ment des séances	LC	PD	OL	OP	HR	OT	Total
TD	1	Présentation de l'APP Climat et mise en œuvre de l'atelier "La Fresque du Climat"						1	1
TD	2							1	1
CM	3	Effet de serre additionnel						1	1
CM	4	Perturbation du cycle de l'eau				1			1
CM	5	Forçage radiatif						1	1
CM	6	Crues	1						1
CM	7	Submersions			1				1
CM	8	Ressources en eaux douces	1						1

CM	9	Cyclones			1			1
CM	10	Cycle du Carbone (trois cartes)	1					1
CM	11	Aérosols	1					1
CM	12	Hausse de la température de l'air					1	1
CM	13	Fontes des glaces (trois cartes)			1			1
CM	14	Hausse de la température de l'eau			1			1
CM	15	Amphi inversé pour les soutenances					1	1
TD	16	Soutenances des projets de					1	1
TD	17	"Conférences Pédagogiques Multimedia" et mini-fresques					1	1
		TOTAL	2	2	3	1	1	8
								17

**Responsable(s)**  
THUAL OLIVIER

**Bibliographie**

[1] Étudiant-e-s et enseignant-e-s de l'APP Climat, *Conf. Actives Multimédias INP*, **0221** (2021)

[2] O. Thual, La construction de mini-fresques au service d'une pédagogie active, *J. Pratiques Pédago. INP* **0912** (2020) pp. 11. [[format pdf](#)] et [[diaporama](#)]

[3] E. Di Maria, O. Thual, l'équipe enseignante de l'APP Climat et la promo 2MFEE EE 2020, *Mini-Fresques, l'APP Climat 2020, Éd. Ress. Pédago. Ouv. INP* **0525** (2020) 20h

[4] La Fresque du Climat, <https://fresqueduclimat.org/>

[5] Wiki de La Fresque du Climat, <https://fresqueduclimat.org/wiki>

[6] Former les ingénieurs du XXIème siècle, The Shift Project,

<https://theshiftproject.org/former-les-ingenieurs-a-la-transition>

## - Semestre 8 MF2E FISE Parcours Energie FEP

### - UE SOFT AND HUMAN SKILLS 4

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

#### - Matière Professional English-LV1-Sem.8

##### Pré-requis nécessaires

Aucun.

##### Objectifs

Développer ses compétences en communication professionnelle en effectuant des tâches de communication courantes, écrites et orales, en anglais.

##### Compétences visées

- 1) Développer ses compétences en communication interactionnelle et en argumentation en participant à des joutes oratoires en anglais.
- 2) Rédiger un essai critique ("reaction paper") en anglais.
- 3) Présenter son projet professionnel lors d'un entretien d'embauche en anglais.

##### Description

1 semestre de 12 séances interactives et hebdomadaires.

##### Volume horaire

21 heures

**Responsable(s)**  
CASEY GENEVIEVE

##### Méthode d'enseignement

En présence

##### Langue d'enseignement

Anglais

##### Bibliographie

\* Heinrichs, J. (2017). *Thank you for arguing: What Aristotle, Lincoln, and Homer Simpson can teach us about the art of persuasion*. Three Rivers Press (CA).

- \* Turabian, K. L. (2010). *Student's guide to writing college papers*. University of Chicago Press.
- \* Kelley, T. (2017). *Get That Job!: The Quick and Complete Guide to a Winning Interview*. Plovercrest Press.

## **- LV2-2è Année-Sem.8**

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

A choix: 1 Parmi 1 :

### **- Matière Espagnol-S8**

**Responsable(s)**  
BLANCO ANDRE

### **- Matière Portugais-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

### **- Matière Chinois-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

### **- Matière Italien-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

### **- Matière Japonais-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

### **- Matière Russe-S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

### **- Matière Allemand-S8**

**Responsable(s)**  
CLOUZEAU MARTINA

### **- Matière FLE - S8**

**Responsable(s)**  
RYAN STEPHEN

**- Matière EPS-2A-Sem.8**

**Responsable(s)**  
MIGEON PASCALE

**- Careers and Management - Sem.8**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Leadership**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Entrepreneurship**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Citizenship**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- EIp à choix SHS-S8**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Careers, Leadership et Management-S8**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Innovation-Entreprenariat-S8**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Citizenship-S8**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

## - Choix UE PROJET MF2E S8

A choix: 2 Parmi 2 :

### - UE PROJETS INIT. PERSONNEL

#### Objectifs

L'objectif de cette unité d'enseignement est de mettre en oeuvre une méthodologie particulière (numérique ou expérimentale) pour mener à bien un projet scientifique.

Les compétences développées sont :

- \* Analyse physique du problème à traiter
- \* Choix d'une méthodologie appropriée
- \* Mise en oeuvre de cette méthodologie (outils existants ou à développer)
- \* Analyse des résultats

#### Responsable(s)

ALBAGNAC JULIE

### - Matière Projet Expérimental

#### Objectifs

Donner l'occasion aux étudiants d'approfondir leurs connaissances en réalisant un projet par petit groupe sous la conduite d'un tuteur pédagogique. Permettre aux étudiants d'acquérir autonomie et sens de l'initiative. Initier les étudiants à la conduite de projet et au travail en équipe.

#### Description

Le programme de travail dépend du sujet choisi en concertation entre le groupe d'étudiants et le tuteur pédagogique. Il porte sur l'illustration, le plus souvent expérimentale, et la meilleure compréhension de phénomènes physiques abordés dans les enseignements du département.

#### Responsable(s)

ALBAGNAC JULIE

### - UE PROJET NUMERIQUE

#### Pré-requis nécessaires

Aucun

#### Objectifs

- étudier un phénomène physique à partir d'outils de simulations numériques déjà existants ou à développer
- conduire un projet de groupe en semi-autonomie

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC  
MAURIN RAPHAEL

## - Matière Projet Numérique

### Objectifs

L'objectif de ce cours (sous forme de projet) est d'étudier par petit groupe un phénomène environnemental de votre choix à partir d'outils de simulations numériques. Pour ce faire, vous aurez le choix du sujet et de la méthodologie, avec deux orientations fortes possibles: partir d'un code/logiciel de simulation numérique existant pour étudier un phénomène particulier ou développer directement un code de simulation numérique (résolution des équations de St Venant par exemple).

A partir de votre choix, vous réaliserez votre projet en groupe en autonomie, avec l'appui des encadrants pour vous guider dans votre démarche.

L'objectif de ce cours est multiple, il vous sera utile à la fois d'un point de vue numérique pour développer vos compétences de codage, d'utilisation et de compréhension des codes utilisés en environnement, pour approfondir et mieux comprendre un sujet en environnement, et également pour développer votre autonomie et vos compétences en gestion de projet.

Le rendu se fera sous forme d'un site internet, suivi d'un oral pour partager votre projet avec le reste de la classe.

### Compétences visées

- Gestion de projet: autonomie, organisation en groupe, gestion du temps...
- Codage/utilisation d'un logiciel
- Approfondissement d'une thématique d'intérêt personnel
- Rédaction d'un rapport, capacité d'analyse, de critique et de synthèse

**Responsable(s)**  
MAURIN Raphael  
raphael.maurin@imft.fr  
Tel. 2944

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

BONOMETTI THOMAS

## - UE PROJET RECHERCHE

**Responsable(s)**  
COLIN CATHERINE

## - Matière Projet Recherche

**Responsable(s)**  
COLIN CATHERINE

## - UE AERODYNAMIQUE

### - Matière Ecoulements compressibles

#### Objectifs

Etre capable de calculer des écoulements de fluides compressibles 1D et 2D.

#### Description

- I. Introduction et mise en équation
- II. Ecoulements mono-dimensionnels
- III. Chocs
- IV. Théorie des petites perturbations
- V. Méthode des caractéristiques

#### Responsable(s)

ROUZAUD OLIVIER

### - Matière Turbomachines à gaz

#### Pré-requis nécessaires

Mécanique

Mécanique des fluides

Thermodynamique

#### Objectifs

Ce cours est destiné à familiariser l'étudiant au fonctionnement des turbomachines gaz (turbines, compresseurs, ventilateurs) et à leur dimensionnement (dessin des aubes, similitude...)

#### Description

- Conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement
- Fonctionnement des turbomachines (machines axiales, machines radiales)
- Le compresseur centrifuge
- La turbine axiale
- Similitude et rendements
- Efforts sur les aubes

#### Volume horaire

17,5

#### Responsable(s)

BAZILE Rudy  
Rudy.Bazile@enseeiht.fr



Tel. 2892

BAZILE RUDY

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français et anglais (tableau, support écrit, examen, réponses aux questions)

**- Matière Vibrations sous écoulement**

**Pré-requis nécessaires**

- \* Mécanique des fluides,
- \* Systèmes Linéaires Invariants,
- \* Traitement des signaux déterministes,
- \* Processus aléatoires.

**Objectifs**

- \* Savoir identifier le mécanisme à l'origine d'un problème de vibration d'une structure placée dans un écoulement.
- \* Savoir choisir les paramètres d'acquisition et de traitement pour identifier les modes d'un système aéroélastique par analyse spectrale.

**Description**

**Contenu :**

- \* Physique des phénomènes d'interaction entre une structure souple et un écoulement turbulent par des modèles à paramètres localisés.
- \* Techniques corrélatoires et spectrales pour identifier un système aéroélastique.
- \* Exemples industriels de différents domaines (aéronautique, génie civil, génie nucléaire).

**Programme :**

**I. Physique de l'interaction**

- \* Exemples et contexte industriel, classification par analyse dimensionnelle, compléments d'aérodynamique.
- \* Vibrations induites par les vortex, accrochage en fréquence (lock-in)
- \* Analyse de stabilité, amortissement et raideur ajoutée (galop, divergence)
- \* Transitoires aéroélastiques, décrochage dynamique, amortissement héréditaire
- \* Formalisme d'état, analyse modale, couplage par raideur antisymétrique (flutter flexion-torsion d'un aile).

**II. Identification expérimentale**

- \* Estimation par périodogramme de Welch, propriétés statistiques
- \* Méthode d'identification du couplage fluidélastique (directe ou indirecte)
- \* Relations de filtrage (Wiener-Lee), fonction de cohérence
- \* Application pratique (TP) à l'analyse spectrale et corrélatoire « temps réel » d'une structure souple dans un écoulement turbulent. Identification d'un couplage MIV (Movement Induced Vibrations)

**Responsable(s)**

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

HARRAN Gilles  
Gilles.Harran@imft.fr  
Tel. 2884

HARRAN GILLES

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Bibliographie**

- \* Polycopié Vibrations Sous Ecoulements Turbulents, Physique et modélisation du couplage aéroélastique, G. Harran
- \* Polycopié Vibrations Sous Ecoulements Turbulents, Démarche expérimentale et problème d'identification, G. Harran
- \* F. Axisa, Modélisation des systèmes mécaniques -Vibrations sous Ecoulements (Hermès)
- \* E. de Langre, Fluides et solides, Ecole Polytechnique, 2002
- \* A. Preumont, Random Vibration and Spectral Analysis, Kluwer, 1994
- \* P. Hémon, Vibrations des structures couplées au vent, Ecole Polytechnique, 2006
- \* E.H. Dowell, A modern course in aeroelasticity, Kluwer, 2004
- \* R.-J. Gibert, Vibrations des structures - Interactions avec les fluides, Sources d'excitation aléatoires, 1988

## - Matière Ecoulements compressibles

### Objectifs

Etre capable de calculer des écoulements de fluides compressibles 1D et 2D.

### Description

- I. Introduction et mise en équation
- II. Ecoulements mono-dimensionnels
- III. Chocs
- IV. Théorie des petites perturbations
- V. Méthode des caractéristiques

### Responsable(s)

ROUZAUD OLIVIER

## - Matière Turbomachines à gaz

### Pré-requis nécessaires

Mécanique

Mécanique des fluides

Thermodynamique

### Objectifs

Ce cours est destiné à familiariser l'étudiant au fonctionnement des turbomachines gaz (turbines, compresseurs, ventilateurs) et à leur dimensionnement (dessin des aubes, similitude...)

### Description

- Conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement
- Fonctionnement des turbomachines (machines axiales, machines radiales)
- Le compresseur centrifuge
- La turbine axiale
- Similitude et rendements
- Efforts sur les aubes

### Volume horaire

17,5

### Responsable(s)

BAZILE Rudy  
Rudy.Bazile@enseeiht.fr  
Tel. 2892

BAZILE RUDY

**Méthode d'enseignement**  
En présence

**Langue d'enseignement**  
Français et anglais (tableau, support écrit, examen, réponses aux questions)

## - UE SYSTEMES INDUSTRIELS

### - Matière Analyse Physique des procédés industriels

#### Pré-requis nécessaires

Équations de bilan local (transfert de chaleur / transfert de matière)

Définition des coefficients de transfert

Mathématiques : résolution d'ODE et opérateurs différentiels (EDP)

#### Objectifs

L'objectif de ce cours est de s'intéresser aux phénomènes physiques mis en jeu dans des procédés de transformation de l'énergie ou de la matière. On y détaille les applications industrielles concernées, les phénomènes physiques qui s'y produisent et les éventuels couplages avec des réactions chimiques.

#### Compétences visées

Etre capable d'écrire des équations de bilan pour les couplages transferts / réactions chimiques dans un contexte de dimensionnement de procédés industriels de transformation des énergies et de la matière.

Analyse micro - macro d'un procédé industriel.

#### Description

Enjeux industriels et Compétences scientifiques

Transfert gaz-liquide dans les monolithes

Description et dimensionnement de colonnes (distillation - extraction)

Théorie du film stagnant et transfert réactif

Bureau d'étude : analyse micro-macro

#### Volume horaire

8 séances de cours + 2 séances de BE + 4h TP = 21,5 heures

#### Responsable(s)

CLIMENT ERIC

#### Méthode d'enseignement

En présence

#### Langue d'enseignement

Anglais

#### Bibliographie

## - Matière Thermodynamique des Machines

### Pré-requis nécessaires

Mécanique des fluides

Thermodynamique

### Objectifs

Cet enseignement a pour objectif d'appliquer le cours de thermodynamique de 1ère année aux machines fonctionnant sur la base de cycle à gaz non condensables.

### Description

La première séance de cours est consacrée à des rappels de thermodynamiques des machines ouvertes. La thermodynamique des machines est appliquée à l'études des turbines à gaz et des turboréacteurs (3 séances) . L'optimisation des cycles machines est traitée avec le logiciel ThermOptim (6 séances). Ce logiciel sera également utilisé en 3ème année dans le module "Machines Thermiques" (3A/MOST)

### Volume horaire

17,5

### Responsable(s)

BAZILE Rudy  
Rudy.Bazile@enseeiht.fr  
Tel. 2892

BAZILE RUDY

## - Matière Simulation Hydrodynamique et Transferts

### Responsable(s)

LALANNE BENJAMIN

## - UE PROCESSUS MULTI-ECHELLES

### - Matière Vibrations sous écoulement

#### Pré-requis nécessaires

- \* Mécanique des fluides,
- \* Systèmes Linéaires Invariants,
- \* Traitement des signaux déterministes,
- \* Processus aléatoires.

#### Objectifs

- \* Savoir identifier le mécanisme à l'origine d'un problème de vibration d'une structure placée dans un écoulement.
- \* Savoir choisir les paramètres d'acquisition et de traitement pour identifier les modes d'un système aéroélastique par analyse spectrale.

#### Description

#### Contenu :

- \* Physique des phénomènes d'interaction entre une structure souple et un écoulement turbulent par des modèles à paramètres localisés.

- \* Techniques corrélatoires et spectrales pour identifier un système aéroélastique.
- \* Exemples industriels de différents domaines (aéronautique, génie civil, génie nucléaire).

**Programme :**

**I. Physique de l'interaction**

- \* Exemples et contexte industriel, classification par analyse dimensionnelle, compléments d'aérodynamique.
- \* Vibrations induites par les vortex, accrochage en fréquence (lock-in)
- \* Analyse de stabilité, amortissement et raideur ajouté (galop, divergence)
- \* Transitoires aéroélastiques, décrochage dynamique, amortissement héréditaire
- \* Formalisme d'état, analyse modale, couplage par raideur antisymétrique (flutter flexion-torsion d'un aile).

**II. Identification expérimentale**

- \* Estimation par périodogramme de Welch, propriétés statistiques
- \* Méthode d'identification du couplage fluidélastique (directe ou indirecte)
- \* Relations de filtrage (Wiener-Lee), fonction de cohérence
- \* Application pratique (TP) à l'analyse spectrale et corrélatrice « temps réel » d'une structure souple dans un écoulement turbulent. Identification d'un couplage MIV (Movement Induced Vibrations)

**Responsable(s)**

MOUGEL Jerome  
jerome.mougel@imft.fr  
Tel. 2830

HARRAN Gilles  
Gilles.Harran@imft.fr  
Tel. 2884

HARRAN GILLES

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Bibliographie**

- \* Polycopié Vibrations Sous Ecoulements Turbulents, Physique et modélisation du couplage aéroélastique, G. Harran
- \* Polycopié Vibrations Sous Ecoulements Turbulents, Démarche expérimentale et problème d'identification, G. Harran
- \* F. Axisa, Modélisation des systèmes mécaniques -Vibrations sous Ecoulements (Hermès)
- \* E. de Langre, Fluides et solides, Ecole Polytechnique, 2002
- \* A. Preumont, Random Vibration and Spectral Analysis, Kluwer, 1994
- \* P. Hémon, Vibrations des structures couplées au vent, Ecole Polytechnique, 2006
- \* E.H. Dowell, A modern course in aeroelasticity, Kluwer, 2004
- \* R.-J. Gibert, Vibrations des structures - Interactions avec les fluides, Sources d'excitation aléatoires, 1988

**- Matière Introduction à la Microfluidique**

**Pré-requis nécessaires**

Mécanique des fluide 2

**Objectifs**

Présenter les concepts importants et utiles à la microfluidique en se focalisant sur l'hydrodynamique aux petites échelles et l'effet des forces de surface sur les écoulements de Stokes.

**Compétences visées**

**Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.**

Aptitude à concevoir, développer et caractériser des systèmes de contrôle pour la régulation et la commande de dispositifs hydrauliques et énergétiques et pour le développement des systèmes nomades et embarqués.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

**Description**

1. Introduction : des MEMS à la microfluidique
2. Physique à l'échelle micrométrique
3. Hydrodynamique des systèmes microfluidiques
4. Hydrodynamique interfaciale
5. BE: Microfabrication - Applications

**Volume horaire**

12,5

**Responsable(s)**

TORDJEMAN PHILIPPE

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

français-anglais si souhaité

**- Matière TEDT : Dispersion Turbulente**

**Responsable(s)**

ROIG VERONIQUE

## Composante

École Nationale Supérieure d'Électrotechnique d'Électronique d'Informatique d'Hydraulique et des Télécommunications

# Ingénieur ENSEEIHT Mécanique et Génie Hydraulique 3ème année

PLUS D'INFOS

Crédits ECTS : 60

## Organisation de la formation

### - Année 3A-Méc-GH-FISE

#### - Choix de Parc. Semestre 9 - 3A MF2E

A choix: 1 Parmi 2 :

#### - Sem 9 MF2E Parcours Modélisation Simulation Numérique (MSN)

#### - UE Soft and Human Skills MF2E S9

Responsable(s)  
HULL ALEXANDRA

#### - Matière Professional English-LV1-Semestre 9

Responsable(s)  
DENNIS CHLOE  
TAYLOR KAY

#### - Matière Anglais Scientifique

Responsable(s)  
TAYLOR KAY

#### - Choix 2 Anglais Professionnel - 3A

A choix: 1 Parmi 1 :

#### - Matière Anglais Clinique

Responsable(s)  
TAYLOR KAY

#### - Matière Anglais de Cambridge ou Projet

Responsable(s)  
TAYLOR KAY

## - CHOIX 2 sur 3 SHS MF2E S9

A choix: 2 Parmi 2 :

### - Matière Conduite d'opération en hydraulique (MF2E)

#### Objectifs

Donner aux futurs ingénieurs les notions et les outils leur permettant d'être opérationnels dans la conduite de projets, ici appliqués à l'ingénierie hydraulique

#### Description

- « Maître d'oeuvre, d'ouvrage & entreprise »

Rôle de chaque intervenant. Dossiers réglementaires : dossier d'autorisation, nomenclature loi sur l'eau, relation avec les services de l'Administration (DREAL, DDT, AFB ...). Calendrier d'opération.

- « Les missions normalisées du maître d'oeuvre »

APS, AVP, PRO, DCE, VISA, DET, OPR.

- « Consultation des entreprises »

Constitution des pièces techniques pour consultation (CCTP, BP, DQE). Présentation des référentiels techniques (Eurocodes, fascicules, normes, GTR).

#### Volume horaire

11.25 h

#### Responsable(s)

LAUVERGNIER FRANCOIS

### - Matière Controverses dans un monde en transition (MF2E)

#### Objectifs

Aider à appréhender et à communiquer vis-à-vis des sujets de société et des controverses

#### Description

Séance 1 : « définition du sujet »

Définition le sujet et du rendu-final. Travail en autonomie des étudiants en vue du rendu final. Rendez-vous ponctuels pour interagir avec l'équipe référente possibles.

Séance 2 : « recherche documentaire » (Isabelle Perez, biblioN7)

Quels outils les étudiants ont-ils utilisé pour se documenter sur le sujet retenu, comment ? quel recul par rapport aux documents trouvés ? D'où émanent-ils ? Sont-ils dignes de confiance ?

Séances 3 et 4 : « la controverse » (François Purseigle, Antoine Doré, Geneviève Nguyen, ENSAT)



Qu'est-ce qu'un sujet « controversé » ? comment les controverses articulant sciences / technologies / société / innovation naissent-elles ? notions d'incertitude, de trajectoire d'une controverse. Elargissement possible vers des considérations économiques / développement durable, etc.

Séance 5 : « témoignages d'ingénieurs en fonction confrontés à la problématique étudiée » (intervenants extérieurs)

Témoignages et échanges organisés par les étudiants.

**Responsable(s)**  
DURU PAUL

### **- Matière RSE (MF2E)**

#### **Objectifs**

- Présenter la responsabilité sociétale des entreprises : définitions concept de développement durable (DD) et mise en œuvre grâce aux lignes directrices de la norme 26000

- Travaux Dirigés sur le rapport RSE d'une entreprise afin d'identifier les enjeux de DD pris en compte par l'entreprise choisie et la cohérence par rapport aux impacts potentiels de l'entreprise

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

### **- CHOIX 1 sur 2 SHS MF2E S9**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Matière Corporate Project and social responsibility**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA  
LEGENDRE DOMINIQUE

#### **- Matière Entrepreneurship Project**

**Responsable(s)**  
COULON MARTIAL  
DEBENEST GERALD

### **- Choix de Spécialité-MSN**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Spécialité-MSN**

#### **- UE APPLICATIONS A L'AERODYNAMIQUE**

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

## **- Matière Aérodynamique**

### **Pré-requis nécessaires**

"Basiques" de mécanique des fluides

"Basiques" de thermodynamique

### **Objectifs**

Introduire les principales notions physiques et outils mathématiques pour traiter des problèmes d'aérodynamique incompressible et compressible. A l'issue de cet enseignement les étudiants doivent savoir formuler et appliquer les modèles de l'aérodynamique et prédire les efforts appliqués sur une aile et ses performances. Ils devront également connaître les limites des modèles théoriques.

### **Description**

-Introduction générale, terminologie et nomenclature.

-Comprendre les mécanismes de sustentation d'un avion.

-Théorie linéarisée pour les profils (2D) et effets des dispositifs d'hypersustentation en régime subsonique incompressible.

-Problème direct (connaissant la géométrie du profil, comment calculer les coefficients aérodynamiques) et problème inverse (connaissant les objectifs de performance en terme de coefficients aérodynamiques, comment calculer la géométrie du profil).

-Théorie de la ligne portante pour les ailes (3D) et effet de la forme en plan, de l'allongement et du vrillage de l'aile.

-Théorie linéarisée (Prandtl-Glauert) autour d'un profil (2D) pour le régime subsonique compressible.

-Le régime transsonique.

-Théorie linéarisée (Ackeret) autour d'un profil (2D) pour le régime supersonique.

-Rappels sur la résolution de chocs/détentes dans le cas non-linéaire.

### **Volume horaire**

22h45

### **Responsable(s)**

ALBAGNAC JULIE

### **Bibliographie**

Polycopié du cours rédigé par J.Albagnac et J.Mougel

J.D.Anderson, Fundamentals of Aerodynamics

A.Giovannini et C.Airiau, Aérodynamique Fondamentale

## **- Matière Aéroacoustique**

**Responsable(s)**  
PIOT ESTELLE

## **- Matière Interactions Fluide-Structure**

### **Objectifs**

Les phénomènes d'interaction fluide-structure (IFS) peuvent se rencontrer dès lors qu'un fluide est au contact d'un solide. Les interactions susceptibles de se produire dans ce cas sont cruciales dans des domaines tels que l'aéronautique, le génie civil, la bio-mécanique, l'industrie nucléaire, les énergies renouvelables, etc. La compréhension de ces phénomènes via leur modélisation et leur simulation est donc indispensable à l'ingénieur mécanicien des fluides.

Ce cours vise à introduire les concepts de base associés à la modélisation et la simulation numérique pour les interactions fluide-structure.

### **Description**

-Formalisme général, analyse dimensionnelle et classification des problèmes IFS.

-Rappels sur les principaux phénomènes aéroélastiques et leur modélisation (ballotements, flottement, galop, divergence statique, vibrations induites par vortex (VIV)).

-Principales méthodes de simulations en IFS.

-Vibrations induites par vortex (VIV), phénomène d'accrochage en fréquence : simulation sous OpenFoam

. -Méthode des frontières immergées : approfondissement en TD numérique.

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

## **- UE PROJETS DE MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

## **- Matière BES Schémas Compressibles**

**Responsable(s)**  
BLANCHARD GHISLAIN

### **- Matière BES Schémas Incompressibles**

#### **Pré-requis nécessaires**

Cours sur méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

#### **Objectifs**

L'objectif de ce BES est de coder une des deux méthodes vues dans le cours méthodes numériques pour les écoulements incompressibles.

Les étudiants vont coder à partir d'un squelette de code fortran la méthode de projection avec 2 schémas numériques et vont les comparer sur le cas de la cavité entraînée.

#### **Compétences visées**

- apprentissage du codage d'un code basique de CFD
- utilisation de postprocessing de visualisation ( à base de paraview)
- analyse de résultats numériques
- valorisation des résultats par une présentation orale

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **- Matière BES Nouveaux codes et codes industriels**

**Responsable(s)**  
NEAU HERVE

## **- Spécialité-MSN-Env**

### **- UE PROJETS DE MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **- Matière BES Schémas Compressibles**

**Responsable(s)**  
BLANCHARD GHISLAIN

### **- Matière BES Schémas Incompressibles**

#### **Pré-requis nécessaires**

Cours sur méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

#### **Objectifs**

L'objectif de ce BES est de coder une des deux méthodes vues dans le cours méthodes numériques pour les écoulements incompressibles.

Les étudiants vont coder à partir d'un squelette de code fortran la méthode de projection avec 2 schémas numériques et vont les comparer sur le cas de la cavité entraînée.

#### **Compétences visées**

- apprentissage du codage d'un code basique de CFD
- utilisation de postprocessing de visualisation ( à base de paraview)
- analyse de résultats numériques
- valorisation des résultats par une présentation orale

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Nouveaux codes et codes industriels**

**Responsable(s)**  
NEAU HERVE

#### **- UE ECOULEMENTS ENVIRONNEMENTAUX**

##### **Pré-requis nécessaires**

- \* Notions de mécanique des fluides
- \* Notions d'hydraulique à surface libre

##### **Objectifs**

- \* connaître les processus intervenant dans les écoulements de fluides présents dans l'atmosphère, les océans et les cours d'eau.
- \* apprendre à utiliser des logiciels avancés pour des calculs d'hydraulique à surface libre, de transport de sédiments et de polluants.

##### **Volume horaire**

20h de Projet Numérique,

#### **- Matière Couche Limite Atmosphérique (CLAT)**

##### **Objectifs**

- \* Se familiariser avec les concepts de base permettant de d'écrire et de modéliser la couche limite atmosphérique.
- \* Être capable de dégager les éléments essentiels à partir de la lecture de documents scientifiques dans une perspective d'applications pratiques.
- \* Maîtriser les développements analytiques de base permettant une compréhension physique des phénomènes étudiés.
- \* S'appropriier le sujet par la réalisation de projets.

##### **Description**

Principes pédagogiques :

- \* Auto-apprentissage à partir d'un corpus de ressources
- \* Réalisation d'un projet avec devoir maison et BE
- \* Lien entre les connaissances et les applications métiers

Trois axes de lecture :

- \* Couche limite dans le cas neutre : spirale d'Ekman, loi logarithmique
- \* Ondes et instabilités thermiques : ondes de relief, convection
- \* Modélisation de la turbulence : fermetures TKE, Monin-Obukov

Pédagogie par projet :

- \* Une synthèse de document à partir de deux articles
- \* Un code de calcul à développer avec production de résultats
- \* Un rapport écrit combinant connaissances et cas d'application

**Responsable(s)**

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

THUAL OLIVIER

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Bibliographie**

[1] R. Stull, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer 1988.

[2] R. E. Britter and S. R. Hanna, Flow and dispersion in urban areas, Annu. Rev. Fluid Mech. (2003) 35 :46996

[3] J. Finnigan, Turbulence in plant canopies, Annu. Rev. Fluid Mech. (2000) 32 :51957

**- Matière Hydrodynamique Littorale et Cotière (HCLO)**

**Objectifs**

- \* Mettre en évidence les spécificités de l'environnement littoral
- \* Analyser les processus physiques en jeux
- \* Proposer des modèles pour les principaux phénomènes
- \* Mettre en œuvre certains modèles simples

**Description**

Format du cours :

- \* Contrôle sous forme de projet.
- \* Seance Cours /TD.

**Volume horaire**

10 séances de 1h45

**Responsable(s)**

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

ASTRUC DOMINIQUE

**Bibliographie**

Ouvrage d'introduction:

- \* Collectif d'auteurs, *Waves, tides and shallow water processes*, Open University.

Ouvrages de base

- \* R. Bonnefille, *Hydraulique maritime*, Masson.
- \* R. Dean et R. Dalrymple, *Water waves mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- \* O. Thual, *Des ondes et des fluides*, Editions Cépaduès. [Disponible en ligne](#)

Ouvrage avancé

- \* C. C. Mei, *The applied dynamics of ocean surface waves*, World Scientific.

Sites web

- \* Coastal Engineering Manual : <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>

## - Matière Transport et Mélange (TREM)

### Objectifs

Introduction aux processus physiques de transport et de mélange de substances, d'origine anthropique ou non, dans des situations environnementales. Il s'agit de plus, de présenter quelques méthodes utilisées pour modéliser l'évolution des substances rejetées en milieu naturel.

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

### Bibliographie

Mixing in Inland and Coastal Waters, H.B. Fischer, E.J. List, R.C.Y Koh, J. Imberger, N.H. Brooks, Academic Press, 1979.

## - Spécialité-MSN-Enr

### - UE PROJETS DE MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

### - Matière BES Schémas Compressibles

**Responsable(s)**  
BLANCHARD GHISLAIN

### - Matière BES Schémas Incompressibles

#### Pré-requis nécessaires

Cours sur méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

### Objectifs

L'objectif de ce BES est de coder une des deux méthodes vues dans le cours méthodes numériques pour les écoulements incompressibles.

Les étudiants vont coder à partir d'un squelette de code fortran la méthode de projection avec 2 schémas numériques et vont les comparer sur le cas de la cavité entraînée.

### Compétences visées

- apprentissage du codage d'un code basique de CFD
- utilisation de postprocessing de visualisation ( à base de paraview)
- analyse de résultats numériques
- valorisation des résultats par une présentation orale

### Responsable(s)

ESTIVALEZES JEAN-LUC

### - Matière BES Nouveaux codes et codes industriels

#### Responsable(s)

NEAU HERVE

## - UE TURBULENCE ET ECOULEMENTS MULTIPHASES

### - Matière Physique des écoulements turbulents incompressibles (PHET)

#### Objectifs

Ce cours décrit les processus physiques associés aux mécanismes des transferts d'énergie au sein des des écoulements turbulents incompressibles. Il introduit les outils de description et d'analyse des ces écoulements. A l'issus de ce cours, les étudiants seront à même

- \* de décrire les mécanismes physiques à l'oeuvre dans les écoulements turbulents
- \* de calculer des observables caractérisants ces écoulements
- \* d'analyser des données issues d'expériences ou de simulations numériques.
- \* de comparer les observations à des théories existantes
- \* d'utiliser le formalisme mathématique introduit dans le cours pour décrire et analyser d'autres phénomènes physiques complexes

#### Description

- Introduction
- Dynamique de la vorticité
- Lien entre l'énergie, enstrophie et la dissipation
- Présentation phénoménologique de la cascade d'énergie
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace physique
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace spectrale
- Présentation de la theorie de Kolmogorov et de ses limitations



**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

## **- Matière Ecoulements Diphasiques (DIPH)**

### **Objectifs**

Sensibiliser les étudiants à la dynamique complexe des écoulements diphasiques. La physique de ces écoulements est introduite au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans (masse, quantité de mouvement et énergie) à l'interface séparant deux fluides. Ces bilans sont ensuite utilisés pour écrire les équations générales des milieux diphasiques. Les mécanismes physiques présents dans de tels écoulements sont ensuite introduits par la description des transferts (forces, masse, chaleur, changement de phase, rupture, coalescence) rencontrés dans les écoulements constitués de particules (bulles, gouttes ou particules solides).

### **Description**

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces.
- Equations générales des milieux diphasiques.
- Introduction des approches à 1-Fluide et à 2-Fluides
- Solution simples : évaporation d'un film ou d'une goutte, écoulement de Couette diphasique
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...).

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**  
anglais

## **- Matière Transferts en Milieux diphasiques et turbulents (TMRC)**

### **Objectifs**

Ce cours introduit les mécanismes de transferts observés dans les écoulements diphasiques turbulents.

La première partie du cours rappelle les similitudes et différences entre le transfert de masse et de chaleur. Il décrit dans le contexte des écoulements dispersés les lois de transfert (nombres de Sherwood et Nusselt) à l'échelle des bulles, gouttes et particules. Ces notions sont appliquées pour étudier le transfert d'oxygène dans une colonne à bulle soit par injection de bulles d'air, soit par injection de bulles d'oxygène pur. L'équation de transfert est ensuite dérivée dans le contexte des approches à 2-Fluides.

La deuxième partie du cours concerne le transfert en écoulement turbulent. Les notions de couches limites thermiques ou massiques en régime turbulent sont présentées. La description statistique du mélange en turbulence homogène est présentée ainsi que les lois d'échelles qui le caractérisent et leur dépendance avec les nombres de Reynolds et de Schmidt/ Prandtl. Pour finir, ces notions sont appliquées à l'estimation du mélange dans les réacteurs partiellement pré-mélangés.

### **Description**

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale –

- I. Analogies et différences entre transfert de masse et transferts de chaleur. Nombres de Nusselt et de Sherwood
- II. Transferts à l'échelle des particules fluides (bulles et gouttes). Mise en évidence des lois d'échelles générique en fonction de la nature de l'interface
- III. Application au transfert d'Oxygène dans une colonne à bulle
- IV. Travaux dirigés sur l'analyse de mesures expérimentales du transfert dans une colonne à bulle

V. Présentation des notions de mélanges en écoulements turbulents.

**Responsable(s)**  
LEGENBRE DOMINIQUE

## - Spécialité-MSN-Env-BD

### - UE ECOULEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

#### Pré-requis nécessaires

- \* Notions de mécanique des fluides
- \* Notions d'hydraulique à surface libre

#### Objectifs

- \* connaître les processus intervenant dans les écoulements de fluides présents dans l'atmosphère, les océans et les cours d'eau.
- \* apprendre à utiliser des logiciels avancés pour des calculs d'hydraulique à surface libre, de transport de sédiments et de polluants.

#### Volume horaire

20h de Projet Numérique,

### - Matière Couche Limite Atmosphérique (CLAT)

#### Objectifs

- \* Se familiariser avec les concepts de base permettant de d'écrire et de modéliser la couche limite atmosphérique.
- \* Être capable de dégager les éléments essentiels à partir de la lecture de documents scientifiques dans une perspective d'applications pratiques.
- \* Maîtriser les développements analytiques de base permettant une compréhension physique des phénomènes étudiés.
- \* S'approprier le sujet par la réalisation de projets.

#### Description

Principes pédagogiques :

- \* Auto-apprentissage à partir d'un corpus de ressources
- \* Réalisation d'un projet avec devoir maison et BE
- \* Lien entre les connaissances et les applications métiers

Trois axes de lecture :

- \* Couche limite dans le cas neutre : spirale d'Ekman, loi logarithmique
- \* Ondes et instabilités thermiques : ondes de relief, convection
- \* Modélisation de la turbulence : fermetures TKE, Monin-Obukov

Pédagogie par projet :

- \* Une synthèse de document à partir de deux articles
- \* Un code de calcul à développer avec production de résultats
- \* Un rapport écrit combinant connaissances et cas d'application

#### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

THUAL OLIVIER

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Bibliographie**

[1] R. Stull, *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer 1988.

[2] R. E. Britter and S. R. Hanna, *Flow and dispersion in urban areas*, *Annu. Rev. Fluid Mech.* (2003) 35 :46996

[3] J. Finnigan, *Turbulence in plant canopies*, *Annu. Rev. Fluid Mech.* (2000) 32 :51957

**- Matière Hydrodynamique Littorale et Cotière (HCLO)**

**Objectifs**

- \* Mettre en évidence les spécificités de l'environnement littoral
- \* Analyser les processus physiques en jeux
- \* Proposer des modèles pour les principaux phénomènes
- \* Mettre en œuvre certains modèles simples

**Description**

Format du cours :

- \* Contrôle sous forme de projet.
- \* Seance Cours /TD.

**Volume horaire**

10 séances de 1h45

**Responsable(s)**

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

ASTRUC DOMINIQUE

**Bibliographie**

Ouvrage d'introduction:

- \* Collectif d'auteurs, *Waves, tides and shallow water processes*, Open University.

Ouvrages de base

- \* R. Bonnefille, *Hydraulique maritime*, Masson.
- \* R. Dean et R. Dalrymple, *Water waves mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- \* O. Thual, *Des ondes et des fluides*, Editions Cépaduès. [Disponible en ligne](#)

Ouvrage avancé

- \* C. C. Mei, *The applied dynamics of ocean surface waves*, World Scientific.

Sites web

\* Coastal Engineering Manual : <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>

## - Matière Transport et Mélange (TREM)

### Objectifs

Introduction aux processus physiques de transport et de mélange de substances, d'origine anthropique ou non, dans des situations environnementales. Il s'agit de plus, de présenter quelques méthodes utilisées pour modéliser l'évolution des substances rejetées en milieu naturel.

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

### Bibliographie

Mixing in Inland and Coastal Waters, H.B. Fischer, E.J. List, R.C.Y Koh, J. Imberger, N.H. Brooks, Academic Press, 1979.

## - UE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN GEOSCIENCES

### - Matière Méthodes mathématiques pour l'exploitation des données

#### Objectifs

Illustrer différentes méthodes mathématiques pour l'analyse et l'utilisation de données en géoscience

#### Compétences visées

- \* Reconnaître les différentes sources possibles d'incertitude en modélisation environnementale
- \* Identifier les méthodologies d'estimation et de propagation d'incertitude et les utiliser
- \* Décrire les applications pratiques de l'assimilation de données en environnement
- \* Reconnaître une méthode d'ensemble pour l'assimilation de données et l'expérimenter

#### Description

- \* Partie 1 : Quantification des incertitudes en modélisation environnementale
- \* Partie 2 : Méthodes d'ensemble pour l'assimilation de données

**Responsable(s)**  
ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**  
Hybride

**Langue d'enseignement**  
Français

### - Matière Utilisation de l'intelligence artificielle en prévision

### Objectifs

Illustrer différentes utilisations possibles de méthodes d'intelligence artificielle pour faire de la prévision en géosciences

### Compétences visées

Identifier et employer des méthodes classiques d'apprentissage

Choisir une méthode appropriée à l'objectif visé

### Description

Partie 1 : Méthodes d'apprentissage pour la prévision

Partie 2 : Réseaux de neurones pour la classification en géoscience

### Responsable(s)

ROUX HÉLÈNE

### Méthode d'enseignement

Hybride

### Langue d'enseignement

Français

## - UE MODELISATION

### - Matière Modèles pour les Interfaces

#### Objectifs

La simulation numérique des écoulements en présence d'une interface déformable (avec un solide ou un autre liquide) concerne de nombreuses applications telles que l'environnement, la géophysique, l'engineering et la physique fondamentale. Ce cours présente les méthodes numériques permettant la résolution des équations de Navier-Stokes au contact d'interface déformable. Des problèmes spécifiques sont induits par ce type de géométrie : position et déformation de l'interface(généralement en mouvement), modification de la topologie (rupture-coalescence)et prise en compte de la discontinuité des grandeurs physiques à la traversée de l'interface (densité, viscosité, pression,...).

#### Description

Les méthodes présentées peuvent être divisées en deux groupes dépendant du type de maillage utilisé pour la résolution de tels problèmes.

Pour les méthodes à maillage évolutif (méthodes lagrangiennes), l'interface est une frontière entre deux sous-domaines. Deux principales méthodes sont présentées : les méthodes intégrales de frontière(Ecoulement de Stokes ou potentiels) et les méthodes directes ou les équations de Navier-Stokes sont résolues dans chaque phase en coordonnées curvilignes et le maillage est adaptatif. Pour les méthodes à maillage fixe (méthodes eulériennes), l'interface se déplace sur une grille fixe. Différentes méthodes pour suivre l'interface sont présentées :méthodes marqueurs, Level set ou Volume of Fluid (VOF) utilisant soit une méthode de capture de front ou de suivi de front.

#### Responsable(s)

LEGENDRE DOMINIQUE

### - Matière Modélisation en turbulence

#### Pré-requis nécessaires

## Cours de turbulence de 2ième année

### Objectifs

-Présenter les différents modèles de turbulence du premier ordre de type RANS employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients,

-Présenter les techniques avancées de simulation des écoulements turbulents et instationnaires: simulation directe et simulation des grandes échelles. Les aspects physiques et numériques sont abordés. L'apport de ces méthodes, mais aussi leurs limites par rapport à d'autres méthodes plus classiques sont développés.

-Analyser plusieurs modèles RANS à travers un BE sur un cas de jet impactant avec les codes ANSYS-Fluent et Starccm+

### Description

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs.

Pour la seconde partie concernant la modélisation instationnaire de la turbulence, on rappellera la classification des méthodes de résolution des écoulements turbulents, on fera une introduction à la simulation directe: caractéristiques, intérêts et limites, schémas. Introduction de la simulation des grandes échelles: modélisation sous-maille, schémas numériques.

### Volume horaire

14,5h

### Responsable(s)

ESTIVALEZES JEAN-LUC

### Bibliographie

-Polycopié et copie des transparents

-L. Davidson "Fluid mechanics, turbulent flow and turbulence modeling"

## - Matière Modélisation des transferts proche paroi

### Objectifs

le cours a pour vocation de donner aux étudiants les connaissances leur permettant d'appréhender les notions principales liées aux comportements des écoulements de paroi et aux modélisations associées. Une description des couches limites turbulentes est proposée afin d'analyser les comportements proche paroi et de faire le lien avec les modélisations RANS au travers de l'exemple d'un modèle à viscosité turbulente à deux équations. Une ouverte sur les modélisations instationnaires RANS/LES est proposée en fin de cours pour étendre le spectre des connaissances. L'ensemble du cours doit permettre aux étudiants de mettre en œuvre des simulations numériques pertinentes en présence de parois et de porter un regard critique objectif sur des résultats de simulations.

### Description

Le cours se décompose en 9 séances et s'articule comme suit. Après une introduction aux notions de couche limite, on se penche sur la description fine des régions internes et externes des couches limites turbulentes, avec un premier exemple de modélisation simple avec le modèle de longueur de mélange. Ensuite, une séance est consacrée à la question de la physique et de la modélisation de la transition naturelle. On aborde les notions de stabilité avec l'équation d'Orr-Sommerfeld et on termine par un survol des différents mécanismes de transition existants (TS, CF, By-pass, bulbe,...). La suite se concentre sur la description de la turbulence et plus particulièrement des spectres d'énergie. L'idée est de donner une vision des structures turbulentes et leurs comportements aux différentes échelles (cascade énergie, échelle de Kolmogorov, échelles intégrales, hypothèse de Taylor,...). A partir de ces éléments théoriques, on analyse les procédures de fermeture des modèles de turbulence RANS et plus particulièrement du modèle k-epsilon. Enfin, une dernière séance est consacrée aux modèles RANS/LES en insistant sur les rapprochements (forme des équations, viscosité SGS/turbulente, ...) et les différences (ordre de grandeur viscosité SGS/turbulente, grandeurs transportées, maillage, ..) qui existent entre les modélisations RANS et LES.

### Responsable(s)

CHEDEVERGNE FRANCOIS

## - UE ENVIRONNEMENT POUR LE CALCUL INTENSIF

### - Matière BES langages avancés (C++, Phyton)

**Responsable(s)**  
STOUKOV ALEXEI

### - Matière Environnement Logiciel du Calcul Scientifique

**Responsable(s)**  
AMESTOY PATRICK

### - Matière Techniques de génération maillage, pré/post processing

#### Objectifs

L'objectif de ce cours sur le maillage est de rendre les étudiants autonomes pour la création d'une géométrie (CAO), et pour la création du maillage (structuré, non structuré, hexaédrique, tétraédrique, polyédrique, hybride, couche limite, maillage surfacique, ...) : notions de base, rôle et importance du maillage et de sa qualité dans la simulation numérique (y compris en HPC), présentation des différents algorithmes de maillage (avancée de front, sphère vide, ...). Le but est que les étudiants comprennent clairement ce qu'ils font en utilisant un mailleur et qu'ils aient une analyse critique de leur maillage en fonction du solveur qu'ils veulent utiliser et de la physique à résoudre.

Les principaux types de maillage (triangulaire et tétraédrique, quadrangulaire et hexaédrique, hybride, surfacique et volumique, polyédrique, ...) sont détaillés. Les algorithmes utilisés dans les mailleurs libres (Salome, Gmsh) ou commerciaux (Ansys tools, Simail) pour générer ces différents maillages sont présentés.

Un ensemble de règles et de bonnes pratiques concernant la génération des maillages est exposé ainsi que les critères de qualité associés aux différents types de maillage.

Un accent particulier est porté sur des conseils de mise en forme et de valorisation des résultats de simulation afin de mieux mettre en valeur les résultats obtenus dans ce cours comme en BEI ou plus tard dans leur carrière.

#### Description

- Cours MAILLAGE

Introduction / Exemples

Méthodes numériques et maillages

Algorithmes de maillage triangulaire et tétraédrique

Algorithmes de maillage quadrangulaire et hexaédrique

Méthodes hybrides

Maillages surfaciques

Maillages polyédriques

Bonnes pratiques de maillage / Critères de qualité

Conclusion générale sur les maillages

Mailleurs disponibles à l'ENSEEIH

Principes de construction des géométries

Cours VISU et POST-TRAITEMENT

Introduction

Contraintes techniques (images et vidéos)

Création d'une vidéo de qualité

Une visualisation de qualité : pièges à éviter, mise en forme à respecter, contenu, valorisation des résultats

- Logiciels de visualisation commerciaux / gratuits

Outils de visualisation et de post-traitement disponibles à l'ENSEEIH

- TRAVAUX DIRIGES

- 4h en commun sur un sujet avec le maître Salome pour valider les notions de base

- Mini-projets : En binôme les étudiants réalisent des mini-projets dans lesquels ils choisissent le sujet d'étude à mailler (statoréacteur, flèche, arc de triomphe, module de rentrée atmosphérique, sous-marin, dirigeable, coquillage, ornithorynque, ...), le maillieur (Salome, Gmsh, Ansys tools, StarCCM+, simail, comsol, ...) qu'ils veulent utiliser ainsi que le solveur (Code\_Saturne, Ansys, StarCCM+, ...). L'évaluation est une soutenance orale qui porte sur ces mini-projets. Les maillages générés doivent avoir tourné sur le solveur de leur choix ...

**Responsable(s)**

NEAU HERVE

**Bibliographie**

\* Introduction au maillage pour le calcul scientifique - Auteur : Franck Ledoux - Editeur : CEA DAM Île-de-France

## · UE METHODES NUMERIQUES POUR LE CALCUL SCIENTIFIQUE EN AERODYNAM

### · Matière Méthodes numérique pour la simulation des écoulements incompressibles

**Pré-requis nécessaires**

Cours de 1ère année sur les méthodes numériques

**Objectifs**

Présenter les principaux algorithmes utilisés pour la simulation numérique des écoulements incompressibles, notamment ceux que l'on va trouver dans les grands codes industriels

**Description**

Après avoir rappelé les particularités des équations de Navier-Stokes incompressibles, on détaillera les 2 grandes familles d'algorithmes utilisés pour résoudre ces équations numériquement par des approches volumes ou différences finies: méthodes de projection et méthodes de ségrégations. On présentera ensuite les techniques performantes pour la résolution des grands systèmes linéaires obtenus après discrétisation des équations.

**Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Bibliographie**

-transparents et notes de cours sur le moodle

-Iterative methods for large sparse linear systems - Auteur : Y. Saad

URL : <http://www-users.cs.umn.edu/~saad/books.html>

-High resolution methods for incompressible and low speed flows - Auteur : W. Rider, D. Drikakis - Editeur : Springer Verlag , 2005



## **- Matière Méthodes Numérique pour la Simulation des Ecoulements Compressibles**

### **Pré-requis nécessaires**

Cours de 1ère année sur les méthodes numériques

### **Objectifs**

L'objectif de ce cours est d'introduire les principales méthodes numériques utilisées pour résoudre les équations régissant les lois de conservation hyperboliques. On s'intéressera en particulier à la dynamique des gaz et aux écoulements à surface libre et plus généralement aux problèmes hyperboliques non linéaires générant des discontinuités comme par exemple les ondes de choc

### **Description**

Après avoir souligné les spécificités de ces écoulements du point de vue de la modélisation numérique, on présentera les techniques numériques modernes pour la capture des discontinuités (solveurs de Riemann, schémas de décomposition de flux..). On détaillera les méthodes de montée en ordre ( méthode MUSCL). On s'intéressera aussi à la discrétisation des conditions aux limites pour les problèmes hyperboliques

### **Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **Bibliographie**

-Polycopié et copie des transparents sur le moodle

-Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics, third edition - Auteur : E. Toro - Editeur : Springer Verlag , 2009

-Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, Second Edition - Auteur : C. Hirsch - Editeur : Elsevier Science , 750665947 - ISBN : 2007

## **- Matière Assimilation des données**

### **Responsable(s)**

THUAL OLIVIER

## **- UE Soft and Human Skills MF2E**

### **Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

## **- Matière Professional English-LV1-Semestre 9**

### **Responsable(s)**

DENNIS CHLOE  
TAYLOR KAY

## **- Matière Anglais Scientifique**

### **Responsable(s)**

TAYLOR KAY

## - Choix 2 Anglais Professionnel - 3A

A choix: 1 Parmi 1 :

### - Matière Anglais Clinique

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

### - Matière Anglais de Cambridge ou Projet

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

## - Matière Bureau d'Etudes Industrielles (BEI/BEE)/Conférence

### Objectifs

Travail sur un problème appliqué provenant du monde industriel. Les sujets sont proposés par nos partenaires industriels et couvrent un très vaste champ d'applications en énergétique et procédé. Par exemple, Aérodynamique (avion et auto), domaine spatial (refroidissement des satellites), domaine pétrolier (hydraulique et gisement), génie des procédés (réacteurs, colonnes à bulles), transformation de l'énergie (combustion, changement de phase), hydraulique environnemental (ouvrages et aménagement du territoire) ...

Mise en application des connaissances acquises durant la formation sur un problème concret. Apprentissage en général d'un code de calcul industriel pour répondre à l'étude et/ou développement de petits codes permettant de résoudre la modélisation appropriée pour l'étude.

Travail en équipe de 2 ou 3 étudiants sous la responsabilité d'un tuteur pédagogique.

### Description

- Analyse du sujet et définition des objectifs et du cahier des charges en partenariat avec l'industriel
- Etude de la compréhension locale de la physique impliquée dans le problème. L'objectif est en général soit une description fine de phénomènes locaux ou soit un dimensionnement global d'un système avec bien souvent une interaction forte entre les deux.
- La progression du travail est laissée à l'initiative des élèves qui s'appuient sur les enseignants permanents ainsi que sur les contacts industriels qui peuvent être invités pour un séminaire.
- Présentation intermédiaire à mi-parcours faisant état de l'avancement du travail.
- Rédaction d'un rapport sur support html et soutenance finale en anglais devant un jury avec partenaires les industriels invités.

**Responsable(s)**  
BERNAL Olivier  
olivier.bernal@enseeiht.fr  
Tel. 2553

POIRIER Jean-rene  
Jean-Rene.Poirier@enseeiht.fr  
Tel. 2381

NADAL Clement  
clement.nadal@enseeiht.fr  
Tel. 0561638876

CAUX Stephane  
Stephane.Caux@enseeiht.fr  
Tel. 2362

CAUX STEPHANE  
POIRIER JEAN RENE  
ERMONT JEROME  
BERNAL OLIVIER  
NADAL CLEMENT

**Langue d'enseignement**  
Français ou Anglais

## - EIp à choix SHS-S9

A choix: 1 Parmi 1 :

### - Matière Careers, Leadership & Management-S9

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA  
CAUX STEPHANE  
POIRIER JEAN RENE  
BERNAL OLIVIER

### - Matière Conduite d'opération en hydraulique (MF2E)

#### Objectifs

Donner aux futurs ingénieurs les notions et les outils leur permettant d'être opérationnels dans la conduite de projets, ici appliqués à l'ingénierie hydraulique

#### Description

- « Maître d'oeuvre, d'ouvrage & entreprise »

Rôle de chaque intervenant. Dossiers réglementaires : dossier d'autorisation, nomenclature loi sur l'eau, relation avec les services de l'Administration (DREAL, DDT, AFB ...). Calendrier d'opération.

- « Les missions normalisées du maître d'oeuvre »

APS, AVP, PRO, DCE, VISA, DET, OPR.

- « Consultation des entreprises »

Constitution des pièces techniques pour consultation (CCTP, BP, DQE). Présentation des référentiels techniques (Eurocodes, fascicules, normes, GTR).

**Volume horaire**  
11.25 h

**Responsable(s)**  
LAUVERGNIER FRANCOIS

### - Matière Controverses dans un monde en transition (MF2E)

#### Objectifs

Aider à appréhender et à communiquer vis-à-vis des sujets de société et des controverses

#### Description

#### Séance 1 : « définition du sujet »

Définition le sujet et du rendu-final. Travail en autonomie des étudiants en vue du rendu final. Rendez-vous ponctuels pour interagir avec l'équipe référente possibles.

#### Séance 2 : « recherche documentaire » (Isabelle Perez, biblioN7)

Quels outils les étudiants ont-ils utilisé pour se documenter sur le sujet retenu, comment ? quel recul par rapport aux documents trouvés ? D'où émanent-ils ? Sont-ils dignes de confiance ?

#### Séances 3 et 4 : « la controverse » (François Purseigle, Antoine Doré, Geneviève Nguyen, ENSAT)

Qu'est-ce qu'un sujet « controversé » ? comment les controverses articulant sciences / technologies / société / innovation naissent-elles ? notions d'incertitude, de trajectoire d'une controverse. Elargissement possible vers des considérations économiques / développement durable, etc.

#### Séance 5 : « témoignages d'ingénieurs en fonction confrontés à la problématique étudiée » (intervenants extérieurs)

Témoignages et échanges organisés par les étudiants.

**Responsable(s)**  
DURU PAUL

#### - Matière RSE (MF2E)

##### Objectifs

- Présenter la responsabilité sociétale des entreprises : définitions concept de développement durable (DD) et mise en œuvre grâce aux lignes directrices de la norme 26000

- Travaux Dirigés sur le rapport RSE d'une entreprise afin d'identifier les enjeux de DD pris en compte par l'entreprise choisie et la cohérence par rapport aux impacts potentiels de l'entreprise

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

#### - Matière IT and Computer Law (SN)

**Responsable(s)**  
MAURAN PHILIPPE

#### - Matière Strategic and Critical Thinking (SN)

**Responsable(s)**  
MAURAN PHILIPPE

#### - Matière CV Entretiens(3EA)

##### Objectifs

Ils consistent à accompagner les étudiants pour les aider à :

- rédiger des écrits professionnels, CV et lettre de motivation, en utilisant les particularités des formats papier ou électronique, et de la communication synchrone et asynchrone et en répondant aux demandes des entreprises.

- développer les qualités en communication écrite et orale : réussir les entretiens de recrutement, maîtriser d'une façon harmonieuse les relations professionnelles (interculturalité, relations hiérarchiques, team building),
- convaincre et persuader lors d'entretiens de recrutement et jusqu'à la signature du contrat de travail,
- finaliser et optimiser le P.P.P (Projet Professionnel Personnel).

### **Compétences visées**

l'étudiant sera capable :

- de rédiger un CV et une lettre de motivation adaptée à la demande des entreprises,
- de convaincre lors d'un entretien de recrutement, lors de la négociation du contrat de travail et du salaire,
- d'intégrer des stratégies de recrutement, comprendre la demande des entreprises,
- de faire un travail sur soi, aller dans le sens de l'excellence et des exigences des entreprises.

### **Description**

- analyser et synthétiser efficacement de façon à mieux communiquer oralement et à l'écrit, à propos de thèmes suivants : réussir son entretien de recrutement en présentiel en distanciel, les speed net working, le marché de l'emploi, le développement des starts up les codes du recrutement, point sur les outils du recrutement, utilisation de LINKEDIN, négocier son contrat de travail, son salaire, l'intérêt de l'expatriation...

- apprendre à mieux se connaître (ses points faibles et ses points forts) afin de mieux communiquer.

### **METHODE**

- apports théoriques, «Communication écrite, orale», et «Bien démarrer sa vie professionnelle»
- mise en situation, avec la présentation orale (diaporama) et écrite d'un sujet en lien avec le recrutement,
- connaissance de soi, pédagogie inversée, développement du leadership, accompagnement adapté.

### **EVALUATION DES ETUDIANTS**

Elle portera sur la réalisation d'exercices concernant : la rédaction d'un CV et d'une lettre de motivation efficaces, des simulations d'entretiens de recrutement, des présentations écrites et orales à propos des thèmes précisés ci-dessus.

### **ORGANISATION DES COURS**

Les cours « Insertion professionnelle » s'organisent ainsi, il y a un décloisonnement des enseignements, ils sont orientés vers la recherche de stage/emploi et la communication :

- des forums du recrutement et des carrières sont proposés,
- les cours et TD sont donnés durant le semestre 1 de l'année universitaire (bac +5), soit 8 heures.

Ce calendrier est ponctué d'échanges par e-mail et en face à face avec l'enseignante, en fonction des besoins de l'étudiants.

**Responsable(s)**  
ESTADIEU GENEVIEVE

### **Bibliographie**

- Méthodes de recrutement, Frédéric BONTE, Yann BUSTOS, Vuibert 2014

- Comment le web change le monde F. PISANI, D. PIOLET, Ed. Pearson 2011.
- Progresser en communication, M. L. FOUGIER, M. ROCCA, G. SEBASTIEN, Ed. PUG 2007.
- Trouver facilement un stage, un premier emploi, Romy SAUVAYRE, l'Etudiant Editions 2021.

#### **- Matière Recherche doc.(3EA)**

**Responsable(s)**  
PERES YOLANDE

#### **- Matière Innovation-Entreprenariat-S9**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

#### **- Choix de Spécialité-MSN**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Spécialité-MSN**

#### **- UE APPLICATIONS A L'AERODYNAMIQUE**

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

#### **- Matière Aérodynamique**

##### **Pré-requis nécessaires**

"Basiques" de mécanique des fluides

"Basiques" de thermodynamique

##### **Objectifs**

Introduire les principales notions physiques et outils mathématiques pour traiter des problèmes d'aérodynamique incompressible et compressible. A l'issue de cet enseignement les étudiants doivent savoir formuler et appliquer les modèles de l'aérodynamique et prédire les efforts appliqués sur une aile et ses performances. Ils devront également connaître les limites des modèles théoriques.

##### **Description**

-Introduction générale, terminologie et nomenclature.

-Comprendre les mécanismes de sustentation d'un avion.

-Théorie linéarisée pour les profils (2D) et effets des dispositifs d'hypersustentation en régime subsonique incompressible.

-Problème direct (connaissant la géométrie du profil, comment calculer les coefficients aérodynamiques) et problème inverse (connaissant les objectifs de performance en terme de coefficients aérodynamiques, comment calculer la géométrie du profil).

-Théorie de la ligne portante pour les ailes (3D) et effet de la forme en plan, de l'allongement et du vrillage de l'aile.

-Théorie linéarisée (Prandtl-Glauert) autour d'un profil (2D) pour le régime subsonique compressible.

-Le régime transsonique.

-Théorie linéarisée (Ackeret) autour d'un profil (2D) pour le régime supersonique.

-Rappels sur la résolution de chocs/détentes dans le cas non-linéaire.

**Volume horaire**

22h45

**Responsable(s)**

ALBAGNAC JULIE

**Bibliographie**

Polycopié du cours rédigé par J.Albagnac et J.Mougel

J.D.Anderson, Fundamentals of Aerodynamics

A.Giovannini et C.Airiau, Aérodynamique Fondamentale

**- Matière Aéroacoustique**

**Responsable(s)**

PIOT ESTELLE

**- Matière Interactions Fluide-Structure**

**Objectifs**

Les phénomènes d'interaction fluide-structure (IFS) peuvent se rencontrer dès lors qu'un fluide est au contact d'un solide. Les interactions susceptibles de se produire dans ce cas sont cruciales dans des domaines tels que l'aéronautique, le génie civil, la bio-mécanique, l'industrie nucléaire, les énergies renouvelables, etc. La compréhension de ces phénomènes via leur modélisation et leur simulation est donc indispensable à l'ingénieur mécanicien des fluides.

Ce cours vise à introduire les concepts de base associés à la modélisation et la simulation numérique pour les interactions fluide-structure.

#### **Description**

-Formalisme général, analyse dimensionnelle et classification des problèmes IFS.

-Rappels sur les principaux phénomènes aéroélastiques et leur modélisation (ballotements, flottement, galop, divergence statique, vibrations induites par vortex (VIV)).

-Principales méthodes de simulations en IFS.

-Vibrations induites par vortex (VIV), phénomène d'accrochage en fréquence : simulation sous OpenFoam

. -Méthode des frontières immergées : approfondissement en TD numérique.

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

### **- UE PROJETS DE MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Schémas Compressibles**

**Responsable(s)**  
BLANCHARD GHISLAIN

#### **- Matière BES Schémas Incompressibles**

##### **Pré-requis nécessaires**

Cours sur méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

##### **Objectifs**

L'objectif de ce BES est de coder une des deux méthodes vues dans le cours méthodes numériques pour les écoulements incompressibles.

Les étudiants vont coder à partir d'un squelette de code fortran la méthode de projection avec 2 schémas numériques et vont les comparer sur le cas de la cavité entraînée.

##### **Compétences visées**

-apprentissage du codage d'un code basique de CFD

-utilisation de postprocessing de visualisation ( à base de paraview)

-analyse de résultats numériques



-valorisation des résultats par une présentation orale

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Nouveaux codes et codes industriels**

**Responsable(s)**  
NEAU HERVE

### **- Spécialité-MSN-Env**

#### **- UE PROJETS DE MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Schémas Compressibles**

**Responsable(s)**  
BLANCHARD GHISLAIN

#### **- Matière BES Schémas Incompressibles**

##### **Pré-requis nécessaires**

Cours sur méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

##### **Objectifs**

L'objectif de ce BES est de coder une des deux méthodes vues dans le cours méthodes numériques pour les écoulements incompressibles.

Les étudiants vont coder à partir d'un squelette de code fortran la méthode de projection avec 2 schémas numériques et vont les comparer sur le cas de la cavité entraînée.

##### **Compétences visées**

-apprentissage du codage d'un code basique de CFD

-utilisation de postprocessing de visualisation ( à base de paraview)

-analyse de résultats numériques

-valorisation des résultats par une présentation orale

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Nouveaux codes et codes industriels**

**Responsable(s)**

## - UE ECOULEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

### Pré-requis nécessaires

- \* Notions de mécanique des fluides
- \* Notions d'hydraulique à surface libre

### Objectifs

- \* connaître les processus intervenant dans les écoulements de fluides présent dans l'atmosphère, les océans et les cours d'eau.
- \* apprendre à utiliser des logiciels avancés pour des calculs d'hydraulique à surface libre, de transport de sédiments et de polluants.

### Volume horaire

20h de Projet Numérique,

## - Matière Couche Limite Atmosphérique (CLAT)

### Objectifs

- \* Se familiariser avec les concepts de base permettant de d'écrire et de modéliser la couche limite atmosphérique.
- \* Être capable de dégager les éléments essentiels à partir de la lecture de documents scientifiques dans une perspective d'applications pratiques.
- \* Maîtriser les développements analytiques de base permettant une compréhension physique des phénomènes étudiés.
- \* S'appropriier le sujet par la réalisation de projets.

### Description

Principes pédagogiques :

- \* Auto-apprentissage à partir d'un corpus de ressources
- \* Réalisation d'un projet avec devoir maison et BE
- \* Lien entre les connaissances et les applications métiers

Trois axes de lecture :

- \* Couche limite dans le cas neutre : spirale d'Ekman, loi logarithmique
- \* Ondes et instabilités thermiques : ondes de relief, convection
- \* Modélisation de la turbulence : fermetures TKE, Monin-Obukov

Pédagogie par projet :

- \* Une synthèse de document à partir de deux articles
- \* Un code de calcul à développer avec production de résultats
- \* Un rapport écrit combinant connaissances et cas d'application

### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

THUAL OLIVIER

### Méthode d'enseignement

Hybride

### Bibliographie

[1] R. Stull, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer 1988.

[2] R. E. Britter and S. R. Hanna, Flow and dispersion in urban areas, *Annu. Rev. Fluid Mech.* (2003) 35 :46996

[3] J. Finnigan, Turbulence in plant canopies, *Annu. Rev. Fluid Mech.* (2000) 32 :51957

## - Matière Hydrodynamique Littorale et Cotière (HCLO)

### Objectifs

- \* Mettre en évidence les spécificités de l'environnement littoral
- \* Analyser les processus physiques en jeux
- \* Proposer des modèles pour les principaux phénomènes
- \* Mettre en œuvre certains modèles simples

### Description

Format du cours :

- \* Contrôle sous forme de projet.
- \* Seance Cours /TD.

### Volume horaire

10 séances de 1h45

### Responsable(s)

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

ASTRUC DOMINIQUE

### Bibliographie

Ouvrage d'introduction:

- \* Collectif d'auteurs, *Waves, tides and shallow water processes*, Open University.

Ouvrages de base

- \* R. Bonnefille, *Hydraulique maritime*, Masson.
- \* R. Dean et R. Dalrymple, *Water waves mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- \* O. Thual, *Des ondes et des fluides*, Editions Cépaduès. [Disponible en ligne](#)

Ouvrage avancé

- \* C. C. Mei, *The applied dynamics of ocean surface waves*, World Scientific.

Sites web

\* Coastal Engineering Manual : <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>

## - Matière Transport et Mélange (TREM)

### **Objectifs**

Introduction aux processus physiques de transport et de mélange de substances, d'origine anthropique ou non, dans des situations environnementales. Il s'agit de plus, de présenter quelques méthodes utilisées pour modéliser l'évolution des substances rejetées en milieu naturel.

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

### **Bibliographie**

Mixing in Inland and Coastal Waters, H.B. Fischer, E.J. List, R.C.Y Koh, J. Imberger, N.H. Brooks, Academic Press, 1979.

## **- Spécialité-MSN-Enr**

### **- UE PROJETS DE MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Schémas Compressibles**

**Responsable(s)**  
BLANCHARD GHISLAIN

#### **- Matière BES Schémas Incompressibles**

##### **Pré-requis nécessaires**

Cours sur méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

##### **Objectifs**

L'objectif de ce BES est de coder une des deux méthodes vues dans le cours méthodes numériques pour les écoulements incompressibles.

Les étudiants vont coder à partir d'un squelette de code fortran la méthode de projection avec 2 schémas numériques et vont les comparer sur le cas de la cavité entraînée.

##### **Compétences visées**

- apprentissage du codage d'un code basique de CFD
- utilisation de postprocessing de visualisation ( à base de paraview)
- analyse de résultats numériques
- valorisation des résultats par une présentation orale

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

#### **- Matière BES Nouveaux codes et codes industriels**

**Responsable(s)**  
NEAU HERVE

## - UE TURBULENCE ET ECOULEMENTS MULTIPHASES

### - Matière Physique des écoulements turbulents incompressibles (PHET)

#### Objectifs

Ce cours décrit les processus physiques associés aux mécanismes des transferts d'énergie au sein des écoulements turbulents incompressibles. Il introduit les outils de description et d'analyse des ces écoulements. A l'issus de ce cours, les étudiants seront à même

- \* de décrire les mécanismes physiques à l'oeuvre dans les écoulements turbulents
- \* de calculer des observables caractérisants ces écoulements
- \* d'analyser des données issues d'expériences ou de simulations numériques.
- \* de comparer les observations à des théories existantes
- \* d'utiliser le formalisme mathématique introduit dans le cours pour décrire et analyser d'autres phénomènes physiques complexes

#### Description

- Introduction
- Dynamique de la vorticité
- Lien entre l'énergie, enstrophie et la dissipation
- Présentation phénoménologique de la cascade d'énergie
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace physique
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace spectrale
- Présentation de la theorie de Kolmogorov et de ses limitations

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

### - Matière Ecoulements Diphasiques (DIPH)

#### Objectifs

Sensibiliser les étudiants à la dynamique complexe des écoulements diphasiques. La physique de ces écoulements est introduite au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans (masse, quantité de mouvement et énergie) à l'interface séparant deux fluides. Ces bilans sont ensuite utilisés pour écrire les équations générales des milieux diphasiques. Les mécanismes physiques présents dans de tels écoulements sont ensuite introduits par la description des transferts (forces, masse, chaleur, changement de phase, rupture, coalescence) rencontrés dans les écoulements constitués de particules (bulles, gouttes ou particules solides).

#### Description

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces.
- Equations générales des milieux diphasiques.
- Introduction des approches à 1-Fluide et à 2-Fluides
- Solution simples : évaporation d'un film ou d'une goutte, écoulement de Couette diphasique

- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...).

**Responsable(s)**  
LEGENBRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**  
anglais

## - Matière Transferts en Milieux diphasiques et turbulents (TMRC)

### Objectifs

Ce cours introduit les mécanismes de transferts observés dans les écoulements diphasiques turbulents.

La première partie du cours rappelle les similitudes et différences entre le transfert de masse et de chaleur. Il décrit dans le contexte des écoulements dispersés les lois de transfert (nombres de Sherwood et Nusselt) à l'échelle des bulles, gouttes et particules. Ces notions sont appliquées pour étudier le transfert d'oxygène dans une colonne à bulle soit par injection de bulles d'air, soit par injection de bulles d'oxygène pur. L'équation de transfert est ensuite dérivée dans le contexte des approches à 2-Fluides.

La deuxième partie du cours concerne le transfert en écoulement turbulent. Les notions de couches limites thermiques ou massiques en régime turbulent sont présentées. La description statistique du mélange en turbulence homogène est présentée ainsi que les lois d'échelles qui la caractérisent et leur dépendance avec les nombres de Reynolds et de Schmidt/ Prandtl. Pour finir, ces notions sont appliquées à l'estimation du mélange dans les réacteurs partiellement pré-mélangés.

### Description

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale –

I. Analogies et différences entre transfert de masse et transferts de chaleur. Nombres de Nusselt et de Sherwood

II. Transferts à l'échelle des particules fluides (bulles et gouttes). Mise en évidence des lois d'échelles générique en fonction de la nature de l'interface

III. Application au transfert d'Oxygène dans une colonne à bulle

IV. Travaux dirigés sur l'analyse de mesures expérimentales du transfert dans une colonne à bulle

V. Présentation des notions de mélanges en écoulements turbulents.

**Responsable(s)**  
LEGENBRE DOMINIQUE

## - Spécialité-MSN-Env-BD

### - UE ECOULEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

#### Pré-requis nécessaires

- \* Notions de mécanique des fluides
- \* Notions d'hydraulique à surface libre

#### Objectifs

- \* connaître les processus intervenant dans les écoulements de fluides présents dans l'atmosphère, les océans et les cours d'eau.
- \* apprendre à utiliser des logiciels avancés pour des calculs d'hydraulique à surface libre, de transport de sédiments et de polluants.

## Volume horaire

20h de Projet Numerique,

### - Matière Couche Limite Atmosphérique (CLAT)

#### Objectifs

- \* Se familiariser avec les concepts de base permettant de d'écrire et de modéliser la couche limite atmosphérique.
- \* Être capable de dégager les éléments essentiels à partir de la lecture de documents scientifiques dans une perspective d'applications pratiques.
- \* Maitriser les développements analytiques de base permettant une compréhension physique des phénomènes étudiés.
- \* S'appropriier le sujet par la réalisation de projets.

#### Description

Principes pédagogiques :

- \* Auto-apprentissage à partir d'un corpus de ressources
- \* Réalisation d'un projet avec devoir maison et BE
- \* Lien entre les connaissances et les applications métiers

Trois axes de lecture :

- \* Couche limite dans le cas neutre : spirale d'Ekman, loi logarithmique
- \* Ondes et instabilités thermiques : ondes de relief, convection
- \* Modélisation de la turbulence : fermetures TKE, Monin-Obukov

Pédagogie par projet :

- \* Une synthèse de document à partir de deux articles
- \* Un code de calcul à développer avec production de résultats
- \* Un rapport écrit combinant connaissances et cas d'application

#### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

THUAL OLIVIER

#### Méthode d'enseignement

Hybride

#### Bibliographie

[1] R. Stull, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer 1988.

[2] R. E. Britter and S. R. Hanna, Flow and dispersion in urban areas, Annu. Rev. Fluid Mech. (2003) 35 :46996

[3] J. Finnigan, Turbulence in plant canopies, Annu. Rev. Fluid Mech. (2000) 32 :51957

### - Matière Hydrodynamique Littorale et Cotière (HCLO)

#### Objectifs

- \* Mettre en évidence les spécificités de l'environnement littoral
- \* Analyser les processus physiques en jeux
- \* Proposer des modèles pour les principaux phénomènes
- \* Mettre en œuvre certains modèles simples

## Description

Format du cours :

- \* Contrôle sous forme de projet.
- \* Seance Cours /TD.

## Volume horaire

10 séances de 1h45

## Responsable(s)

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

ASTRUC DOMINIQUE

## Bibliographie

Ouvrage d'introduction:

- \* Collectif d'auteurs, *Waves, tides and shallow water processes*, Open University.

Ouvrages de base

- \* R. Bonnefille, *Hydraulique maritime*, Masson.
- \* R. Dean et R. Dalrymple, *Water waves mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- \* O. Thual, *Des ondes et des fluides*, Editions Cépaduès. [Disponible en ligne](#)

Ouvrage avancé

- \* C. C. Mei, *The applied dynamics of ocean surface waves*, World Scientific.

Sites web

- \* Coastal Engineering Manual : <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>

## - Matière Transport et Mélange (TREM)

### Objectifs

Introduction aux processus physiques de transport et de mélange de substances, d'origine anthropique ou non, dans des situations environnementales. Il s'agit de plus, de présenter quelques méthodes utilisées pour modéliser l'évolution des substances rejetées en milieu naturel.

### Responsable(s)

PRAUD OLIVIER

### Bibliographie



## · UE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN GEOSCIENCES

### · Matière Méthodes mathématiques pour l'exploitation des données

#### Objectifs

Illustrer différentes méthodes mathématiques pour l'analyse et l'utilisation de données en géoscience

#### Compétences visées

- \* Reconnaître les différentes sources possibles d'incertitude en modélisation environnementale
- \* Identifier les méthodologies d'estimation et de propagation d'incertitude et les utiliser
- \* Décrire les applications pratiques de l'assimilation de données en environnement
- \* Reconnaître une méthode d'ensemble pour l'assimilation de données et l'expérimenter

#### Description

- \* Partie 1 : Quantification des incertitudes en modélisation environnementale
- \* Partie 2 : Méthodes d'ensemble pour l'assimilation de données

#### Responsable(s)

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

ROUX HÉLÈNE

#### Méthode d'enseignement

Hybride

#### Langue d'enseignement

Français

### · Matière Utilisation de l'intelligence artificielle en prévision

#### Objectifs

Illustrer différentes utilisations possibles de méthodes d'intelligence artificielle pour faire de la prévision en géosciences

#### Compétences visées

Identifier et employer des méthodes classiques d'apprentissage

Choisir une méthode appropriée à l'objectif visé

#### Description

Partie 1 : Méthodes d'apprentissage pour la prévision

Partie 2 : Réseaux de neurones pour la classification en géoscience

#### Responsable(s)

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Langue d'enseignement**

Français

**- UE MODELISATION****- Matière Modèles pour les Interfaces****Objectifs**

La simulation numérique des écoulements en présence d'une interface déformable (avec un solide ou un autre liquide) concerne de nombreuses applications telles que l'environnement, la géophysique, l'engineering et la physique fondamentale. Ce cours présente les méthodes numériques permettant la résolution des équations de Navier-Stokes au contact d'interface déformable. Des problèmes spécifiques sont induits par ce type de géométrie : position et déformation de l'interface (généralement en mouvement), modification de la topologie (rupture-coalescence) et prise en compte de la discontinuité des grandeurs physiques à la traversée de l'interface (densité, viscosité, pression,...).

**Description**

Les méthodes présentées peuvent être divisées en deux groupes dépendant du type de maillage utilisé pour la résolution de tels problèmes.

Pour les méthodes à maillage évolutif (méthodes lagrangiennes), l'interface est une frontière entre deux sous-domaines. Deux principales méthodes sont présentées : les méthodes intégrales de frontière (Ecoulement de Stokes ou potentiels) et les méthodes directes ou les équations de Navier-Stokes sont résolues dans chaque phase en coordonnées curvilignes et le maillage est adaptatif. Pour les méthodes à maillage fixe (méthodes eulériennes), l'interface se déplace sur une grille fixe. Différentes méthodes pour suivre l'interface sont présentées : méthodes marqueurs, Level set ou Volume of Fluid (VOF) utilisant soit une méthode de capture de front ou de suivi de front.

**Responsable(s)**

LEGENBRE DOMINIQUE

**- Matière Modélisation en turbulence****Pré-requis nécessaires**Cours de turbulence de 2<sup>ème</sup> année**Objectifs**

-Présenter les différents modèles de turbulence du premier ordre de type RANS employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients,

-Présenter les techniques avancées de simulation des écoulements turbulents et instationnaires: simulation directe et simulation des grandes échelles. Les aspects physiques et numériques sont abordés. L'apport de ces méthodes, mais aussi leurs limites par rapport à d'autres méthodes plus classiques sont développés.

-Analyser plusieurs modèles RANS à travers un BE sur un cas de jet impactant avec les codes ANSYS-Fluent et Starccm+

**Description**

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs.

Pour la seconde partie concernant la modélisation instationnaire de la turbulence, on rappellera la classification des méthodes de résolution des écoulements turbulents, on fera une introduction à la simulation directe: caractéristiques, intérêts et limites, schémas. Introduction de la simulation des grandes échelles: modélisation sous-maille, schémas numériques.

**Volume horaire**

14,5h

**Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Bibliographie**

-Polycopié et copie des transparents

-L. Davidson "Fluid mechanics, turbulent flow and turbulence

modeling"

**- Matière Modélisation des transferts proche paroi**

**Objectifs**

le cours a pour vocation de donner aux étudiants les connaissances leur permettant d'appréhender les notions principales liées aux comportements des écoulements de paroi et aux modélisations associées. Une description des couches limites turbulentes est proposée afin d'analyser les comportements proche paroi et de faire le lien avec les modélisations RANS au travers de l'exemple d'un modèle à viscosité turbulente à deux équations. Une ouverte sur les modélisations instationnaires RANS/LES est proposée en fin de cours pour étendre le spectre des connaissances. L'ensemble du cours doit permettre aux étudiants de mettre en œuvre des simulations numériques pertinentes en présence de parois et de porter un regard critique objectif sur des résultats de simulations.

**Description**

Le cours se décompose en 9 séances et s'articule comme suit. Après une introduction aux notions de couche limite, on se penche sur la description fine des régions internes et externes des couches limites turbulentes, avec un premier exemple de modélisation simple avec le modèle de longueur de mélange. Ensuite, une séance est consacrée à la question de la physique et de la modélisation de la transition naturelle. On aborde les notions de stabilité avec l'équation d'Orr-Sommerfeld et on termine par un survol des différents mécanismes de transition existants (TS, CF, By-pass, bulbe,...). La suite se concentre sur la description de la turbulence et plus particulièrement des spectres d'énergie. L'idée est de donner une vision des structures turbulentes et leurs comportements aux différentes échelles (cascade énergie, échelle de Kolmogorov, échelles intégrales, hypothèse de Taylor,...). A partir de ces éléments théoriques, on analyse les procédures de fermeture des modèles de turbulence RANS et plus particulièrement du modèle k-epsilon. Enfin, une dernière séance est consacrée aux modèles RANS/LES en insistant sur les rapprochements (forme des équations, viscosité SGS/turbulente, ...) et les différences (ordre de grandeur viscosité SGS/turbulente, grandeurs transportées, maillage, ..) qui existent entre les modélisations RANS et LES.

**Responsable(s)**

CHEDEVERGNE FRANCOIS

**- UE ENVIRONNEMENT POUR LE CALCUL INTENSIF**

**- Matière BES langages avancés (C++, Phyton)**

**Responsable(s)**

STOUKOV ALEXEI

**- Matière Environnement Logiciel du Calcul Scientifique**

**Responsable(s)**

AMESTOY PATRICK

## - Matière Techniques de génération maillage, pré/post processing

### Objectifs

L'objectif de ce cours sur le maillage est de rendre les étudiants autonomes pour la création d'une géométrie (CAO), et pour la création du maillage (structuré, non structuré, hexaédrique, tétraédrique, polyédrique, hybride, couche limite, maillage surfacique, ...) : notions de base, rôle et importance du maillage et de sa qualité dans la simulation numérique (y compris en HPC), présentation des différents algorithmes de maillage (avancée de front, sphère vide, ...). Le but est que les étudiants comprennent clairement ce qu'ils font en utilisant un mailleur et qu'ils aient une analyse critique de leur maillage en fonction du solveur qu'ils veulent utiliser et de la physique à résoudre.

Les principaux types de maillage (triangulaire et tétraédrique, quadrangulaire et hexaédrique, hybride, surfacique et volumique, polyédrique, ...) sont détaillés. Les algorithmes utilisés dans les mailleurs libres (Salome, Gmsh) ou commerciaux (Ansys tools, Simail) pour générer ces différents maillages sont présentés.

Un ensemble de règles et de bonnes pratiques concernant la génération des maillages est exposé ainsi que les critères de qualité associés aux différents types de maillage.

Un accent particulier est porté sur des conseils de mise en forme et de valorisation des résultats de simulation afin de mieux mettre en valeur les résultats obtenus dans ce cours comme en BEI ou plus tard dans leur carrière.

### Description

- Cours MAILLAGE

Introduction / Exemples

Méthodes numériques et maillages

Algorithmes de maillage triangulaire et tétraédrique

Algorithmes de maillage quadrangulaire et hexaédrique

Méthodes hybrides

Maillages surfaciques

Maillages polyédriques

Bonnes pratiques de maillage / Critères de qualité

Conclusion générale sur les maillages

Mailleurs disponibles à l'ENSEEIH

Principes de construction des géométries

#### Cours VISU et POST-TRAITEMENT

Introduction

Contraintes techniques (images et vidéos)

Création d'une vidéo de qualité

Une visualisation de qualité : pièges à éviter, mise en forme à respecter, contenu, valorisation des résultats

- Logiciels de visualisation commerciaux / gratuits

Outils de visualisation et de post-traitement disponibles à l'ENSEEIH

- TRAVAUX DIRIGES

- 4h en commun sur un sujet avec le mailleur Salome pour valider les notions de base

- Mini-projets : En binôme les étudiants réalisent des mini-projets dans lesquels ils choisissent le sujet d'étude à mailler (statoréacteur, flèche, arc de triomphe, module de rentrée atmosphérique, sous-marin, dirigeable, coquillage, ornithorynque, ...), le mailleur (Salome, Gmsh, Ansys tools, StarCCM+, simail, comsol, ...) qu'ils veulent utiliser ainsi que le solveur (Code\_Saturne, Ansys, StarCCM+, ...). L'évaluation est une soutenance orale qui porte sur ces mini-projets. Les maillages générés doivent avoir tourné sur le solveur de leur choix ...

**Responsable(s)**  
NEAU HERVE

**Bibliographie**

\* Introduction au maillage pour le calcul scientifique - Auteur : Franck Ledoux - Editeur : CEA DAM Île-de-France

**- UE METHODES NUMERIQUES POUR LE CALCUL SCIENTIFIQUE EN AERODYNAM**

**- Matière Méthodes numérique pour la simulation des écoulements incompressibles**

**Pré-requis nécessaires**

Cours de 1ère année sur les méthodes numériques

**Objectifs**

Présenter les principaux algorithmes utilisés pour la simulation numérique des écoulements incompressibles, notamment ceux que l'on va trouver dans les grands codes industriels

**Description**

Après avoir rappelé les particularités des équations de Navier-Stokes incompressibles, on détaillera les 2 grandes familles d'algorithmes utilisés pour résoudre ces équations numériquement par des approches volumes ou différences finies: méthodes de projection et méthodes de ségrégations. On présentera ensuite les techniques performantes pour la résolution des grands systèmes linéaires obtenus après discrétisation des équations.

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Bibliographie**

-transparents et notes de cours sur le moodle

-Iterative methods for large sparse linear systems - Auteur : Y. Saad

URL : <http://www-users.cs.umn.edu/~saad/books.html>

-High resolution methods for incompressible and low speed flows - Auteur : W. Rider, D. Drikakis - Editeur : Springer Verlag , 2005

-Computational Methods for Fluid Dynamics - Auteur : J. Ferziger, M. Peric - Editeur : Springer Verlag , 2002 - ISBN : 3540420746

**- Matière Méthodes Numérique pour la Simulation des Ecoulements Compressibles**

**Pré-requis nécessaires**

Cours de 1ère année sur les méthodes numériques

**Objectifs**

L'objectif de ce cours est d'introduire les principales méthodes numériques utilisées pour résoudre les équations régissant les lois de conservation hyperboliques. On s'intéressera en particulier à la dynamique des gaz et aux écoulements à surface libre et plus généralement aux problèmes hyperboliques non linéaires générant des discontinuités comme par exemple les ondes de choc

**Description**

Après avoir souligné les spécificités de ces écoulements du point de vue de la modélisation numérique, on présentera les techniques numériques modernes pour la capture des discontinuités (solveurs de Riemann, schémas de décomposition de flux..).

On détaillera les méthodes de montée en ordre ( méthode MUSCL). On s'intéressera aussi à la discrétisation des conditions aux limites pour les problèmes hyperboliques

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Bibliographie**

-Polycopié et copie des transparents sur le moodle

-Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics, third edition - Auteur : E. Toro - Editeur : Springer Verlag , 2009

-Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, Second Edition - Auteur : C. Hirsch - Editeur : Elsevier Science , 750665947 - ISBN : 2007

**- Matière Assimilation des données**

**Responsable(s)**  
THUAL OLIVIER

**- Sem.9 MF2E Parcours Sci. de l'Eau et l'Environnement (SEE)**

**- UE Soft and Human Skills MF2E S9**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

**- Matière Professional English-LV1-Semestre 9**

**Responsable(s)**  
DENNIS CHLOE  
TAYLOR KAY

**- Matière Anglais Scientifique**

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

**- Choix 2 Anglais Professionnel - 3A**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Anglais Clinique**

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

**- Matière Anglais de Cambridge ou Projet**

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

## - CHOIX 2 sur 3 SHS MF2E S9

A choix: 2 Parmi 2 :

### - Matière Conduite d'opération en hydraulique (MF2E)

#### Objectifs

Donner aux futurs ingénieurs les notions et les outils leur permettant d'être opérationnels dans la conduite de projets, ici appliqués à l'ingénierie hydraulique

#### Description

- « Maître d'oeuvre, d'ouvrage & entreprise »

Rôle de chaque intervenant. Dossiers réglementaires : dossier d'autorisation, nomenclature loi sur l'eau, relation avec les services de l'Administration (DREAL, DDT, AFB ...). Calendrier d'opération.

- « Les missions normalisées du maître d'oeuvre »

APS, AVP, PRO, DCE, VISA, DET, OPR.

- « Consultation des entreprises »

Constitution des pièces techniques pour consultation (CCTP, BP, DQE). Présentation des référentiels techniques (Eurocodes, fascicules, normes, GTR).

#### Volume horaire

11.25 h

#### Responsable(s)

LAUVERGNIER FRANCOIS

### - Matière Controverses dans un monde en transition (MF2E)

#### Objectifs

Aider à appréhender et à communiquer vis-à-vis des sujets de société et des controverses

#### Description

Séance 1 : « définition du sujet »

Définition le sujet et du rendu-final. Travail en autonomie des étudiants en vue du rendu final. Rendez-vous ponctuels pour interagir avec l'équipe référente possibles.

Séance 2 : « recherche documentaire » (Isabelle Perez, biblioN7)

Quels outils les étudiants ont-ils utilisé pour se documenter sur le sujet retenu, comment ? quel recul par rapport aux documents trouvés ? D'où émanent-ils ? Sont-ils dignes de confiance ?

Séances 3 et 4 : « la controverse » (François Purseigle, Antoine Doré, Geneviève Nguyen, ENSAT)

Qu'est-ce qu'un sujet « controversé » ? comment les controverses articulant sciences / technologies / société / innovation naissent-elles ? notions d'incertitude, de trajectoire d'une controverse. Elargissement possible vers des considérations économiques / développement durable, etc.

Séance 5 : « témoignages d'ingénieurs en fonction confrontés à la problématique étudiée » (intervenants extérieurs)

Témoignages et échanges organisés par les étudiants.

**Responsable(s)**  
DURU PAUL

### **- Matière RSE (MF2E)**

#### **Objectifs**

- Présenter la responsabilité sociétale des entreprises : définitions concept de développement durable (DD) et mise en œuvre grâce aux lignes directrices de la norme 26000

- Travaux Dirigés sur le rapport RSE d'une entreprise afin d'identifier les enjeux de DD pris en compte par l'entreprise choisie et la cohérence par rapport aux impacts potentiels de l'entreprise

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

### **- CHOIX 1 sur 2 SHS MF2E S9**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Matière Corporate Project and social responsibility**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA  
LEGENDRE DOMINIQUE

#### **- Matière Entrepreneurship Project**

**Responsable(s)**  
COULON MARTIAL  
DEBENEST GERALD

### **- Choix de Spécialité-SEE**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Spécialité-SEE**

#### **- UE ECOULEMENTS ENVIRONNEMENTAUX**

**Pré-requis nécessaires**  
\* Notions de mécanique des fluides



- \* Notions d'hydraulique a# surface libre

### Objectifs

- \* connaître les processus intervenant dans les écoulements de fluides présent dans l'atmosphère, les océans et les cours d'eau.
- \* apprendre à utiliser des logiciels avancés pour des calculs d'hydraulique a# surface libre, de transport de sédiments et de polluants.

### Volume horaire

20h de Projet Numerique,

## - Matière Couche Limite Atmosphérique (CLAT)

### Objectifs

- \* Se familiariser avec les concepts de base permettant de d'écrire et de modéliser la couche limite atmosphérique.
- \* Être capable de dégager les éléments essentiels à partir de la lecture de documents scientifiques dans une perspective d'applications pratiques.
- \* Maîtriser les développements analytiques de base permettant une compréhension physique des phénomènes étudiés.
- \* S'appropriier le sujet par la réalisation de projets.

### Description

Principes pédagogiques :

- \* Auto-apprentissage à partir d'un corpus de ressources
- \* Réalisation d'un projet avec devoir maison et BE
- \* Lien entre les connaissances et les applications métiers

Trois axes de lecture :

- \* Couche limite dans le cas neutre : spirale d'Ekman, loi logarithmique
- \* Ondes et instabilités thermiques : ondes de relief, convection
- \* Modélisation de la turbulence : fermetures TKE, Monin-Obukov

Pédagogie par projet :

- \* Une synthèse de document à partir de deux articles
- \* Un code de calcul à développer avec production de résultats
- \* Un rapport écrit combinant connaissances et cas d'application

### Responsable(s)

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

THUAL OLIVIER

### Méthode d'enseignement

Hybride

### Bibliographie

[1] R. Stull, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer 1988.

[2] R. E. Britter and S. R. Hanna, Flow and dispersion in urban areas, Annu. Rev. Fluid Mech. (2003) 35 :46996

[3] J. Finnigan, Turbulence in plant canopies, Annu. Rev. Fluid Mech. (2000) 32 :51957

## - Matière Hydrodynamique Littorale et Cotière (HCLO)

### Objectifs

- \* Mettre en évidence les spécificités de l'environnement littoral
- \* Analyser les processus physiques en jeux
- \* Proposer des modèles pour les principaux phénomènes
- \* Mettre en œuvre certains modèles simples

### Description

Format du cours :

- \* Contrôle sous forme de projet.
- \* Seance Cours /TD.

### Volume horaire

10 séances de 1h45

### Responsable(s)

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

ASTRUC DOMINIQUE

### Bibliographie

Ouvrage d'introduction:

- \* Collectif d'auteurs, *Waves, tides and shallow water processes*, Open University.

Ouvrages de base

- \* R. Bonnefille, *Hydraulique maritime*, Masson.
- \* R. Dean et R. Dalrymple, *Water waves mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- \* O. Thual, *Des ondes et des fluides*, Editions Cépaduès. [Disponible en ligne](#)

Ouvrage avancé

- \* C. C. Mei, *The applied dynamics of ocean surface waves*, World Scientific.

Sites web

- \* Coastal Engineering Manual : <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>

## - Matière Transport et Mélange (TREM)

### Objectifs

Introduction aux processus physiques de transport et de mélange de substances, d'origine anthropique ou non, dans des situations environnementales. Il s'agit de plus, de présenter quelques méthodes utilisées pour modéliser l'évolution des substances rejetées en milieu naturel.

### Responsable(s)

PRAUD OLIVIER

## **Bibliographie**

Mixing in Inland and Coastal Waters, H.B. Fischer, E.J. List, R.C.Y Koh, J. Imberger, N.H. Brooks, Academic Press, 1979.

## **- UE AMENAGEMENT ET OUVRAGES**

### **Objectifs**

Acquérir les notions essentielles en lien avec les ouvrages hydrauliques (barrages, seuils, etc) et la production d'hydro-électricité, du point de vue technique et environnemental.

## **- Matière Mécanique des sols (MSOL)**

### **Pré-requis nécessaires**

Les bases de la mécanique des milieux continus.

### **Objectifs**

Obtenir les notions de base en mécanique des sols afin d'être en mesure de dialoguer avec des géotechniciens

### **Compétences visées**

Qu'est ce qu'un sol ?

- classification des sols
- l'eau dans le sol
- résistance des sols
- reconnaissance au labo et in-situ

### **Description**

Plan du cours :

- \* Intro + Les constituants du sols
- \* Prélèvement et identification des sols
- \* Contraintes et déformations
- \* Tassement et consolidation
- \* Éléments de géotechnique routière
- \* Cisaillement et rupture
- \* Stabilité des pentes
- \* Les digues fluviales

### **Volume horaire**

17,5

### **Responsable(s)**

LAHEURTE PHILIPPE

## **- Matière Ingénierie des ouvrages hydrauliques (INGO)**

### **Objectifs**

Montrer comment utiliser les acquis des 3 années pour la conception et la réalisation d'aménagements hydrauliques et hydroélectriques

### **Description**

L'hydrologie d'un aménagement, les ouvrages de prise d'eau, d'amenée et de restitution, les turbines et la puissance disponible, les impacts environnementaux et leurs mesures de réduction. Réglementation à appliquer.

### **Volume horaire**

17,5

### **Responsable(s)**

DUMOND LIONEL

## **- Matière Impacts des Aménagements Industriels (IMPA)**

### **Objectifs**

Ce module environnement a pour but de sensibiliser les élèves ingénieurs à la prise en compte de la protection de l'environnement au cours de leur future activité professionnelle.

### **Description**

1/ Aménagements hydrauliques - les études d'impact sur l'environnement - l'aménagement doux des cours d'eau - l'eau milieu vivant

2/ Environnement et entreprise - les plans environnement-entreprise - les déchets classiques et industriels

3/ La pollution de l'air et des sols

### **Volume horaire**

8,75

### **Responsable(s)**

BREBION JEROME

## **- Matière Risques et Prévention (RISP)**

### **Objectifs**

Sensibiliser les étudiants aux notions de risques dans les contextes industriels et environnementaux. Présentation des méthodes d'analyse.

### **Description**

Sensibiliser les étudiants aux notions de risques dans les contextes industriels et environnementaux. Présentation des méthodes d'analyse.

### **Volume horaire**

8,75

### **Responsable(s)**

CODRON PATRICK

## **- Spécialité-SEE-Aéro**

### **- UE APPLICATIONS A L'AERODYNAMIQUE**

### **Responsable(s)**

## - Matière Aérodynamique

### Pré-requis nécessaires

"Basiques" de mécanique des fluides

"Basiques" de thermodynamique

### Objectifs

Introduire les principales notions physiques et outils mathématiques pour traiter des problèmes d'aérodynamique incompressible et compressible. A l'issue de cet enseignement les étudiants doivent savoir formuler et appliquer les modèles de l'aérodynamique et prédire les efforts appliqués sur une aile et ses performances. Ils devront également connaître les limites des modèles théoriques.

### Description

-Introduction générale, terminologie et nomenclature.

-Comprendre les mécanismes de sustentation d'un avion.

-Théorie linéarisée pour les profils (2D) et effets des dispositifs d'hypersustentation en régime subsonique incompressible.

-Problème direct (connaissant la géométrie du profil, comment calculer les coefficients aérodynamiques) et problème inverse (connaissant les objectifs de performance en terme de coefficients aérodynamiques, comment calculer la géométrie du profil).

-Théorie de la ligne portante pour les ailes (3D) et effet de la forme en plan, de l'allongement et du vrillage de l'aile.

-Théorie linéarisée (Prandtl-Glauert) autour d'un profil (2D) pour le régime subsonique compressible.

-Le régime transsonique.

-Théorie linéarisée (Ackeret) autour d'un profil (2D) pour le régime supersonique.

-Rappels sur la résolution de chocs/détentes dans le cas non-linéaire.

### Volume horaire

22h45

### Responsable(s)

ALBAGNAC JULIE

### Bibliographie

Polycopié du cours rédigé par J.Albagnac et J.Mougel

J.D.Anderson, Fundamentals of Aerodynamics

A.Giovannini et C.Airiau, Aérodynamique Fondamentale

## · Matière Aéroacoustique

**Responsable(s)**  
PIOT ESTELLE

## · Matière Interactions Fluide-Structure

### Objectifs

Les phénomènes d'interaction fluide-structure (IFS) peuvent se rencontrer dès lors qu'un fluide est au contact d'un solide. Les interactions susceptibles de se produire dans ce cas sont cruciales dans des domaines tels que l'aéronautique, le génie civil, la bio-mécanique, l'industrie nucléaire, les énergies renouvelables, etc. La compréhension de ces phénomènes via leur modélisation et leur simulation est donc indispensable à l'ingénieur mécanicien des fluides.

Ce cours vise à introduire les concepts de base associés à la modélisation et la simulation numérique pour les interactions fluide-structure.

### Description

-Formalisme général, analyse dimensionnelle et classification des problèmes IFS.

-Rappels sur les principaux phénomènes aéroélastiques et leur modélisation (ballotements, flottement, galop, divergence statique, vibrations induites par vortex (VIV)).

-Principales méthodes de simulations en IFS.

-Vibrations induites par vortex (VIV), phénomène d'accrochage en fréquence : simulation sous OpenFoam

. -Méthode des frontières immergées : approfondissement en TD numérique.

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

## · UE AMENAGEMENT ET OUVRAGES

### Objectifs

Acquérir les notions essentielles en lien avec les ouvrages hydrauliques (barrages, seuils, etc) et la production d'hydro-électricité, du point de vue technique et environnemental.

## · Matière Mécanique des sols (MSOL)

### **Pré-requis nécessaires**

Les bases de la mécanique des milieux continus.

### **Objectifs**

Obtenir les notions de base en mécanique des sols afin d'être en mesure de dialoguer avec des géotechniciens

### **Compétences visées**

Qu'est ce qu'un sol ?

- classification des sols
- l'eau dans le sol
- résistance des sols
- reconnaissance au labo et in-situ

### **Description**

Plan du cours :

- \* Intro + Les constituants du sols
- \* Prélèvement et identification des sols
- \* Contraintes et déformations
- \* Tassement et consolidation
- \* Éléments de géotechnique routière
- \* Cisaillement et rupture
- \* Stabilité des pentes
- \* Les digues fluviales

### **Volume horaire**

17,5

### **Responsable(s)**

LAHEURTE PHILIPPE

## **- Matière Ingénierie des ouvrages hydrauliques (INGO)**

### **Objectifs**

Montrer comment utiliser les acquis des 3 années pour la conception et la réalisation d'aménagements hydrauliques et hydroélectriques

### **Description**

L'hydrologie d'un aménagement, les ouvrages de prise d'eau, d'amenée et de restitution, les turbines et la puissance disponible, les impacts environnementaux et leurs mesures de réduction. Réglementation à appliquer.

### **Volume horaire**

17,5

### **Responsable(s)**

DUMOND LIONEL

## **- Matière Impacts des Aménagements Industriels (IMPA)**

### **Objectifs**

Ce module environnement a pour but de sensibiliser les élèves ingénieurs à la prise en compte de la protection de l'environnement au cours de leur future activité professionnelle.

### Description

1/ Aménagements hydrauliques - les études d'impact sur l'environnement - l'aménagement doux des cours d'eau - l'eau milieu vivant

2/ Environnement et entreprise - les plans environnement-entreprise - les déchets classiques et industriels

3/ La pollution de l'air et des sols

### Volume horaire

8,75

### Responsable(s)

BREBION JEROME

## - Matière Risques et Prévention (RISP)

### Objectifs

Sensibiliser les étudiants aux notions de risques dans les contextes industriels et environnementaux. Présentation des méthodes d'analyse.

### Description

Sensibiliser les étudiants aux notions de risques dans les contextes industriels et environnementaux. Présentation des méthodes d'analyse.

### Volume horaire

8,75

### Responsable(s)

CODRON PATRICK

## - Spécialité-SEE-BD

### - UE ECOULEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

#### Pré-requis nécessaires

- \* Notions de mécanique des fluides
- \* Notions d'hydraulique à surface libre

#### Objectifs

- \* connaître les processus intervenant dans les écoulements de fluides présents dans l'atmosphère, les océans et les cours d'eau.
- \* apprendre à utiliser des logiciels avancés pour des calculs d'hydraulique à surface libre, de transport de sédiments et de polluants.

#### Volume horaire

20h de Projet Numérique,

### - Matière Couche Limite Atmosphérique (CLAT)

#### Objectifs

- \* Se familiariser avec les concepts de base permettant de d'écrire et de modéliser la couche limite atmosphérique.



- \* Être capable de dégager les éléments essentiels à partir de la lecture de documents scientifiques dans une perspective d'applications pratiques.
- \* Maitriser les développements analytiques de base permettant une compréhension physique des phénomènes étudiés.
- \* S'approprier le sujet par la réalisation de projets.

### **Description**

Principes pédagogiques :

- \* Auto-apprentissage à partir d'un corpus de ressources
- \* Réalisation d'un projet avec devoir maison et BE
- \* Lien entre les connaissances et les applications métiers

Trois axes de lecture :

- \* Couche limite dans le cas neutre : spirale d'Ekman, loi logarithmique
- \* Ondes et instabilités thermiques : ondes de relief, convection
- \* Modélisation de la turbulence : fermetures TKE, Monin-Obukov

Pédagogie par projet :

- \* Une synthèse de document à partir de deux articles
- \* Un code de calcul à développer avec production de résultats
- \* Un rapport écrit combinant connaissances et cas d'application

### **Responsable(s)**

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

THUAL OLIVIER

### **Méthode d'enseignement**

Hybride

### **Bibliographie**

[1] R. Stull, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer 1988.

[2] R. E. Britter and S. R. Hanna, Flow and dispersion in urban areas, Annu. Rev. Fluid Mech. (2003) 35 :46996

[3] J. Finnigan, Turbulence in plant canopies, Annu. Rev. Fluid Mech. (2000) 32 :51957

## **- Matière Hydrodynamique Littorale et Cotière (HCLO)**

### **Objectifs**

- \* Mettre en évidence les spécificités de l'environnement littoral
- \* Analyser les processus physiques en jeux
- \* Proposer des modèles pour les principaux phénomènes
- \* Mettre en œuvre certains modèles simples

### **Description**

Format du cours :

- \* Contrôle sous forme de projet.
- \* Seance Cours /TD.

### **Volume horaire**

10 séances de 1h45

**Responsable(s)**

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

ASTRUC DOMINIQUE

**Bibliographie**

Ouvrage d'introduction:

- \* Collectif d'auteurs, *Waves, tides and shallow water processes*, Open University.

Ouvrages de base

- \* R. Bonnefille, *Hydraulique maritime*, Masson.
- \* R. Dean et R. Dalrymple, *Water waves mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- \* O. Thual, *Des ondes et des fluides*, Editions Cépaduès. [Disponible en ligne](#)

Ouvrage avancé

- \* C. C. Mei, *The applied dynamics of ocean surface waves*, World Scientific.

Sites web

- \* Coastal Engineering Manual : <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>

**- Matière Transport et Mélange (TREM)****Objectifs**

Introduction aux processus physiques de transport et de mélange de substances, d'origine anthropique ou non, dans des situations environnementales. Il s'agit de plus, de présenter quelques méthodes utilisées pour modéliser l'évolution des substances rejetées en milieu naturel.

**Responsable(s)**

PRAUD OLIVIER

**Bibliographie**

Mixing in Inland and Coastal Waters, H.B. Fischer, E.J. List, R.C.Y Koh, J. Imberger, N.H. Brooks, Academic Press, 1979.

**- UE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN GEOSCIENCES****- Matière Méthodes mathématiques pour l'exploitation des données****Objectifs**

Illustrer différentes méthodes mathématiques pour l'analyse et l'utilisation de données en géoscience

**Compétences visées**

- \* Reconnaître les différentes sources possibles d'incertitude en modélisation environnementale
- \* Identifier les méthodologies d'estimation et de propagation d'incertitude et les utiliser
- \* Décrire les applications pratiques de l'assimilation de données en environnement
- \* Reconnaître une méthode d'ensemble pour l'assimilation de données et l'expérimenter

**Description**

- \* Partie 1 : Quantification des incertitudes en modélisation environnementale
- \* Partie 2 : Méthodes d'ensemble pour l'assimilation de données

**Responsable(s)**

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Langue d'enseignement**

Français

**- Matière Utilisation de l'intelligence artificielle en prévision****Objectifs**

Illustrer différentes utilisations possibles de méthodes d'intelligence artificielle pour faire de la prévision en géosciences

**Compétences visées**

Identifier et employer des méthodes classiques d'apprentissage

Choisir une méthode appropriée à l'objectif visé

**Description**

Partie 1 : Méthodes d'apprentissage pour la prévision

Partie 2 : Réseaux de neurones pour la classification en géoscience

**Responsable(s)**

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Langue d'enseignement**

Français

**- Spécialité-SEE-Aéro-BD****- UE APPLICATIONS A L'AERODYNAMIQUE**

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

## **- Matière Aérodynamique**

### **Pré-requis nécessaires**

"Basiques" de mécanique des fluides

"Basiques" de thermodynamique

### **Objectifs**

Introduire les principales notions physiques et outils mathématiques pour traiter des problèmes d'aérodynamique incompressible et compressible. A l'issue de cet enseignement les étudiants doivent savoir formuler et appliquer les modèles de l'aérodynamique et prédire les efforts appliqués sur une aile et ses performances. Ils devront également connaître les limites des modèles théoriques.

### **Description**

-Introduction générale, terminologie et nomenclature.

-Comprendre les mécanismes de sustentation d'un avion.

-Théorie linéarisée pour les profils (2D) et effets des dispositifs d'hypersustentation en régime subsonique incompressible.

-Problème direct (connaissant la géométrie du profil, comment calculer les coefficients aérodynamiques) et problème inverse (connaissant les objectifs de performance en terme de coefficients aérodynamiques, comment calculer la géométrie du profil).

-Théorie de la ligne portante pour les ailes (3D) et effet de la forme en plan, de l'allongement et du vrillage de l'aile.

-Théorie linéarisée (Prandtl-Glauert) autour d'un profil (2D) pour le régime subsonique compressible.

-Le régime transsonique.

-Théorie linéarisée (Ackeret) autour d'un profil (2D) pour le régime supersonique.

-Rappels sur la résolution de chocs/détentes dans le cas non-linéaire.

**Volume horaire**  
22h45

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

### **Bibliographie**

Polycopié du cours rédigé par J.Albagnac et J.Mougel

J.D.Anderson, Fundamentals of Aerodynamics

A.Giovannini et C.Airiau, Aérodynamique Fondamentale

## - Matière Aéroacoustique

**Responsable(s)**  
PIOT ESTELLE

## - Matière Interactions Fluide-Structure

### Objectifs

Les phénomènes d'interaction fluide-structure (IFS) peuvent se rencontrer dès lors qu'un fluide est au contact d'un solide. Les interactions susceptibles de se produire dans ce cas sont cruciales dans des domaines tels que l'aéronautique, le génie civil, la bio-mécanique, l'industrie nucléaire, les énergies renouvelables, etc. La compréhension de ces phénomènes via leur modélisation et leur simulation est donc indispensable à l'ingénieur mécanicien des fluides.

Ce cours vise à introduire les concepts de base associés à la modélisation et la simulation numérique pour les interactions fluide-structure.

### Description

-Formalisme général, analyse dimensionnelle et classification des problèmes IFS.

-Rappels sur les principaux phénomènes aéroélastiques et leur modélisation (ballotements, flottement, galop, divergence statique, vibrations induites par vortex (VIV)).

-Principales méthodes de simulations en IFS.

-Vibrations induites par vortex (VIV), phénomène d'accrochage en fréquence : simulation sous OpenFoam

. -Méthode des frontières immergées : approfondissement en TD numérique.

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

## - UE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN GEOSCIENCES

### - Matière Méthodes mathématiques pour l'exploitation des données

#### Objectifs

Illustre différentes méthodes mathématiques pour l'analyse et l'utilisation de données en géoscience

**Compétences visées**

- \* Reconnaître les différentes sources possibles d'incertitude en modélisation environnementale
- \* Identifier les méthodologies d'estimation et de propagation d'incertitude et les utiliser
- \* Décrire les applications pratiques de l'assimilation de données en environnement
- \* Reconnaître une méthode d'ensemble pour l'assimilation de données et l'expérimenter

**Description**

- \* Partie 1 : Quantification des incertitudes en modélisation environnementale
- \* Partie 2 : Méthodes d'ensemble pour l'assimilation de données

**Responsable(s)**

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

THUAL Olivier  
Olivier.Thual@imft.fr  
Tel. 2945

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Langue d'enseignement**

Français

**- Matière Utilisation de l'intelligence artificielle en prévision****Objectifs**

Illustrer différentes utilisations possibles de méthodes d'intelligence artificielle pour faire de la prévision en géosciences

**Compétences visées**

Identifier et employer des méthodes classiques d'apprentissage

Choisir une méthode appropriée à l'objectif visé

**Description**

Partie 1 : Méthodes d'apprentissage pour la prévision

Partie 2 : Réseaux de neurones pour la classification en géoscience

**Responsable(s)**

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Langue d'enseignement**

Français

**- UE HYDROLOGIE**

## Objectifs

- \* Avoir des connaissances avancées en hydrologie (de surface, souterraine) et en hydraulique urbaine
- \* Utiliser les logiciels dédiés à ce type de problèmes

## - Matière Hydrologie Statistique (HSTA)

### Objectifs

Approfondir les compétences en hydrologie à l'aide d'approches statistiques et probabilistes, par exemple analyse et modélisation statistique des processus pluies-débits, avec des méthodes de traitement de données spatio-temporelles adaptées aux problèmes de l'hydrologie.

### Description

- \* Analyse statistique univariée et ajustements de lois de probabilité Variables extrêmes (crues annuelles), crues de projet / événements rares (loi de Poisson).
- \* Analyse statistique multivariée, estimation Bayésienne, régression multiple, corrélation multiple, et analyse en composantes principales (ACP) : applications à la critique, reconstitution, et/ou cartographie de données hydrologiques.
- \* Analyse statistique de séries chronologiques provenant de réseaux de mesures hydrométéorologiques et hydrogéologiques.
- \* Fonctions de corrélation temporelles (délais) .Identification statistique de la relation pluies-débits ( $P(t) \Rightarrow (Q_t)$ ).
- \* Estimation géostatistique à l'aide de la théorie des variables régionalisées et/ou modélisation de variables hydrologiques temporelles traitées comme des processus aléatoires (au choix) : étude de cas qui peut varier selon les années).

### Responsable(s)

ABABOU Rachid  
Rachid.Ababou@enseeiht.fr  
Tel. 2845

ABABOU RACHID

### Bibliographie

#### OUVRAGES D'HYDROLOGIE STATISTIQUE

- \* BOX, G.E.P. & G.M. JENKINS. 1976. Time Series Analysis, Forecasting, and Control. Revised Edition. San Francisco, CA: Holden-Day Publishers.
- \* BRAS R., I.RODRIGUEZ-ITURBE : Random Functions in Hydrology, Dover, New York.
- \* CHOW V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W. Applied Hydrology. Mc Graw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, 572 pp.,1988.
- \* DELLEUR:...
- \* GELHAR L.W. Stochastic Subsurface Hydrology. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 390 pp., 1993.
- \* REMENIERAS G., 1965 & 1976 : Hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles (Collection EDF-DER), 456pp., 1976.
- \* YEVJEVICH:...

#### OUVRAGES DE GEOSTATISTIQUE

- \* ISAACS, E. H., R. M. SRIVASTAVA. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford: Oxford University Press: 561pp.
- \* GSLIB : Geostatistical Library (...)
- \* JOURNEL, A. G., C. J. HUIJBREGTS. 1978. Mining Geostatistics. New York: Academic Press: 600pp.
- \* MARSILY, de , G., 1986. Quantitative Hydrogeology (Groundwater Hydrology for Engineers). Academic Press. New York. 440 pp.

#### OUVRAGES PROBABILITÉ-STATISTIQUE

- \* BAIN L.J. Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models (Theory and Methods). Marcel Dekker Inc. New-York and Basel. 19xx.
- \* BASS J.: Eléments de calcul des proba...
- \* BLANC-LAPIERRE : (Théorie des fonctions aléatoires)...
- \* CHEENEY, R.F. 1983. Statistical Methods in Geology. George Allen & Unwin. London.
- \* CAUTROT B., et al.: Les méthodes de prévision. PUF "Que Sais-Je?".
- \* FELLER W.: An introduction to probability theory and applications.

- \* GASQUET C., P.WITOMSKI, 1990, Analyse de Fourier et Applications (filtrage, calcul numérique, ondelettes), Masson, Paris, 354 pp
- \* JENKINS G.M., WATTS D.G., 1968. Spectral analysis and its applications. Holden Day. 525 p.
- \* KENDALL M.G., A. STUART A., (1977), "The Advanced Theory of Statistics", Vol. 1, Distribution Theory, MacMillan, New York, 472 pp.
- \* KENDALL M.G. ... (1977), "The Advanced Theory of Statistics", Vol. 2,...
- \* KENKEL, J.L. Introductory Statistics for Management and Economics. 2nd Edition. Boston, Massachusetts, Duxbury Press. 1984.
- \* LOËVE M., (1963,1978), Probability Theory, Vol. II; Springer-Verlag, 1978.
- \* MAX J., 1980. Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques, Masson Paris, 379 p. (2 vols.)...
- \* MONIN A.S., YAGLOM A.M., (1965), Statistical Fluid Mechanics: Mechanics of Turbulence (Volume 2), Ed. J. L. Lumley, The MIT Press, Cambridge, Mass. (874 pp). [Contient un exposé détaillé de la théorie des fonctions aléatoires...].
- \* PAPOULIS A., 1965 : Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. Mc Graw-Hill Book Company, New York. 1965.
- \* PAPOULIS A., et al. (idem - nouvelle édition augmentée)...
- \* PRIESTLEY M.B. 1981. Spectral analysis and time series. Acad. Press, 890p.
- \* PRIESTLEY M.B., 1988. Non-linear and non-stationary time series analysis. Academic Press, 237 p.
- \* TASSI Ph., 1989 : Méthodes statistiques, Economica.
- \* VANMARCKE, E. 1983. Random Fields: Analysis and Synthesis. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology Press: 382pp.
- \* VENTSEL H., 1973 : Théorie des probabilités. Editions Mir, Moscou. [French translation, from Russian, by A. Sokova, MIR, Moscow, USSR]
- \* YAGLOM, A. M. 1962. Stationary Random Functions. R. A. Silverman, trans. & ed. New York: Dover: 235pp.

#### ARTICLES & RECHERCHES

- \* ABABOU R., A.C. BAGTZOGLU, E.F. WOOD, On the Condition Number of Covariance Matrices Arising in Kriging, Estimation, and Simulation of Random Fields. Math. Geol., Vol.26, No.1, pp. 99-133, 1994.
- \* ABABOU R., L.W. GELHAR, Self-Similar Randomness and Spectral Conditioning : Analysis of Scale Effects in Subsurface Hydrology, Chapter XIV in *Dynamics of Fluids in Hierarchical Porous Media*, J. Cushman editor, Academic Press, New York, pp. 393-428, 1990.
- \* DELHOMME, J. P. 1979. Spatial variability and uncertainty in groundwater flow parameters: a geostatistical approach. Water Resour. Res. 15(2):269-280.
- \* FREEZE, R.A., A stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media, Water Resour. Res., 11, 725-741, 1975.
- \* GELHAR L. W., (1986), "Stochastic Subsurface Hydrology (from Theory to Applications)", Water. Res. Res., 22(99), 135-145 pp.
- \* LABAT D., R. ABABOU, A. MANGIN, 1999 : Linear and Nonlinear Models Accuracy in Karstic Springflow Prediction at Different Time Scales. SERRA - Stochastic Environmental Research & Risk Assessment, 13(1999):337-364, Springer-Verlag.
- \* LABAT, R. ABABOU, A. MANGIN, 2000: Rainfall-runoff relations for karstic springs – Part I : Convolution and spectral analyses. Journal of Hydrology, 238, Issues 3-4, 5 Dec.2000, pp.123-148.
- \* SHINOZUKA M., C. M. JAN, (1972), "Digital Simulation of Random Processes and its Applications". J. Sound Vib., 25 (1), p. 111.

#### ENCYCLOPEDIAS, GUIDES, HANDBOOKS

- \* CEMAGREF (O.Gilard, P.Givone, G.Oberlin, N.Gendreau et al.) : Guide pratique de la méthode « inondabilité ». Agence de l'Eau Rhône- Méditerranée-Corse, 1998.
- \* CHOCAT B., Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine. Coordonnateur B.Chocat. Ed. Lavoisier, Collection Tec et Doc.
- \* MIQUEL J. : Guide pratique d'estimation des probabilités de crues. Eyrolles (EDF-DER), 1984, 160 pp.
- \* OMM : Guide de l'OMM (...)
- \* PRESS W.H., B.P. FLANNERY, S.A. TENKOLSKY, W.T. VETTERLONG, 1986 (& 1990), Numerical Recipes : The Art of Scientific Computing. Cambridge Univ. Press. [with programs in Fortran, Pascal, or C].

#### - Matière Hydrologie des Transferts (HTRA)



### **Pré-requis nécessaires**

Aucun

### **Compétences visées**

Apprentissage par projet.

### **Description**

Plan du cours :

- Écoulements en milieux poreux
  - Monophasiques
  - Multiphasiques
- Transferts de masse en milieux poreux
  - Approches équilibre local
  - Approches non équilibre local
- Projet

### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

## **- Matière Hydrologie Approfondie : Bassin versant et Mil. Urb.(HABAMU)**

### **Objectifs**

Étude de la façon dont l'eau s'écoule en surface et en subsurface, ainsi que de la manière dont l'activité humaine peut influencer les conditions d'écoulement

### **Compétences visées**

- Distinguer les processus de contrôle d'un système donné :
  - \* Bassins versants
  - \* Système de distribution
  - \* Système de drainage urbain
- Formaliser cette compréhension en un système de relation mathématique qui fournit une prédiction vérifiable du système
- Utiliser ce modèle pour des prévisions opérationnelles utiles à la conception des structures, à la gestion et à la prise de décision

### **Description**

- Présentation du "grand" cycle de l'eau (hydrologie des bassins versants)
  - \* Interception
  - \* Fonte des neiges
  - \* Évapotranspiration
  - \* Infiltration
  - \* Réponse hydrologique
  - \* Ruissellement de surface et chemins de l'eau
- Présentation du "petit" cycle de l'eau (systèmes urbains)
- Questions relatives à la collecte et à l'analyse des données

- Mise en œuvre d'un modèle hydrologique
- Apprentissage basé sur la théorie et les exercices

**Responsable(s)**

ROUX Helene  
Helene.Roux@imft.fr  
Tel. 2840

CASSAN Ludovic  
Ludovic.Cassan@imft.fr  
Tel. 2971

ROUX HÉLÈNE

**Méthode d'enseignement**

Hybride

**Langue d'enseignement**

Français

**· UE MODELISATION HYDRAULIQUE AVANCEE****· Matière Systèmes d'Information Géographique (SIG)****Objectifs**

Ces cours et travaux dirigés ont pour objectif d'initier les étudiants aux principes des Systèmes d'Information Géographique et à leur utilisation.

**Description**

Cours : "Introduction aux SIG"

Ce cours expose les principes fondamentaux des Systèmes d'Information Géographique.

Plan du cours :

Définition d'un SIG, les composantes d'un SIG (données, méthodes, moyens humains et matériel), principales fonctionnalités, mode de représentation des données (raster, vecteur), structuration des données (modèles de stockage), référentiels et projections cartographiques (géoïde, ellipsoïde et systèmes géodésiques), géoréférencement. Les différentes notions sont illustrées dans le cadre des travaux dirigés.

Cours : "Représentation du relief et modèle numérique de terrain"

Ce cours donne un aperçu des méthodes cartographiques utilisées pour représenter le relief et expose les fondements théoriques relatifs à la création et à la manipulation de modèles numérique de terrain (MNT). Les notions vues au cours sont mises en application dans le cadre des travaux dirigés.

Plan du cours :

Représentation du relief sur une carte (définition, points cotés, courbes de niveau, figurés spéciaux, éclaircissement et estompage, teintes hypsométriques). Caractéristiques générales des MNT (définition, mode de représentation, principes

d'élaboration). 18/10/2020 Toutes les informations données sur cette page sont indicatives et n'ont pas de valeur contractuelle  
Page 190 / 210 Sources de données pour la construction de MNT. Méthodes d'interpolation spatiale : méthode d'interpolation globale (surface de tendance), méthodes d'interpolation locale (moyenne mobile, pondération par l'inverse de la distance, aperçu du krigeage). Informations dérivées des MNT : pente et orientation, direction d'écoulement (méthode D4 et D8), calcul des surfaces drainées, extraction des bassins versants et du réseau hydrographique, description topologique du réseau hydrographique.

Contenu des TD :

Initiation aux logiciels ArcGIS (et extensions Spatial Analyst et 3D analyst) ainsi qu'au logiciel Idrisi.

- 1) Introduction aux fonctionnalités du logiciel ArcGIS
- 2) Géoréférencement d'une carte topographique (Idrisi)
- 3) Création et manipulation de MNT - analyse spatiale en mode raster (ArcGIS)
- 4) Gestion des réseaux
- 5) Modélisation et évaluation de la sensibilité des sols à l'érosion à l'échelle régionale en France (ArcGIS)

**Volume horaire**

14h de TD

**Responsable(s)**

MONTEIL CLAUDE

**- Matière Modélisation Avancée des Ecoulements à Surface Libre (MAESL)**

**Objectifs**

Utiliser des logiciels avancés de modélisation d'écoulements à surface libre 1D et 2D, en prenant en compte le transport sédimentaire et de polluant

**Description**

- \* utilisation des logiciels de résolution des équations de Saint-Venant 1D/2D HECRAS, TELEMAC
- \* utilisation des modules de transport sédimentaire HECHMS, SISYPHE
- \* utilisation des logiciels de pré- et post-traitement associés (ArcGIS, BlueKenue, Fudaa, Paraview)

**Volume horaire**

17,5 h

**Responsable(s)**

CASSAN LUDOVIC

**- Matière Transport Sédimentaire et Morphodynamique (TSMO)**

**Pré-requis nécessaires**

Mécanique des fluides.

**Objectifs**

Introduction aux processus physiques de transport de sédiments par les écoulements et aux méthodes d'estimation des flux sédimentaires et des évolutions du fond qui en résultent.

## Description

- I. Géomorphologie des littoraux et des rivières
- II. Processus locaux et modèles morphodynamiques
- III. Propriétés des sédiments
- IV. Mise en mouvement
- V. Modélisation du transport par charriage
- VI. Modélisation du transport par suspension
- VII. Les approches multiphasiques de modélisation

## Volume horaire

17,5

## Responsable(s)

ASTRUC Dominique  
Dominique.Astruc@enseeiht.fr  
Tel. 2861

BONOMETTI Thomas  
Thomas.Bonometti@imft.fr  
Tel. 2952

ASTRUC DOMINIQUE

## Bibliographie

- Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, LC. Van Rijn 1990 Aqua Publications.
- Hydraulics of sediment transport, W.H. Graf 1984 Water Ressources Publications

## - Matière Codes de calcul en environnement (MODE)

### Objectifs

A partir d'une liste de problèmes proposés, mettre en oeuvre la démarche scientifique jusqu'à parvenir à l'utilisation d'outils de modélisations spécifiques aux thématiques introduites dans les cours de mécanique des fluides appliqués à l'environnement dispensés dans le cadre de l'U.E. "Écoulements environnementaux" de l'option Sciences de l'eau et de l'environnement (Aérosols, Couche limite atmosphérique, Hydrodynamique littorale et côtière, Transport et mélange, Transport sédimentaire et morphodynamique).

Parmi les modèles proposés, on peut citer: codes Fluent/Starccm+ (modules de suivi d'interface, suivi de particules, fluides à densité variable, etc), modules spécifiques de la suite Telemac (Artemis, Tomawak, Sysiphe, flotteurs/traceurs passifs), code de dispersion atmosphérique Hysplit, etc.

### Compétences visées

Mettre les méthodologie de modélisation des écoulements environnementaux.

### Description

10 séances de TD en salle machine avec utilisation de codes aérodynamiques et environnementaux du type Fluent, StarCd, Cormix, Comsol ou autres. Rédaction d'un site web présentant le travail effectué.

### Responsable(s)

BONOMETTI THOMAS

## - UE TRANSITION ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

### - Matière Transition énergétique et énergies renouvelables

#### Objectifs

L'objectif de cet enseignement est de présenter un panorama le plus complet possible des enjeux sociétaux, technologiques et environnementaux associés à la transition énergétique et écologique, en incluant les concepts d'analyse de cycle de vie, de sobriété énergétique, de numérique responsable, de géo-ingénierie ainsi que l'état de l'art des technologies de production et de stockage d'énergies (renouvelables solaire, éolien, marin, power to gas, biomasse, biocarburants, géothermie, etc)

#### Description

- Les enjeux de la transition énergétique et écologique (6 x 1h45)

Mots-clés : transition énergétique, changement climatique, ressources globales, analyse de cycle de vie

Intervenants : Stéphane Amant (Carbone 4) : 1 séance François Xavier Dugripon : 4 séances

- Mobilité (1 x 1h45) Mots-clés : transports (voitures, avion, etc) Intervenant : Stéphane Amant (Carbone 4)

-Analyse de cycle de vie : application à l'aéronautique (1 x 1h45) Mots-clés : analyse de cycle de vie

Intervenant : Laure Couteau (Airbus)

- Sobriété énergétique (1 x 1h45)

Mots-clés : projet NégaWatt

Intervenant : Paul Neau (Solagro / Asso. NégaWatt / Abies)

- Numérique responsable (1 x 1h45)

Mots-clés : analyse de cycle de vie, impact environnemental, data center, responsabilité sociétales des entreprises

Intervenant : Emmanuel Laroche (Airbus)

- Géo-ingénierie (1 x 1h45)

Mots-clés : ingénierie à l'échelle de la Terre, actions sur le cycle du carbone, le rayonnement solaire

Intervenant : Paul Duru (IMFT)

- Osmose – blue energy (1 x 1h45) Mots-clés : génération d'électricité pas des procédés utilisant des processus osmotiques  
Intervenant : Olivier Liot (IMFT)

- Eolien (2 x 1h45)

Mots-clés : éolien terrestre + off-shore Intervenant : Paul Neau (Solagro / Asso. Négawatt / Abies)

- Solaire photovoltaïque (2 x 1h45)

Mots-clés : panneaux solaires, stockage Intervenant : Henri Schneider (Laplace)

- Hydro-électricité (2 x 1h45) Mots-clés : barrages, turbines, STEP Intervenant : Lionel Dumond (EDF)

- Vagues, courants, houle (1 x 1h45)

Mots-clés : récupération d'énergie par les vagues, hydroliennes, systèmes houlo-moteur Intervenant : Jérôme Mougel (IMFT)  
2 / 2

- Solaire concentré (1 x 1h45) Mots-clés : four solaire, concentrateur de chaleur Intervenant : Gilles Flamant (PROMES)

- Biomasse, biogaz, bio-carburant (3 x 1h45)

Mots-clés : traitement thermique haute température, biomasse, biogaz, bio-carburant Intervenant : Mehrdji Hemati (LGC) : 2 séances Marion Alliet (LGC) : 1 séance

- Stockage d'énergie, power to gas (2 x 1h45) Mots-clés : stockage d'énergie électrique ou autre, procédés Power to Gas Intervenant : Amine Jaafar (Laplace)

- Géothermie (2 x 1h45)

Mots-clés : récupération d'énergie/chaleur par géo-thermie

Intervenant : Olivier Liot (IMFT)

- Nucléaire (2 x 1h45)

Mots-clés : technologies actuelles, uranium vs thorium, fission vs fusion

Intervenant : Daniel Caruge, Bernard Boullis (CEA)

**Volume horaire**

30x1h45

**Responsable(s)**

BONOMETTI THOMAS

**- Sem.9 MF2E Parcours Fluides Energétique et Procédés (FEP)**

## - UE Soft and Human Skills MF2E S9

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

## - Matière Professional English-LV1-Semestre 9

**Responsable(s)**  
DENNIS CHLOE  
TAYLOR KAY

## - Matière Anglais Scientifique

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

## - Choix 2 Anglais Professionnel - 3A

A choix: 1 Parmi 1 :

### - Matière Anglais Clinique

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

### - Matière Anglais de Cambridge ou Projet

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

## - CHOIX 2 sur 3 SHS MF2E S9

A choix: 2 Parmi 2 :

### - Matière Conduite d'opération en hydraulique (MF2E)

#### Objectifs

Donner aux futurs ingénieurs les notions et les outils leur permettant d'être opérationnels dans la conduite de projets, ici appliqués à l'ingénierie hydraulique

#### Description

- « Maître d'oeuvre, d'ouvrage & entreprise »

Rôle de chaque intervenant. Dossiers réglementaires : dossier d'autorisation, nomenclature loi sur l'eau, relation avec les services de l'Administration (DREAL, DDT, AFB ...). Calendrier d'opération.

- « Les missions normalisées du maître d'oeuvre »

APS, AVP, PRO, DCE, VISA, DET, OPR.

- « Consultation des entreprises »

Constitution des pièces techniques pour consultation (CCTP, BP, DQE). Présentation des référentiels techniques (Eurocodes, fascicules, normes, GTR).

**Volume horaire**

11.25 h

**Responsable(s)**

LAUVERGNIER FRANCOIS

**- Matière Controverses dans un monde en transition (MF2E)**

**Objectifs**

Aider à appréhender et à communiquer vis-à-vis des sujets de société et des controverses

**Description**

Séance 1 : « définition du sujet »

Définition le sujet et du rendu-final. Travail en autonomie des étudiants en vue du rendu final. Rendez-vous ponctuels pour interagir avec l'équipe référente possibles.

Séance 2 : « recherche documentaire » (Isabelle Perez, biblioN7)

Quels outils les étudiants ont-ils utilisé pour se documenter sur le sujet retenu, comment ? quel recul par rapport aux documents trouvés ? D'où émanent-ils ? Sont-ils dignes de confiance ?

Séances 3 et 4 : « la controverse » (François Purseigle, Antoine Doré, Geneviève Nguyen, ENSAT)

Qu'est-ce qu'un sujet « controversé » ? comment les controverses articulant sciences / technologies / société / innovation naissent-elles ? notions d'incertitude, de trajectoire d'une controverse. Elargissement possible vers des considérations économiques / développement durable, etc.

Séance 5 : « témoignages d'ingénieurs en fonction confrontés à la problématique étudiée » (intervenants extérieurs)

Témoignages et échanges organisés par les étudiants.

**Responsable(s)**

DURU PAUL

**- Matière RSE (MF2E)**

**Objectifs**

- Présenter la responsabilité sociétale des entreprises : définitions concept de développement durable (DD) et mise en œuvre grâce aux lignes directrices de la norme 26000

- Travaux Dirigés sur le rapport RSE d'une entreprise afin d'identifier les enjeux de DD pris en compte par l'entreprise choisie et la cohérence par rapport aux impacts potentiels de l'entreprise

**Responsable(s)**

DEBENEST GERALD



## - CHOIX 1 sur 2 SHS MF2E S9

A choix: 1 Parmi 1 :

### - Matière Corporate Project and social responsibility

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA  
LEGENDRE DOMINIQUE

### - Matière Entrepreneurship Project

**Responsable(s)**  
COULON MARTIAL  
DEBENEST GERALD

## - Choix Harmonisation

A choix: 1 Parmi 1 :

## - UE HARMONISATION A7

### - Matière Initiation Linux/Harm.A7

### - Matière Rappels de MkF et Initiation à la turbulence (MFIT)/Harm. A7

#### Pré-requis nécessaires

Connaissance des équations de Navier-Stokes

Maîtrise de l'utilisation des opérateurs différentiels

#### Objectifs

Reprise des éléments de base en mécanique des fluides (bilans locaux de masse et quantité de mouvement).

Description de la transition à la turbulence.

Ecrire les équations de Navier-Stokes en moyenne de Reynolds.

Obtenir le profil de vitesse moyenne d'un canal turbulent

#### Compétences visées

Ecriture et simplification des équations de Navier-Stokes

Description de la turbulence et de son origine

Obtenir une solution pour une géométrie simple

#### Description

Rappel sur les opérateurs différentiels et la manipulation des matrices

Equation de Navier-Stokes dans les 3 référentiels (cartésien, cylindrique, sphérique)

Écoulements de Couette et Poiseuille laminaires

Transition à la turbulence

Equation de Navier-Stokes en moyenne de Reynolds

Écoulement en canal turbulent et modèle de Prandtl

**Volume horaire**

10 Heures

**Responsable(s)**

CLIMENT ERIC

**Langue d'enseignement**

Anglais

**Bibliographie**

Turbulent Flows by Stephen Pope

**- Matière Dynamique des bulles, gouttes et particules (DBGP) / Harm.A7**

**Objectifs**

Ce cours donne les bases permettant de comprendre et modéliser les écoulements dispersés contenant des bulles, des gouttes ou des particules solides. La dynamique locale est étudiée via l'écriture de l'équation de la trajectoire faisant intervenir les forces de traînée, histoire, masse ajoutée afin d'introduire les notions de vitesse terminale, temps de relaxation et nombre de Stokes.

**Description**

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale - Différences entre bulles, gouttes et particules solides

- I. Dynamiques des particules solides: forces, Lois de traînée, vitesse terminale, temps de relaxation, nombre de Stokes
- II. Particules fluides (bulles et gouttes): forces, Lois de traînée, vitesse terminale, temps de relaxation, nombre de Stokes
- III. Application à des exemples applicatifs

**Responsable(s)**

LEGENDRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**

Anglais

**- UE HARMONISATION N7**

**- Matière Transfert de matière**

**Objectifs**

Donner aux étudiants les outils nécessaires à la modélisation des phénomènes de transferts de matière.

**Description**

\* Introduction : Schématisation du procédé, Rôle du transfert de matière dans le procédé, Classification des échangeurs de matière.

\* Définition des outils : Diffusion moléculaire, Diffusion de Knudsen, Détermination des coefficients de diffusion en phases gaz, liquide et solide, Lois de continuité.

- \* Transfert dans une phase (régime transitoire et régime permanent, écoulement laminaire), Applications numériques (5 exercices).
- \* Structure du coefficient de transfert, Influence de l'intensité des transferts sur le coefficient de transfert, Obtention des coefficients de transfert, Quelques exemples de corrélations.
- \* Transfert de matière entre phases (Modèle du film, Théorie du double film, Coefficients de transfert entre phases, Théorie de la pénétration).
- \* Présentation des échangeurs de matière à film, à bulles, à gouttes et à particules.
- \* Notions communes aux échangeurs de matière (Expression des débits et des flux, Diagramme de la différence de potentiel d'échange, Bilans globaux, partiels et différentiels, nombre et hauteur d'unités de transfert) .
- \* Méthode de dimensionnement.

**Responsable(s)**

HEMATI MEHRDJI

**Langue d'enseignement**

Français

**- Matière Dimensionnement de réacteur (DIMRAC)**

**Objectifs**

Prendre connaissances des méthodologies de modélisation et de dimensionnement des appareils de génie des procédés à travers l'exemple des réacteurs chimiques. En particulier, prise en compte des phénomènes couplés et mise en équation (bilans de masse et de chaleur).

**Compétences visées**

Acquisition du jargon technique de génie des procédés, compréhension des démarches du domaine, capacité de simplifier les problématiques de phénomènes couplés en quantifiant leurs impacts respectifs, connaissance des modèles phénoménologiques utilisées dans le domaine (et utiles entre autres pour l'enseignement « Couplage Multiphysique »).

**Description**

Contenu :

- Types de technologies de réacteurs selon les domaines industriels et les contraintes d'exploitation : exemples, schémas et photos, principe de fonctionnement.
- Les 2 modèles idéaux de modélisation de réacteurs : notion d'écoulement « idéal », de temps de séjour, de calcul d'avancement et de productivité ; écriture des bilans de masse et de chaleur pour ces 2 modèles simplifiés.
- Prise en compte de la non idéalité de l'écoulement dans un appareil : notion de degré de mélange (« dispersion »), de distribution des temps de séjour (DTS), de nombre adimensionnel spécifique (Péclet) ; modèles d'estimation du taux d'avancement : bacs en série ou « piston-dispersion ».
- Cas des réacteurs polyphasiques : exemple des réacteurs catalytiques à lit fixe, notion de phénomènes couplés (à l'échelle du grain de catalyseur), de résistances aux transfert, de réaction apparente, des nombres adimensionnels liés (module de Thiele, nombres de Biot) ; démarche phénoménologique de dimensionnement multi-échelle.

**Responsable(s)**

BILLET ANNE MARIE

**- Choix de Spécialité-FEP**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Spécialité-FEP**

## - UE TURBULENCE ET ECOULEMENTS MULTIPHASES

### - Matière Physique des écoulements turbulents incompressibles (PHET)

#### Objectifs

Ce cours décrit les processus physiques associés aux mécanismes des transferts d'énergie au sein des écoulements turbulents incompressibles. Il introduit les outils de description et d'analyse de ces écoulements. À l'issue de ce cours, les étudiants seront à même

- \* de décrire les mécanismes physiques à l'œuvre dans les écoulements turbulents
- \* de calculer des observables caractérisant ces écoulements
- \* d'analyser des données issues d'expériences ou de simulations numériques.
- \* de comparer les observations à des théories existantes
- \* d'utiliser le formalisme mathématique introduit dans le cours pour décrire et analyser d'autres phénomènes physiques complexes

#### Description

- Introduction
- Dynamique de la vorticité
- Lien entre l'énergie, enstrophie et la dissipation
- Présentation phénoménologique de la cascade d'énergie
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace physique
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace spectrale
- Présentation de la théorie de Kolmogorov et de ses limitations

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

### - Matière Ecoulements Diphasiques (DIPH)

#### Objectifs

Sensibiliser les étudiants à la dynamique complexe des écoulements diphasiques. La physique de ces écoulements est introduite au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans (masse, quantité de mouvement et énergie)   l'interface séparant deux fluides. Ces bilans sont ensuite utilisés pour écrire les équations générales des milieux diphasiques. Les mécanismes physiques présents dans de tels écoulements sont ensuite introduits par la description des transferts (forces, masse, chaleur, changement de phase, rupture, coalescence) rencontrés dans les écoulements constitués de particules (bulles, gouttes ou particules solides).

#### Description

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces.
- Equations générales des milieux diphasiques.
- Introduction des approches à 1-Fluide et à 2-Fluides
- Solutions simples :  vaporation d'un film ou d'une goutte, écoulement de Couette diphasique
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...).

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**  
anglais

## - Matière Transferts en Milieux diphasiques et turbulents (TMRC)

### Objectifs

Ce cours introduit les mécanismes de transferts observés dans les écoulements diphasiques turbulents.

La première partie du cours rappelle les similitudes et différences entre le transfert de masse et de chaleur. Il décrit dans le contexte des écoulements dispersés les lois de transfert (nombres de Sherwood et Nusselt) à l'échelle des bulles, gouttes et particules. Ces notions sont appliquées pour étudier le transfert d'oxygène dans une colonne à bulle soit par injection de bulles d'air, soit par injection de bulles d'oxygène pur. L'équation de transfert est ensuite dérivée dans le contexte des approches à 2-Fluides.

La deuxième partie du cours concerne le transfert en écoulement turbulent. Les notions de couches limites thermiques ou massiques en régime turbulent sont présentées. La description statistique du mélange en turbulence homogène est présentée ainsi que les lois d'échelles qui le caractérisent et leur dépendance avec les nombres de Reynolds et de Schmidt/ Prandtl. Pour finir, ces notions sont appliquées à l'estimation du mélange dans les réacteurs partiellement pré-mélangés.

### Description

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale –

- I. Analogies et différences entre transfert de masse et transferts de chaleur. Nombres de Nusselt et de Sherwood
- II. Transferts à l'échelle des particules fluides (bulles et gouttes). Mise en évidence des lois d'échelles générique en fonction de la nature de l'interface
- III. Application au transfert d'Oxygène dans une colonne à bulle
- IV. Travaux dirigés sur l'analyse de mesures expérimentales du transfert dans une colonne à bulle
- V. Présentation des notions de mélanges en écoulements turbulents.

### Responsable(s)

LEGENDRE DOMINIQUE

## - UE SIMULATIONS NUMERIQUES - FLUIDE PARTICULES

### Responsable(s)

ESTIVALEZES JEAN-LUC

## - Matière Modèles de Turbulence p/Simulations num. Stationnaires(MTSS)

### Objectifs

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employées dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

### Description

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs, on décrira aussi les différents types de lois ou modèles pour le traitement de la turbulence en proche paroi et leur implémentation pratique.

### Responsable(s)

ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Langue d'enseignement**  
Français

## **- Matière Simulation des écoulements industriels (CODC)**

### **Pré-requis nécessaires**

CFD basique et avancée

Notions de transferts en milieux poreux et d'énergétique

### **Objectifs**

Approfondir la connaissance d'un code de calcul en se mettant dans des situations complexes tant au niveau du maillage que du modèle de turbulence utilisé. La modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

Analyser une situation d'écoulement

Déterminer des conditions aux limites par interprétation de résultats numériques

proposer des modèles de transport adaptés

comparer ses résultats aux prédictions théoriques

### **Compétences visées**

Mettre en œuvre des outils numériques dans le but de représenter une situation d'écoulements complexes et couplés

Analyser et critiquer des approches choisies

Traiter et comparer des résultats au travers de l'utilisation d'outils de post-traitement adaptés aux attendus de la littérature

### **Description**

Calcul d'écoulement 2 et 3D dans un mélangeur alimentant un milieu poreux réactif.

### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

### **Méthode d'enseignement**

En présence

### **Langue d'enseignement**

Français et Anglais

### **Bibliographie**

Debenest G.; Mourzenko V.V.; Thovert J-F. (2005), Smouldering in fixed beds of oil shale grains: governing parameters and global regimes, Combustion Theory and Modelling, Vol. 2, pp. 301-321

## **- Matière Simulation d'un lit fluidisé (NEPT)**

### **Objectifs**

Former les étudiants à l'utilisation d'un code de calcul massivement parallèle de mécanique des fluides numérique sur des écoulements multiphasiques réactifs (code NEPTUNE\_CFD basé sur une approche Euler N-fluides) à l'échelle industrielle en l'appliquant à la simulation d'écoulement gaz-particules notamment en lits fluidisés.

#### **Description**

- Discussion interactive avec les étudiants sur la simulation numérique :
- . grandes étapes, organisation d'un code de calcul industriel
- . modélisation et passage d'un problème physique à la simulation numérique
- . mise en évidence des points clés de la résolution d'un problème réel et de leur relation avec les différentes composantes du code : propriétés des phases, conditions limites, conditions initiales, modèles, schémas, méthodes numériques, ...
- Mise en œuvre de la chaîne de calcul complète d'une simulation numérique sur un écoulement dense (lit fluidisé) : création de la géométrie, réalisation du maillage, paramétrages du cas de calcul, choix des modèles, modification des fichiers sources, lancement/compilation/exécution du calcul, visualisation et analyse critique des résultats et étude de l'influence de paramètres (lien avec le procédé et son optimisation). Rappels théoriques sur les modèles de fermeture des écoulements diphasiques au niveau des transferts interfaciaux, de la turbulence de la phase continue, de la modélisation des contraintes particulières et du couplage entre les phases continue et dispersée.
- Etude de l'influence des modèles d'agitation sur un jet gaz/particules : mise en œuvre de la chaîne de calcul : géométrie, maillage, paramétrage du cas de calcul, exécution, post-traitement et analyse physique des résultats, étude influence du modèle d'agitation particulière sur la dispersion des particules
- Projets sous forme de bureau d'études sur des géométries simplifiées sur des procédés multiphasiques industriels avec ou sans transfert thermique et de matière

#### **Responsable(s)**

NEAU HERVE

#### **Langue d'enseignement**

Français

### **- UE MILIEUX REACTIFS**

#### **Responsable(s)**

BAZILE RUDY

### **- Matière Combustion (COMB)**

#### **Objectifs**

Présentation des bases de la combustion à des étudiants connaissant la mécanique des fluides des milieux non réactifs. Aspects théoriques et implications numériques. Températures de flammes, vitesse de flammes laminaires, structure des flammes de diffusion, écoulements réactifs turbulents, instabilités de combustion. Application aux moteurs à piston et aux turbines à gaz.

#### **Description**

- Introduction à la combustion, rappels, mise à niveau
- Equations de base de la combustion
- La flamme laminaire prémélangée: théorie et codes de calcul
- Les flammes turbulentes prémélangées: modèles, simulations directes
- La flamme de diffusion laminaire: théorie et calcul

- Les flammes turbulentes en diffusion et en prémélange: description physique et modèles pour les codes de calcul
- Interaction flamme paroi, allumage, pollution.
- Les instabilités de combustion

**Responsable(s)**  
POINOT THIERRY

## - Matière BES Moteurs à pistons (BESM)

### Objectifs

L'objectif de ce BES est de permettre aux étudiants d'aborder plusieurs des multiples problèmes posés par les moteurs à piston et leur conception. Au cours de ce travail, on sera amené à travailler sur les disciplines suivantes: thermodynamique, thermique, mécanique des fluides, acoustique, vibrations, combustion...

### Description

Le projet comporte deux parties:

A/ Cycle thermodynamique et dimensionnement d'un moteur à piston. Cette partie est commune pour tous les étudiants.

B/ Approfondissement de 1 ou 2 thèmes parmi les sujets suivants:

B1/ Injection directe de carburant

B2/ Refroidissement du moteur

B3/ Dimensionnement des soupapes

B4/ Etude de la combustion dans le moteur

Cette seconde partie est laissée au choix des étudiants qui doivent déterminer eux-mêmes l'étude qui les intéresse le plus. En fonction de l'avancement de cette étude, les enseignants pourront décider soit d'aller plus avant dans une seule des études de type B ou au contraire de mener deux études de type B qui dans certains cas se complètent.

**Responsable(s)**  
BAZILE RUDY

## - UE ECOULEMENTS FLUIDE-PARTICULES

**Responsable(s)**  
MAURIN RAPHAEL

## - Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)

### Objectifs

La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

### Description

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisailées



II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

**Responsable(s)**  
DURU PAUL

**Langue d'enseignement**  
Français

## **- Matière Ecoulements gaz-particules (ECGP)**

### **Pré-requis nécessaires**

Modélisation du transport et des transferts en écoulement monophasique laminaire, anisotherme et réactif

Dispersion et mélange turbulent (échelles temporelle et spatiale de la turbulence, viscosité turbulente, dispersion turbulente)

Introduction à la modélisation statistique (densité de probabilité multivariées, loi normale)

La connaissance de la théorie cinétique des gaz dilués est préconisée.

### **Compétences visées**

Expertise des approches méthodologiques à mettre en oeuvre pour la simulation numérique des écoulements réactifs gaz-particules à différentes échelles.

Capacité d'analyse critique des hypothèses de modélisation retenues dans les outils de simulation commerciaux des écoulements multiphasiques mis en oeuvre dans les équipes de recherche industrielle ou les bureaux d'études.

Maitrise des enjeux et des verrous de la recherche et du développement de la modélisation mathématique et de la simulation numérique des écoulements gaz-particules réactifs

### **Description**

#### **Introduction**

Présentation qualitative des phénomènes et des enjeux de la modélisation des écoulements gaz-particules rencontrés dans les domaines du transport, de l'énergie, du procédé, de la santé et de l'environnement, en s'appuyant essentiellement sur les activités de partenariat industriel de l'enseignant.

Introduction des paramètres macroscopiques caractérisant ce type d'écoulements : température, pression, diamètre des particules, densité massique, fraction volumique, densité numérique, charge massique, ...

Présentation générale des méthodes de modélisation mathématique et de simulation numérique des écoulements à phase dispersée et de leur articulation multi-échelle par analogie avec la théorie cinétique des gaz : simulation directe ou pleinement résolue à petite échelle, modélisation Euler-Lagrange déterministe à méso-échelle, modélisation statistique et méthodes des moments (ou modèle N-fluides) à macro-échelle.

#### **Modélisation Lagrangienne déterministe des particules**

- Equation de quantité de mouvement et modélisation des transferts fluide-particule (trainée, Archimède, propulsion à réaction) et particule-particule (collision) en régime dense et dilué.

- Equation d'enthalpie et modélisation des transferts fluide-particule (diffusion thermique et transfert de masse).

- Equation de masse et modélisation des transferts fluide-particule (évaporation/condensation de gouttes, pyrolyse et gazéification de la bio-masse, réaction hétérogène de catalyse) et particule-particule (coalescence, break-up et attrition).

### **Modélisation statistique d'un ensemble de particules**

Introduction de la fonction de distribution jointe des vitesses, masse et enthalpie pour un ensemble de particules, et de l'opérateur de moyenne associé.

Ecriture de l'équation de Liouville (ou cinétique ou de type Boltzmann) qui gouverne la fonction de distribution

Fermeture de cet équation en lien avec la modélisation lagrangienne déterministe des transferts fluide-particule et particule-particule. Introduction semi-empirique du modèle BGK pour la représentation de l'effet des collisions entre particules élastiques.

### **Modélisation macroscopique de l'écoulement de particules**

Définition des moments de la phase particulaire (densité numérique, masse moyenne, vitesse moyenne, énergie d'agitation, température moyenne, contraintes cinétiques, ...)

Introduction générale à la méthode de dérivation des équations macroscopiques à partir de l'équation de Liouville. Reformulation du terme de collision sous la forme de la somme d'un terme source de modification de paires et d'un terme de flux collisionnel.

Application aux équations de bilan de masse, de bilan de densité numérique et de bilan de quantité de mouvement. Analyse des problèmes de fermeture et proposition de modélisations : transfert de masse fluide-particules, mélange d'espèces de particules et coalescence, transfert de quantité de mouvement fluide-particule (vitesse de dérive turbulente fluide-particule) et introduction des viscosités cinétique et collisionnelle.

### **Application**

Le contrôle consiste dans un travail réalisé pendant environ 4h avec l'aide de l'enseignant responsable. L'objectif de ce travail est d'étudier une configuration réelle d'écoulement gaz-particules et de lui appliquer les compétences acquises dans le cours pour la modélisation et la simulation de ces écoulements. Soit par exemple, l'application du cours à la modélisation d'une tempête de poussières ou à celle de la dénubilisation d'un brouillard sur un aéroport.

#### **Responsable(s)**

SIMONIN Olivier  
olivier.simonin@inp-toulouse.fr  
Tel. 2901

SIMONIN OLIVIER

#### **Méthode d'enseignement**

A distance

#### **Langue d'enseignement**

Français

## **- Matière Milieux granulaires (MGRA)**

### **Pré-requis nécessaires**

Si vous avez suivi la formation MF2E à l'N7, les seuls pré-requis dont vous avez besoin sont de la motivation et de la curiosité !

Si vous n'avez pas suivi la formation de l'N7, voici rapidement un aperçu de ce dont vous aurez besoin pour suivre le cours (n'hésitez pas à me contacter par mail si vous avez un doute sur votre capacité à suivre le cours) :

- Mécanique des milieux continus : notion de moyenne et dérivation des équations
- Mécanique des solides : indéformable (PFD translation + rotation), déformable dans le cas linéaire élastique (loi de Hooke), éventuellement qq notions de plasticité.
- Mécanique des fluides : équations de Navier-Stokes, nombre sans dimensions, comportement des fluides newtoniens, notions de rhéologie et de fluides complexes.
- Mathématiques de base : dérivation, intégration, manipulation d'équations, simplifications,...
- Interaction fluide/particules : forces hydrodynamiques appliquées sur une particule

### Objectifs

Les matériaux granulaires sont rencontrés dans de très nombreuses applications industrielles et géophysiques. Les ingénieurs sont souvent confrontés à de nombreux problèmes en matière de traitement, de transport et de stockage de poudres et granulats de toutes sortes. On citera par exemple le domaine du bâtiment et des travaux publics (sables, graviers, ciments,...), de l'industrie de transformation (fonderie, génie chimique, industries pharmaceutiques et cosmétiques,...), de l'industrie agro-alimentaire (céréales, farines, ..) et de la géophysique (plage, cours d'eau, déserts, avalanches, ...). Ce cours a pour objectif de :

- Se familiariser avec les milieux granulaires
- Comprendre et décrire les milieux granulaires à l'échelle des particules
- Comprendre et décrire les milieux granulaires de manière continue
- Caractériser l'influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires
- Être capable d'étudier et analyser une application

### Description

Le cours s'articule autour d'un socle de connaissances de base sur les milieux granulaires sec (sans influence du fluide interstitiel), auquel s'ajoute une discussion de l'influence du fluide interstitiel et un certain nombre d'applications à des cas concrets au travers d'activités individuelles et collectives et d'un projet en petit groupe. Le socle est composé des parties suivantes :

#### I. Introduction/définition

Définition des milieux granulaires (MGRA)

Applications industrielles et géophysique

Spécificités des MGRA

Approximation classique

#### II. Description discrète des MGRA

Forces à l'échelle des particules, focus sur le contact

Principe de la méthode de simulation par éléments discrets

Répartition discrète de la contrainte au sein d'un MGRA

#### III. Description continue des MGRA

Passage au milieu continu : enjeux et méthodes

État solide (quasi-statique) : statique et plasticité des MGRA

État liquide (dense) : rhéologie  $\mu(l)$

État gaz (dilué) : introduction, analogie avec un gaz

Autour de ce socle, des activités de recherche bibliographique et d'application des différentes approches seront en particulier animées autour des thèmes suivants :

- Le plan incliné : une configuration canonique pour les écoulements granulaires industriels & géophysiques
- Boite vibrée et démon de Maxwell : nature et fonctionnement des écoulements granulaires dilués/à l'état « gazeux »
- La ségrégation en milieux granulaires: richesse de comportement et complexité
- Écoulement dans les silos : effet Janssen
- Hystérésis, conditions aux limites et séparation d'échelles
- Influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires : couplage poro-mécanique & influence sur les écoulements granulaires

**Responsable(s)**  
BONOMETTI THOMAS

## - Spécialité-FEP-Aéro

### - UE APPLICATIONS A L'AERODYNAMIQUE

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

#### - Matière Aérodynamique

##### Pré-requis nécessaires

"Basiques" de mécanique des fluides

"Basiques" de thermodynamique

##### Objectifs

Introduire les principales notions physiques et outils mathématiques pour traiter des problèmes d'aérodynamique incompressible et compressible. A l'issue de cet enseignement les étudiants doivent savoir formuler et appliquer les modèles de l'aérodynamique et prédire les efforts appliqués sur une aile et ses performances. Ils devront également connaître les limites des modèles théoriques.

##### Description

-Introduction générale, terminologie et nomenclature.

-Comprendre les mécanismes de sustentation d'un avion.

-Théorie linéarisée pour les profils (2D) et effets des dispositifs d'hypersustentation en régime subsonique incompressible.

-Problème direct (connaissant la géométrie du profil, comment calculer les coefficients aérodynamiques) et problème inverse (connaissant les objectifs de performance en terme de coefficients aérodynamiques, comment calculer la géométrie du profil).

-Théorie de la ligne portante pour les ailes (3D) et effet de la forme en plan, de l'allongement et du vrillage de l'aile.

-Théorie linéarisée (Prandtl-Glauert) autour d'un profil (2D) pour le régime subsonique compressible.

-Le régime transsonique.

-Théorie linéarisée (Ackeret) autour d'un profil (2D) pour le régime supersonique.

-Rappels sur la résolution de chocs/détentes dans le cas non-linéaire.

**Volume horaire**

22h45

**Responsable(s)**

ALBAGNAC JULIE

**Bibliographie**

Polycopié du cours rédigé par J.Albagnac et J.Mougel

J.D.Anderson, Fundamentals of Aerodynamics

A.Giovannini et C.Airiau, Aérodynamique Fondamentale

**- Matière Aéroacoustique**

**Responsable(s)**

PIOT ESTELLE

**- Matière Interactions Fluide-Structure**

**Objectifs**

Les phénomènes d'interaction fluide-structure (IFS) peuvent se rencontrer dès lors qu'un fluide est au contact d'un solide. Les interactions susceptibles de se produire dans ce cas sont cruciales dans des domaines tels que l'aéronautique, le génie civil, la bio-mécanique, l'industrie nucléaire, les énergies renouvelables, etc. La compréhension de ces phénomènes via leur modélisation et leur simulation est donc indispensable à l'ingénieur mécanicien des fluides.

Ce cours vise à introduire les concepts de base associés à la modélisation et la simulation numérique pour les interactions fluide-structure.

### **Description**

-Formalisme général, analyse dimensionnelle et classification des problèmes IFS.

-Rappels sur les principaux phénomènes aéroélastiques et leur modélisation (ballotements, flottement, galop, divergence statique, vibrations induites par vortex (VIV)).

-Principales méthodes de simulations en IFS.

-Vibrations induites par vortex (VIV), phénomène d'accrochage en fréquence : simulation sous OpenFoam

. -Méthode des frontières immergées : approfondissement en TD numérique.

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

## **- UE SIMULATIONS NUMERIQUES - FLUIDE PARTICULES**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **- Matière Modèles de Turbulence p/Simulations num. Stationnaires(MTSS)**

#### **Objectifs**

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

#### **Description**

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs, on décrira aussi les différents types de lois ou modèles pour le traitement de la turbulence en proche paroi et leur implémentation pratique.

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Langue d'enseignement**  
Français

### **- Matière Simulation des écoulements industriels (CODC)**

#### **Pré-requis nécessaires**

CFD basique et avancée

Notions de transferts en milieux poreux et d'énergétique

#### **Objectifs**

Approfondir la connaissance d'un code de calcul en se mettant dans des situations complexes tant au niveau du maillage que du modèle de turbulence utilisé. La modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

Analyser une situation d'écoulement

Déterminer des conditions aux limites par interprétation de résultats numériques

proposer des modèles de transport adaptés

comparer ses résultats aux prédictions théoriques

#### **Compétences visées**

Mettre en œuvre des outils numériques dans le but de représenter une situation d'écoulements complexes et couplés

Analyser et critiquer des approches choisies

Traiter et comparer des résultats au travers de l'utilisation d'outils de post-traitement adaptés aux attendus de la littérature

#### **Description**

Calcul d'écoulement 2 et 3D dans un mélangeur alimentant un milieu poreux réactif.

#### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

#### **Méthode d'enseignement**

En présence

#### **Langue d'enseignement**

Français et Anglais

#### **Bibliographie**

Debenest G.; Mourzenko V.V.; Thovert J-F. (2005), Smouldering in fixed beds of oil shale grains: governing parameters and global regimes, Combustion Theory and Modelling, Vol. 2, pp. 301-321

### **- Matière Simulation d'un lit fluidisé (NEPT)**

#### **Objectifs**

Former les étudiants à l'utilisation d'un code de calcul massivement parallèle de mécanique des fluides numérique sur des écoulements multiphasiques réactifs (code NEPTUNE\_CFD basé sur une approche Euler N-fluides) à l'échelle industrielle en l'appliquant à la simulation d'écoulement gaz-particules notamment en lits fluidisés.

#### **Description**

- Discussion interactive avec les étudiants sur la simulation numérique :

. grandes étapes, organisation d'un code de calcul industriel

. modélisation et passage d'un problème physique à la simulation numérique

. mise en évidence des points clés de la résolution d'un problème réel et de leur relation avec les différentes composantes du code : propriétés des phases, conditions limites, conditions initiales, modèles, schémas, méthodes numériques, ...

- Mise en œuvre de la chaîne de calcul complète d'une simulation numérique sur un écoulement dense (lit fluidisé) : création de la géométrie, réalisation du maillage, paramétrages du cas de calcul, choix des modèles, modification des fichiers sources, lancement/compilation/exécution du calcul, visualisation et analyse critique des résultats et étude de l'influence de paramètres (lien avec le procédé et son optimisation). Rappels théoriques sur les modèles de fermeture des écoulements diphasiques au niveau des transferts interfaciaux, de la turbulence de la phase continue, de la modélisation des contraintes particulières et du couplage entre les phases continue et dispersée.

- Etude de l'influence des modèles d'agitation sur un jet gaz/particules : mise en œuvre de la chaîne de calcul : géométrie, maillage, paramétrage du cas de calcul, exécution, post-traitement et analyse physique des résultats, étude influence du modèle d'agitation particulière sur la dispersion des particules

Projets sous forme de bureau d'études sur des géométries simplifiées sur des procédés multiphasiques industriels avec ou sans transfert thermique et de matière

**Responsable(s)**

NEAU HERVE

**Langue d'enseignement**

Français

## - UE MILIEUX REACTIFS

**Responsable(s)**

BAZILE RUDY

### - Matière Combustion (COMB)

**Objectifs**

Présentation des bases de la combustion à des étudiants connaissant la mécanique des fluides des milieux non réactifs. Aspects théoriques et implications numériques. Températures de flammes, vitesse de flammes laminaires, structure des flammes de diffusion, écoulements réactifs turbulents, instabilités de combustion. Application aux moteurs à piston et aux turbines à gaz.

**Description**

- Introduction à la combustion, rappels, mise à niveau
- Equations de base de la combustion
- La flamme laminaire prémélangée: théorie et codes de calcul
- Les flammes turbulentes prémélangées: modèles, simulations directes
- La flamme de diffusion laminaire: théorie et calcul
- Les flammes turbulentes en diffusion et en prémélange: description physique et modèles pour les codes de calcul
- Interaction flamme paroi, allumage, pollution.
- Les instabilités de combustion

**Responsable(s)**

POINOT THIERRY

### - Matière BES Moteurs à pistons (BESM)

**Objectifs**



L'objectif de ce BES est de permettre aux étudiants d'aborder plusieurs des multiples problèmes posés par les moteurs à piston et leur conception. Au cours de ce travail, on sera amené à travailler sur les disciplines suivantes: thermodynamique, thermique, mécanique des fluides, acoustique, vibrations, combustion...

#### **Description**

Le projet comporte deux parties:

A/ Cycle thermodynamique et dimensionnement d'un moteur à piston. Cette partie est commune pour tous les étudiants.

B/ Approfondissement de 1 ou 2 thèmes parmi les sujets suivants:

B1/ Injection directe de carburant

B2/ Refroidissement du moteur

B3/ Dimensionnement des soupapes

B4/ Etude de la combustion dans le moteur

Cette seconde partie est laissée au choix des étudiants qui doivent déterminer eux-mêmes l'étude qui les intéresse le plus. En fonction de l'avancement de cette étude, les enseignants pourront décider soit d'aller plus avant dans une seule des études de type B ou au contraire de mener deux études de type B qui dans certains cas se complètent.

#### **Responsable(s)**

BAZILE RUDY

## **- UE ECOULEMENTS FLUIDE-PARTICULES**

#### **Responsable(s)**

MAURIN RAPHAEL

### **- Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)**

#### **Objectifs**

La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

#### **Description**

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisailées

II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

#### **Responsable(s)**

DURU PAUL

#### **Langue d'enseignement**

## **- Matière Ecoulements gaz-particules (ECGP)**

### **Pré-requis nécessaires**

Modélisation du transport et des transferts en écoulement monophasique laminaire, anisotherme et réactif

Dispersion et mélange turbulent (échelles temporelle et spatiale de la turbulence, viscosité turbulente, dispersion turbulente)

Introduction à la modélisation statistique (densité de probabilité multivariées, loi normale)

La connaissance de la théorie cinétique des gaz dilués est préconisée.

### **Compétences visées**

Expertise des approches méthodologiques à mettre en oeuvre pour la simulation numérique des écoulements réactifs gaz-particules à différentes échelles.

Capacité d'analyse critique des hypothèses de modélisation retenues dans les outils de simulation commerciaux des écoulements multiphasiques mis en oeuvre dans les équipes de recherche industrielle ou les bureaux d'études.

Maîtrise des enjeux et des verrous de la recherche et du développement de la modélisation mathématique et de la simulation numérique des écoulements gaz-particules réactifs

### **Description**

#### **Introduction**

Présentation qualitative des phénomènes et des enjeux de la modélisation des écoulements gaz-particules rencontrés dans les domaines du transport, de l'énergie, du procédé, de la santé et de l'environnement, en s'appuyant essentiellement sur les activités de partenariat industriel de l'enseignant.

Introduction des paramètres macroscopiques caractérisant ce type d'écoulements : température, pression, diamètre des particules, densité massique, fraction volumique, densité numérique, charge massique, ...

Présentation générale des méthodes de modélisation mathématique et de simulation numérique des écoulements à phase dispersée et de leur articulation multi-échelle par analogie avec la théorie cinétique des gaz : simulation directe ou pleinement résolue à petite échelle, modélisation Euler-Lagrange déterministe à méso-échelle, modélisation statistique et méthodes des moments (ou modèle N-fluides) à macro-échelle.

#### **Modélisation Lagrangienne déterministe des particules**

- Equation de quantité de mouvement et modélisation des transferts fluide-particule (trainée, Archimède, propulsion à réaction) et particule-particule (collision) en régime dense et dilué.

- Equation d'enthalpie et modélisation des transferts fluide-particule (diffusion thermique et transfert de masse).

- Equation de masse et modélisation des transferts fluide-particule (évaporation/condensation de gouttes, pyrolyse et gazéification de la bio-masse, réaction hétérogène de catalyse) et particule-particule (coalescence, break-up et attrition).

#### **Modélisation statistique d'un ensemble de particules**

Introduction de la fonction de distribution jointe des vitesses, masse et enthalpie pour un ensemble de particules, et de l'opérateur de moyenne associé.

Ecriture de l'équation de Liouville (ou cinétique ou de type Boltzmann) qui gouverne la fonction de distribution

Fermeture de cet équation en lien avec la modélisation lagrangienne déterministe des transferts fluide-particule et particule-particule. Introduction semi-empirique du modèle BGK pour la représentation de l'effet des collisions entre particules élastiques.

### **Modélisation macroscopique de l'écoulement de particules**

Définition des moments de la phase particulaire (densité numérique, masse moyenne, vitesse moyenne, énergie d'agitation, température moyenne, contraintes cinétiques, ...)

Introduction générale à la méthode de dérivation des équations macroscopiques à partir de l'équation de Liouville. Reformulation du terme de collision sous la forme de la somme d'un terme source de modification de paires et d'un terme de flux collisionnel.

Application aux équations de bilan de masse, de bilan de densité numérique et de bilan de quantité de mouvement. Analyse des problèmes de fermeture et proposition de modélisations : transfert de masse fluide-particules, mélange d'espèces de particules et coalescence, transfert de quantité de mouvement fluide-particule (vitesse de dérive turbulente fluide-particule) et introduction des viscosités cinétique et collisionnelle.

### **Application**

Le contrôle consiste dans un travail réalisé pendant environ 4h avec l'aide de l'enseignant responsable. L'objectif de ce travail est d'étudier une configuration réelle d'écoulement gaz-particules et de lui appliquer les compétences acquises dans le cours pour la modélisation et la simulation de ces écoulements. Soit par exemple, l'application du cours à la modélisation d'une tempête de poussières ou à celle de la dénébulisation d'un brouillard sur un aéroport.

#### **Responsable(s)**

SIMONIN Olivier  
olivier.simonin@inp-toulouse.fr  
Tel. 2901

SIMONIN OLIVIER

#### **Méthode d'enseignement**

A distance

#### **Langue d'enseignement**

Français

## **- Matière Milieux granulaires (MGRA)**

### **Pré-requis nécessaires**

Si vous avez suivi la formation MF2E à l'N7, les seuls pré-requis dont vous avez besoin sont de la motivation et de la curiosité !

Si vous n'avez pas suivi la formation de l'N7, voici rapidement un aperçu de ce dont vous aurez besoin pour suivre le cours (n'hésitez pas à me contacter par mail si vous avez un doute sur votre capacité à suivre le cours) :

- Mécanique des milieux continus : notion de moyenne et dérivation des équations
- Mécanique des solides : indéformable (PFD translation + rotation), déformable dans le cas linéaire élastique (loi de Hooke), éventuellement qq notions de plasticité.
- Mécanique des fluides : équations de Navier-Stokes, nombre sans dimensions, comportement des fluides newtoniens, notions de rhéologie et de fluides complexes.
- Mathématiques de base : dérivation, intégration, manipulation d'équations, simplifications,...
- Interaction fluide/particules : forces hydrodynamiques appliquées sur une particule

## Objectifs

Les matériaux granulaires sont rencontrés dans de très nombreuses applications industrielles et géophysiques. Les ingénieurs sont souvent confrontés à de nombreux problèmes en matière de traitement, de transport et de stockage de poudres et granulats de toutes sortes. On citera par exemple le domaine du bâtiment et des travaux publics (sables, graviers, ciments,...), de l'industrie de transformation (fonderie, génie chimique, industries pharmaceutiques et cosmétiques,...), de l'industrie agro-alimentaire (céréales, farines, ..) et de la géophysique (plage, cours d'eau, déserts, avalanches, ...). Ce cours a pour objectif de :

- Se familiariser avec les milieux granulaires
- Comprendre et décrire les milieux granulaires à l'échelle des particules
- Comprendre et décrire les milieux granulaires de manière continue
- Caractériser l'influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires
- Être capable d'étudier et analyser une application

## Description

Le cours s'articule autour d'un socle de connaissances de base sur les milieux granulaires sec (sans influence du fluide interstitiel), auquel s'ajoute une discussion de l'influence du fluide interstitiel et un certain nombre d'applications à des cas concrets au travers d'activités individuelles et collectives et d'un projet en petit groupe. Le socle est composé des parties suivantes :

### I. Introduction/définition

Définition des milieux granulaires (MGRA)

Applications industrielles et géophysique

Spécificités des MGRA

Approximation classique

### II. Description discrète des MGRA

Forces à l'échelle des particules, focus sur le contact

Principe de la méthode de simulation par éléments discrets

Répartition discrète de la contrainte au sein d'un MGRA

### III. Description continue des MGRA

Passage au milieu continu : enjeux et méthodes

État solide (quasi-statique) : statique et plasticité des MGRA

État liquide (dense) : rhéologie  $\mu(I)$

État gaz (dilué) : introduction, analogie avec un gaz

Autour de ce socle, des activités de recherche bibliographique et d'application des différentes approches seront en particulier animées autour des thèmes suivants :

- Le plan incliné : une configuration canonique pour les écoulements granulaires industriels & géophysiques
- Boite vibrée et démon de Maxwell : nature et fonctionnement des écoulements granulaires dilués/à l'état « gazeux »
- La ségrégation en milieux granulaires: richesse de comportement et complexité

- Écoulement dans les silos : effet Janssen
- Hystérésis, conditions aux limites et séparation d'échelles
- Influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires : couplage poro-mécanique & influence sur les écoulements granulaires

**Responsable(s)**  
BONOMETTI THOMAS

## - Spécialité-FEP-Proc-Aéro

### - UE APPLICATIONS A L'AERODYNAMIQUE

**Responsable(s)**  
ALBAGNAC JULIE

#### - Matière Aérodynamique

##### Pré-requis nécessaires

"Basiques" de mécanique des fluides

"Basiques" de thermodynamique

##### Objectifs

Introduire les principales notions physiques et outils mathématiques pour traiter des problèmes d'aérodynamique incompressible et compressible. A l'issue de cet enseignement les étudiants doivent savoir formuler et appliquer les modèles de l'aérodynamique et prédire les efforts appliqués sur une aile et ses performances. Ils devront également connaître les limites des modèles théoriques.

##### Description

-Introduction générale, terminologie et nomenclature.

-Comprendre les mécanismes de sustentation d'un avion.

-Théorie linéarisée pour les profils (2D) et effets des dispositifs d'hypersustentation en régime subsonique incompressible.

-Problème direct (connaissant la géométrie du profil, comment calculer les coefficients aérodynamiques) et problème inverse (connaissant les objectifs de performance en terme de coefficients aérodynamiques, comment calculer la géométrie du profil).

-Théorie de la ligne portante pour les ailes (3D) et effet de la forme en plan, de l'allongement et du vrillage de l'aile.

-Théorie linéarisée (Prandtl-Glauert) autour d'un profil (2D) pour le régime subsonique compressible.

-Le régime transsonique.

-Théorie linéarisée (Ackeret) autour d'un profil (2D) pour le régime supersonique.

-Rappels sur la résolution de chocs/détentes dans le cas non-linéaire.

**Volume horaire**

22h45

**Responsable(s)**

ALBAGNAC JULIE

**Bibliographie**

Polycopié du cours rédigé par J.Albagnac et J.Mougel

J.D.Anderson, Fundamentals of Aerodynamics

A.Giovannini et C.Airiau, Aérodynamique Fondamentale

**- Matière Aéroacoustique**

**Responsable(s)**

PIOT ESTELLE

**- Matière Interactions Fluide-Structure**

**Objectifs**

Les phénomènes d'interaction fluide-structure (IFS) peuvent se rencontrer dès lors qu'un fluide est au contact d'un solide. Les interactions susceptibles de se produire dans ce cas sont cruciales dans des domaines tels que l'aéronautique, le génie civil, la bio-mécanique, l'industrie nucléaire, les énergies renouvelables, etc. La compréhension de ces phénomènes via leur modélisation et leur simulation est donc indispensable à l'ingénieur mécanicien des fluides.

Ce cours vise à introduire les concepts de base associés à la modélisation et la simulation numérique pour les interactions fluide-structure.

**Description**

-Formalisme général, analyse dimensionnelle et classification des problèmes IFS.

-Rappels sur les principaux phénomènes aéroélastiques et leur modélisation (ballotements, flottement, galop, divergence statique, vibrations induites par vortex (VIV)).

-Principales méthodes de simulations en IFS.

-Vibrations induites par vortex (VIV), phénomène d'accrochage en fréquence : simulation sous OpenFoam

. -Méthode des frontières immergées : approfondissement en TD numérique.

**Responsable(s)**  
MOUGEL JEROME

## - UE PROCESSUS : PHYSIQUE ET MODELISATION

**Responsable(s)**  
LIOT OLIVIER

### - Matière Microprocédés et microéchangeurs (MICRO)

#### Pré-requis nécessaires

Mécanique des fluide 2

#### Objectifs

Présenter les concepts importants et utiles à la microfluidique en se focalisant sur l'hydrodynamique aux petites échelles et l'effet des forces de surface sur les écoulements de Stokes.

#### Compétences visées

**Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.**

Aptitude à concevoir, développer et caractériser des systèmes de contrôle pour la régulation et la commande de dispositifs hydrauliques et énergétiques et pour le développement des systèmes nomades et embarqués.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

#### Description

1. Introduction : des MEMS à la microfluidique
2. Physique à l'échelle micrométrique
3. Hydrodynamique des systèmes microfluidiques
4. Hydrodynamique interfaciale
5. BE: Microfabrication - Applications

**Responsable(s)**  
TORDJEMAN PHILIPPE

**Langue d'enseignement**  
Français ou anglais

### - Matière Agitation - Mélange (AGIT)

#### Objectifs

Faire acquérir les notions de base d'agitation et de mélange.

Donner les clés pour définir l'équipement d'une cuve agitée et fixer ses conditions opératoires en fonction des opérations effectuées.

Expliquer les éléments de dialogue avec les spécialistes du dimensionnement.

#### **Description**

Présentation des principales technologies d'agitateurs

Analyse de l'hydrodynamique

Aspects énergétiques

Agitation des systèmes liquides homogènes, des systèmes gaz-liquide et des systèmes liquide-solide.

Notions d'extrapolation

#### **Responsable(s)**

XUEREB CATHERINE

#### **Langue d'enseignement**

Français ou anglais

### **- Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)**

#### **Objectifs**

La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

#### **Description**

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisailées

II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

#### **Responsable(s)**

DURU PAUL

#### **Langue d'enseignement**

Français

### **- Matière Thermodynamiques des turbines à vapeur (THERM)**

#### **Pré-requis nécessaires**

Cours de thermodynamique de 1ère année

Cours Thermodynamique des machines en deuxième année

#### **Objectifs**



Un approfondissement de l'étude de la transformation de l'énergie dans les machines thermiques est proposé dans le cadre de ce cours. L'analyse porte sur des cycles moteurs (gaz, vapeur) et sur les cycles récepteurs récepteurs (pompe à chaleur, réfrigérateur) et des méthodes modernes de conversion de l'énergie (cycle mixtes, cogénération), ainsi que sur les méthodes d'optimisation énergétique de ces systèmes.

Le concept d'exergie et l'utilisation critique des rendements thermodynamiques et énergétiques.

#### **Description**

- Rappels de thermodynamique sur les systèmes ouverts
- Conservation de l'énergie, Théorie des cycles thermodynamiques, rendement
- Second principe et introduction de l'exergie.
- Cycles moteur à gaz ou à vapeur
  - Cycles récepteurs : Pompes à chaleur et réfrigérateur.
- Cycles combinés et optimisation énergétique des cycles à l'aide du logiciel Thermoptim

Projet sur l'optimisation énergétique d'un cycle à vapeur

**Responsable(s)**  
ROIG VERONIQUE

**Langue d'enseignement**  
Anglais

### **- Matière Agitation - Mélange (AGIT)**

#### **Objectifs**

Faire acquérir les notions de base d'agitation et de mélange.

Donner les clés pour définir l'équipement d'une cuve agitée et fixer ses conditions opératoires en fonction des opérations effectuées.

Expliquer les éléments de dialogue avec les spécialistes du dimensionnement.

#### **Description**

Présentation des principales technologies d'agitateurs

Analyse de l'hydrodynamique

Aspects énergétiques

Agitation des systèmes liquides homogènes, des systèmes gaz-liquide et des systèmes liquide-solide.

Notions d'extrapolation

**Responsable(s)**  
XUEREB CATHERINE

**Langue d'enseignement**  
Français ou anglais

### **- Matière Microfluidique**

**Responsable(s)**  
DURU PAUL

## - Matière Optimisation énergétique de cycles thermodynamiques à vapeur

Responsable(s)  
ROIG VERONIQUE

## - Matière Transferts en milieux poreux (MIPO)

### Objectifs

Le but de ce cours est de présenter certains aspects du transport en milieu poreux de l'échelle du pore à échelle de milieu poreux. À l'échelle des pores, des effets hydrostatiques spécifiques à petite échelle seront présentés, puis le transport électro-cinétique relié aux charges de surface aux parois sera décrit. Ensuite, la description des milieux poreux et de leurs propriétés sera proposée, suivie des méthodes de passage à la moyenne permettant de traduire les équations de transport locales en équations globales. La première application sera le transport hydrodynamique à travers un milieu poreux avec la démonstration de la loi de Darcy. Ensuite, deux cours porteront sur la dispersion et la diffusion dans les milieux poreux, à la fois pour le transport de particules / le transport moléculaire et le transfert de chaleur.

### Description

#### 1/ Hydrostatique à l'échelle du pore

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Expliquer les effets des surfaces sur l'hydrostatique à petite échelle
- \* Démontrer les principales relations liées à la tension de surface (Young, Jurin, Laplace)
- \* Résumer les principaux transferts électrocinétiques dans un pore (électroosmose, diffusio-osmose, ...)
- \* Adapter les notions précédentes pour résoudre un problème de transport couplé

#### 2/ Passage à la moyenne : du pore au milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Décrire quelques milieux poreux naturels et artificiels
- \* Définir le nombre de Knudsen
- \* Définir et expliquer les principales propriétés d'un milieu poreux (tortuosité, porosité, saturation)
- \* Expliquer ce qu'est le Volume Élémentaire Représentatif
- \* Résumer les différentes méthodes de passage à la moyenne pour les milieux poreux
- \* Calculer la moyenne spatiale d'un champ scalaire ou vectoriel dans un milieu poreux

#### 3/ Transport hydrodynamique dans un milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Résumer et interpréter la loi de Darcy
- \* Estimer la perméabilité de certains milieux poreux
- \* Citer des méthodes expérimentales pour mesurer la perméabilité
- \* Définir l'effet Klinkenberg
- \* Appliquer la loi de Darcy avec inertie, et sa conséquence sur la perméabilité (loi d'Ergun)
- \* Choisir la bonne approche pour évaluer le transport hydrodynamique dans un milieu poreux

#### 4/ Diffusion et dispersion de particules en milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Nommer les différents types de mécanismes de dispersion en milieu poreux
- \* Ecrire et appliquer la loi de Fick
- \* Démontrer la dispersion de Taylor dans un cylindre
- \* Décrire le phénomène de diffusion dans un milieu poreux
- \* Ecrire et interpréter l'équation d'advection-diffusion moyennée

#### 5/ Transfert thermique dans un milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Citer et décrire les trois mécanismes de transfert thermique dans les milieux poreux
- \* Résumer le modèle de conduction thermique en milieu poreux
- \* Interpréter les différents modèles de conductivité thermique
- \* Résumer le modèle de convection thermique en milieu poreux
- \* Définir les nombre de Rayleigh et de Nusselt dans un milieu poreux

L'examen mélangera l'analyse d'un article scientifique et un ou plusieurs exercices classiques en lien avec les objectifs ci-dessus.

**Volume horaire**

Ce cours sera décomposé en cinq parties comportant des objectifs spécifiques réparties sur onze cours de 1h45.

**Responsable(s)**

LIOT OLIVIER

**Langue d'enseignement**

anglais

**- UE SIMULATIONS NUMERIQUES - FLUIDE PARTICULES**

**Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

**- Matière Modèles de Turbulence p/Simulations num. Stationnaires(MTSS)**

**Objectifs**

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

**Description**

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs, on décrira aussi les différents types de lois ou modèles pour le traitement de la turbulence en proche paroi et leur implémentation pratique.

**Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Langue d'enseignement**

Français

**- Matière Simulation des écoulements industriels (CODC)**

**Pré-requis nécessaires**

CFD basique et avancée

Notions de transferts en milieux poreux et d'énergétique

**Objectifs**

Approfondir la connaissance d'un code de calcul en se mettant dans des situations complexes tant au niveau du maillage que du modèle de turbulence utilisé. La modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

Analyser une situation d'écoulement

Déterminer des conditions aux limites par interprétation de résultats numériques

proposer des modèles de transport adaptés

comparer ses résultats aux prédictions théoriques

#### **Compétences visées**

Mettre en œuvre des outils numériques dans le but de représenter une situation d'écoulements complexes et couplés

Analyser et critiquer des approches choisies

Traiter et comparer des résultats au travers de l'utilisation d'outils de post-traitement adaptés aux attendus de la littérature

#### **Description**

Calcul d'écoulement 2 et 3D dans un mélangeur alimentant un milieu poreux réactif.

#### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

#### **Méthode d'enseignement**

En présence

#### **Langue d'enseignement**

Français et Anglais

#### **Bibliographie**

Debenest G.; Mourzenko V.V.; Thovert J-F. (2005), Smouldering in fixed beds of oil shale grains: governing parameters and global regimes, Combustion Theory and Modelling, Vol. 2, pp. 301-321

### **- Matière Simulation d'un lit fluidisé (NEPT)**

#### **Objectifs**

Former les étudiants à l'utilisation d'un code de calcul massivement parallèle de mécanique des fluides numérique sur des écoulements multiphasiques réactifs (code NEPTUNE\_CFD basé sur une approche Euler N-fluides) à l'échelle industrielle en l'appliquant à la simulation d'écoulement gaz-particules notamment en lits fluidisés.

#### **Description**

- Discussion interactive avec les étudiants sur la simulation numérique :

. grandes étapes, organisation d'un code de calcul industriel

. modélisation et passage d'un problème physique à la simulation numérique

. mise en évidence des points clés de la résolution d'un problème réel et de leur relation avec les différentes composantes du code : propriétés des phases, conditions limites, conditions initiales, modèles, schémas, méthodes numériques, ...

- Mise en œuvre de la chaîne de calcul complète d'une simulation numérique sur un écoulement dense (lit fluidisé) : création de la géométrie, réalisation du maillage, paramétrages du cas de calcul, choix des modèles, modification des fichiers sources, lancement/compilation/exécution du calcul, visualisation et analyse critique des résultats et étude de l'influence de paramètres (lien avec le procédé et son optimisation). Rappels théoriques sur les modèles de fermeture des écoulements diphasiques au niveau des transferts interfaciaux, de la turbulence de

la phase continue, de la modélisation des contraintes particulières et du couplage entre les phases continue et dispersée.

- Etude de l'influence des modèles d'agitation sur un jet gaz/particules : mise en œuvre de la chaîne de calcul : géométrie, maillage, paramétrage du cas de calcul, exécution, post-traitement et analyse physique des résultats, étude influence du modèle d'agitation particulière sur la dispersion des particules

Projets sous forme de bureau d'études sur des géométries simplifiées sur des procédés multiphasiques industriels avec ou sans transfert thermique et de matière

**Responsable(s)**

NEAU HERVE

**Langue d'enseignement**

Français

## - UE ECOULEMENTS FLUIDE-PARTICULES

**Responsable(s)**

MAURIN RAPHAEL

### - Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)

**Objectifs**

La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

**Description**

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisaillées

II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

**Responsable(s)**

DURU PAUL

**Langue d'enseignement**

Français

### - Matière Ecoulements gaz-particules (ECGP)

**Pré-requis nécessaires**

Modélisation du transport et des transferts en écoulement monophasique laminaire, anisotherme et réactif

Dispersion et mélange turbulent (échelles temporelle et spatiale de la turbulence, viscosité turbulente, dispersion turbulente)

Introduction à la modélisation statistique (densité de probabilité multivariées, loi normale)

La connaissance de la théorie cinétique des gaz dilués est préconisée.

### **Compétences visées**

Expertise des approches méthodologiques à mettre en oeuvre pour la simulation numérique des écoulements réactifs gaz-particules à différentes échelles.

Capacité d'analyse critique des hypothèses de modélisation retenues dans les outils de simulation commerciaux des écoulements multiphasiques mis en oeuvre dans les équipes de recherche industrielle ou les bureaux d'études.

Maîtrise des enjeux et des verrous de la recherche et du développement de la modélisation mathématique et de la simulation numérique des écoulements gaz-particules réactifs

### **Description**

#### **Introduction**

Présentation qualitative des phénomènes et des enjeux de la modélisation des écoulements gaz-particules rencontrés dans les domaines du transport, de l'énergie, du procédé, de la santé et de l'environnement, en s'appuyant essentiellement sur les activités de partenariat industriel de l'enseignant.

Introduction des paramètres macroscopiques caractérisant ce type d'écoulements : température, pression, diamètre des particules, densité massique, fraction volumique, densité numérique, charge massique, ...

Présentation générale des méthodes de modélisation mathématique et de simulation numérique des écoulements à phase dispersée et de leur articulation multi-échelle par analogie avec la théorie cinétique des gaz : simulation directe ou pleinement résolue à petite échelle, modélisation Euler-Lagrange déterministe à méso-échelle, modélisation statistique et méthodes des moments (ou modèle N-fluides) à macro-échelle.

#### **Modélisation Lagrangienne déterministe des particules**

- Equation de quantité de mouvement et modélisation des transferts fluide-particule (trainée, Archimède, propulsion à réaction) et particule-particule (collision) en régime dense et dilué.

- Equation d'enthalpie et modélisation des transferts fluide-particule (diffusion thermique et transfert de masse).

- Equation de masse et modélisation des transfert fluide-particule (évaporation/condensation de gouttes, pyrolyse et gazéification de la bio-masse, réaction hétérogène de catalyse) et particule-particule (coalescence, break-up et attrition).

#### **Modélisation statistique d'un ensemble de particules**

Introduction de la fonction de distribution jointe des vitesses, masse et enthalpie pour un ensemble de particules, et de l'opérateur de moyenne associé.

Ecriture de l'équation de Liouville (ou cinétique ou de type Boltzmann) qui gouverne la fonction de distribution

Fermeture de cet équation en lien avec la modélisation lagrangienne déterministe des transferts fluide-particule et particule-particule. Introduction semi-empirique du modèle BGK pour la représentation de l'effet des collisions entre particules élastiques.

#### **Modélisation macroscopique de l'écoulement de particules**

Définition des moments de la phase particulaire (densité numérique, masse moyenne, vitesse moyenne, énergie d'agitation, température moyenne, contraintes cinétiques, ...)

Introduction générale à la méthode de dérivation des équations macroscopiques à partir de l'équation de Liouville. Reformulation du terme de collision sous la forme de la somme d'un terme source de modification de paires et d'un terme de flux collisionnel.

Application aux équations de bilan de masse, de bilan de densité numérique et de bilan de quantité de mouvement. Analyse des problèmes de fermeture et proposition de modélisations : transfert de masse fluide-particules, mélange d'espèces de particules et coalescence, transfert de quantité de mouvement fluide-particule (vitesse de dérive turbulente fluide-particule) et introduction des viscosités cinétique et collisionnelle.

### **Application**

Le contrôle consiste dans un travail réalisé pendant environ 4h avec l'aide de l'enseignant responsable. L'objectif de ce travail est d'étudier une configuration réelle d'écoulement gaz-particules et de lui appliquer les compétences acquises dans le cours pour la modélisation et la simulation de ces écoulements. Soit par exemple, l'application du cours à la modélisation d'une tempête de poussières ou à celle de la dénébulisation d'un brouillard sur un aéroport.

### **Responsable(s)**

SIMONIN Olivier  
olivier.simonin@inp-toulouse.fr  
Tel. 2901

SIMONIN OLIVIER

### **Méthode d'enseignement**

A distance

### **Langue d'enseignement**

Français

## **- Matière Milieux granulaires (MGRA)**

### **Pré-requis nécessaires**

Si vous avez suivi la formation MF2E à l'N7, les seuls pré-requis dont vous avez besoin sont de la motivation et de la curiosité !

Si vous n'avez pas suivi la formation de l'N7, voici rapidement un aperçu de ce dont vous aurez besoin pour suivre le cours (n'hésitez pas à me contacter par mail si vous avez un doute sur votre capacité à suivre le cours) :

- Mécanique des milieux continus : notion de moyenne et dérivation des équations
- Mécanique des solides : indéformable (PFD translation + rotation), déformable dans le cas linéaire élastique (loi de Hooke), éventuellement qq notions de plasticité.
- Mécanique des fluides : équations de Navier-Stokes, nombre sans dimensions, comportement des fluides newtoniens, notions de rhéologie et de fluides complexes.
- Mathématiques de base : dérivation, intégration, manipulation d'équations, simplifications,...
- Interaction fluide/particules : forces hydrodynamiques appliquées sur une particule

### **Objectifs**

Les matériaux granulaires sont rencontrés dans de très nombreuses applications industrielles et géophysiques. Les ingénieurs sont souvent confrontés à de nombreux problèmes en matière de traitement, de transport et de stockage de poudres et granulats de toutes sortes. On citera par exemple le domaine du bâtiment et des travaux publics (sables, graviers, ciments,...), de l'industrie de transformation (fonderie, génie chimique, industries pharmaceutiques et cosmétiques,...), de l'industrie agro-alimentaire (céréales, farines, ..) et de la géophysique (plage, cours d'eau, déserts, avalanches, ...). Ce cours a pour objectif de :

- Se familiariser avec les milieux granulaires

- Comprendre et décrire les milieux granulaires à l'échelle des particules
- Comprendre et décrire les milieux granulaires de manière continue
- Caractériser l'influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires
- Être capable d'étudier et analyser une application

### **Description**

Le cours s'articule autour d'un socle de connaissances de base sur les milieux granulaires sec (sans influence du fluide interstitiel), auquel s'ajoute une discussion de l'influence du fluide interstitiel et un certain nombre d'applications à des cas concrets au travers d'activités individuelles et collectives et d'un projet en petit groupe. Le socle est composé des parties suivantes :

#### I. Introduction/définition

Définition des milieux granulaires (MGRA)

Applications industrielles et géophysique

Spécificités des MGRA

Approximation classique

#### II. Description discrète des MGRA

Forces à l'échelle des particules, focus sur le contact

Principe de la méthode de simulation par éléments discrets

Répartition discrète de la contrainte au sein d'un MGRA

#### III. Description continue des MGRA

Passage au milieu continu : enjeux et méthodes

État solide (quasi-statique) : statique et plasticité des MGRA

État liquide (dense) : rhéologie  $\mu(I)$

État gaz (dilué) : introduction, analogie avec un gaz

Autour de ce socle, des activités de recherche bibliographique et d'application des différentes approches seront en particulier animées autour des thèmes suivants :

- Le plan incliné : une configuration canonique pour les écoulements granulaires industriels & géophysiques
- Boite vibrée et démon de Maxwell : nature et fonctionnement des écoulements granulaires dilués/à l'état « gazeux »
- La ségrégation en milieux granulaires: richesse de comportement et complexité
- Écoulement dans les silos : effet Janssen
- Hystérésis, conditions aux limites et séparation d'échelles
- Influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires : couplage poro-mécanique & influence sur les écoulements granulaires

### **Responsable(s)**

BONOMETTI THOMAS



## - Spécialité-FEP-Proc

### - UE TURBULENCE ET ECOULEMENTS MULTIPHASES

#### - Matière Physique des écoulements turbulents incompressibles (PHET)

##### Objectifs

Ce cours décrit les processus physiques associés aux mécanismes des transferts d'énergie au sein des écoulements turbulents incompressibles. Il introduit les outils de description et d'analyse de ces écoulements. À l'issue de ce cours, les étudiants seront à même

- \* de décrire les mécanismes physiques à l'œuvre dans les écoulements turbulents
- \* de calculer des observables caractérisant ces écoulements
- \* d'analyser des données issues d'expériences ou de simulations numériques.
- \* de comparer les observations à des théories existantes
- \* d'utiliser le formalisme mathématique introduit dans le cours pour décrire et analyser d'autres phénomènes physiques complexes

##### Description

- Introduction
- Dynamique de la vorticité
- Lien entre l'énergie, enstrophie et la dissipation
- Présentation phénoménologique de la cascade d'énergie
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace physique
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace spectrale
- Présentation de la théorie de Kolmogorov et de ses limitations

##### Responsable(s)

PRAUD OLIVIER

#### - Matière Ecoulements Diphasiques (DIPH)

##### Objectifs

Sensibiliser les étudiants à la dynamique complexe des écoulements diphasiques. La physique de ces écoulements est introduite au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans (masse, quantité de mouvement et énergie)   l'interface séparant deux fluides. Ces bilans sont ensuite utilisés pour écrire les équations générales des milieux diphasiques. Les mécanismes physiques présents dans de tels écoulements sont ensuite introduits par la description des transferts (forces, masse, chaleur, changement de phase, rupture, coalescence) rencontrés dans les écoulements constitués de particules (bulles, gouttes ou particules solides).

##### Description

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces.
- Equations générales des milieux diphasiques.
- Introduction des approches à 1-Fluide et à 2-Fluides

- Solution simples : évaporation d'un film ou d'une goutte, écoulement de Couette diphasique

- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...).

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**  
anglais

## **- Matière Transferts en Milieux diphasiques et turbulents (TMRC)**

### **Objectifs**

Ce cours introduit les mécanismes de transferts observés dans les écoulements diphasiques turbulents.

La première partie du cours rappelle les similitudes et différences entre le transfert de masse et de chaleur. Il décrit dans le contexte des écoulements dispersés les lois de transfert (nombres de Sherwood et Nusselt) à l'échelle des bulles, gouttes et particules. Ces notions sont appliquées pour étudier le transfert d'oxygène dans une colonne à bulle soit par injection de bulles d'air, soit par injection de bulles d'oxygène pur. L'équation de transfert est ensuite dérivée dans le contexte des approches à 2-Fluides.

La deuxième partie du cours concerne le transfert en écoulement turbulent. Les notions de couches limites thermiques ou massiques en régime turbulent sont présentées. La description statistique du mélange en turbulence homogène est présentée ainsi que les lois d'échelles qui le caractérisent et leur dépendance avec les nombres de Reynolds et de Schmidt/ Prandtl. Pour finir, ces notions sont appliquées à l'estimation du mélange dans les réacteurs partiellement pré-mélangés.

### **Description**

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale –

I. Analogies et différences entre transfert de masse et transferts de chaleur. Nombres de Nusselt et de Sherwood

II. Transferts à l'échelle des particules fluides (bulles et gouttes). Mise en évidence des lois d'échelles générique en fonction de la nature de l'interface

III. Application au transfert d'Oxygène dans une colonne à bulle

IV. Travaux dirigés sur l'analyse de mesures expérimentales du transfert dans une colonne à bulle

V. Présentation des notions de mélanges en écoulements turbulents.

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

## **- UE PROCESSUS : PHYSIQUE ET MODELISATION**

**Responsable(s)**  
LIOT OLIVIER

### **- Matière Microprocédés et microéchangeurs (MICRO)**

#### **Pré-requis nécessaires**

Mécanique des fluides 2

#### **Objectifs**

Présenter les concepts importants et utiles à la microfluidique en se focalisant sur l'hydrodynamique aux petites échelles et l'effet des forces de surface sur les écoulements de Stokes.

#### Compétences visées

**Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.**

Aptitude à concevoir, développer et caractériser des systèmes de contrôle pour la régulation et la commande de dispositifs hydrauliques et énergétiques et pour le développement des systèmes nomades et embarqués.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

#### Description

1. Introduction : des MEMS à la microfluidique
2. Physique à l'échelle micrométrique
3. Hydrodynamique des systèmes microfluidiques
4. Hydrodynamique interfaciale
5. BE: Microfabrication - Applications

#### Responsable(s)

TORDJEMAN PHILIPPE

#### Langue d'enseignement

Français ou anglais

### - Matière Agitation - Mélange (AGIT)

#### Objectifs

Faire acquérir les notions de base d'agitation et de mélange.

Donner les clés pour définir l'équipement d'une cuve agitée et fixer ses conditions opératoires en fonction des opérations effectuées.

Expliquer les éléments de dialogue avec les spécialistes du dimensionnement.

#### Description

Présentation des principales technologies d'agitateurs

Analyse de l'hydrodynamique

Aspects énergétiques

Agitation des systèmes liquides homogènes, des systèmes gaz-liquide et des systèmes liquide-solide.

Notions d'extrapolation

#### Responsable(s)

XUEREB CATHERINE

#### Langue d'enseignement

Français ou anglais

### - Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)

### Objectifs

La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

### Description

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisaillées

II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

### Responsable(s)

DURU PAUL

### Langue d'enseignement

Français

## - Matière Thermodynamiques des turbines à vapeur (THERM)

### Pré-requis nécessaires

Cours de thermodynamique de 1ere année

Cours Thermodynamique des machines en deuxième année

### Objectifs

Un approfondissement de l'étude de la transformation de l'énergie dans les machines thermiques est proposé dans le cadre de ce cours. L'analyse porte sur des cycles moteurs (gaz, vapeur) et sur les cycles récepteurs (pompe à chaleur, réfrigérateur) et des méthodes modernes de conversion de l'énergie (cycle mixtes, cogénération), ainsi que sur les méthodes d'optimisation énergétique de ces systèmes.

Le concept d'exergie et l'utilisation critique des rendements thermodynamiques et énergétiques.

### Description

- Rappels de thermodynamique sur les systèmes ouverts
- Conservation de l'énergie, Théorie des cycles thermodynamiques, rendement
- Second principe et introduction de l'exergie.
- Cycles moteur à gaz ou à vapeur
  - Cycles récepteurs : Pompes à chaleur et réfrigérateur.
- Cycles combinés et optimisation énergétique des cycles à l'aide du logiciel Thermoptim

Projet sur l'optimisation énergétique d'un cycle à vapeur

### Responsable(s)

ROIG VERONIQUE

### Langue d'enseignement

Anglais

## **- Matière Agitation - Mélange (AGIT)**

### **Objectifs**

Faire acquérir les notions de base d'agitation et de mélange.

Donner les clés pour définir l'équipement d'une cuve agitée et fixer ses conditions opératoires en fonction des opérations effectuées.

Expliquer les éléments de dialogue avec les spécialistes du dimensionnement.

### **Description**

Présentation des principales technologies d'agitateurs

Analyse de l'hydrodynamique

Aspects énergétiques

Agitation des systèmes liquides homogènes, des systèmes gaz-liquide et des systèmes liquide-solide.

Notions d'extrapolation

### **Responsable(s)**

XUEREB CATHERINE

### **Langue d'enseignement**

Français ou anglais

## **- Matière Microfluidique**

### **Responsable(s)**

DURU PAUL

## **- Matière Optimisation énergétique de cycles thermodynamiques à vapeur**

### **Responsable(s)**

ROIG VERONIQUE

## **- Matière Transferts en milieux poreux (MIPO)**

### **Objectifs**

Le but de ce cours est de présenter certains aspects du transport en milieu poreux de l'échelle du pore à échelle de milieu poreux. À l'échelle des pores, des effets hydrostatiques spécifiques à petite échelle seront présentés, puis le transport électro-cinétique relié aux charges de surface aux parois sera décrit. Ensuite, la description des milieux poreux et de leurs propriétés sera proposée, suivie des méthodes de passage à la moyenne permettant de traduire les équations de transport locales en équations globales. La première application sera le transport hydrodynamique à travers un milieu poreux avec la démonstration de la loi de Darcy. Ensuite, deux cours porteront sur la dispersion et la diffusion dans les milieux poreux, à la fois pour le transport de particules / le transport moléculaire et le transfert de chaleur.

### **Description**

1/ Hydrostatique à l'échelle du pore

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Expliquer les effets des surfaces sur l'hydrostatique à petite échelle
- \* Démontrer les principales relations liées à la tension de surface (Young, Jurin, Laplace)

- \* Résumer les principaux transferts électrocinétiques dans un pore (électroosmose, diffusio-osmose, ...)
- \* Adapter les notions précédentes pour résoudre un problème de transport couplé

2/ Passage à la moyenne : du pore au milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Décrire quelques milieux poreux naturels et artificiels
- \* Définir le nombre de Knudsen
- \* Définir et expliquer les principales propriétés d'un milieu poreux (tortuosité, porosité, saturation)
- \* Expliquer ce qu'est le Volume Élémentaire Représentatif
- \* Résumer les différentes méthodes de passage à la moyenne pour les milieux poreux
- \* Calculer la moyenne spatiale d'un champ scalaire ou vectoriel dans un milieu poreux

3/ Transport hydrodynamique dans un milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Résumer et interpréter la loi de Darcy
- \* Estimer la perméabilité de certains milieux poreux
- \* Citer des méthodes expérimentales pour mesurer la perméabilité
- \* Définir l'effet Klinkenberg
- \* Appliquer la loi de Darcy avec inertie, et sa conséquence sur la perméabilité (loi d'Ergun)
- \* Choisir la bonne approche pour évaluer le transport hydrodynamique dans un milieu poreux

4/ Diffusion et dispersion de particules en milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Nommer les différents types de mécanismes de dispersion en milieu poreux
- \* Ecrire et appliquer la loi de Fick
- \* Démontrer la dispersion de Taylor dans un cylindre
- \* Décrire le phénomène de diffusion dans un milieu poreux
- \* Ecrire et interpréter l'équation d'advection-diffusion moyennée

5/ Transfert thermique dans un milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Citer et décrire les trois mécanismes de transfert thermique dans les milieux poreux
- \* Résumer le modèle de conduction thermique en milieu poreux
- \* Interpréter les différents modèles de conductivité thermique
- \* Résumer le modèle de convection thermique en milieu poreux
- \* Définir les nombres de Rayleigh et de Nusselt dans un milieu poreux

L'examen mélangera l'analyse d'un article scientifique et un ou plusieurs exercices classiques en lien avec les objectifs ci-dessus.

**Volume horaire**

Ce cours sera décomposé en cinq parties comportant des objectifs spécifiques réparties sur onze cours de 1h45.

**Responsable(s)**

LIOT OLIVIER

**Langue d'enseignement**

anglais

**- UE SIMULATIONS NUMERIQUES - FLUIDE PARTICULES**

**Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

## **- Matière Modèles de Turbulence p/Simulations num. Stationnaires(MTSS)**

### **Objectifs**

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employées dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

### **Description**

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs, on décrira aussi les différents types de lois ou modèles pour le traitement de la turbulence en proche paroi et leur implémentation pratique.

### **Responsable(s)**

ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **Langue d'enseignement**

Français

## **- Matière Simulation des écoulements industriels (CODC)**

### **Pré-requis nécessaires**

CFD basique et avancée

Notions de transferts en milieux poreux et d'énergétique

### **Objectifs**

Approfondir la connaissance d'un code de calcul en se mettant dans des situations complexes tant au niveau du maillage que du modèle de turbulence utilisé. La modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

Analyser une situation d'écoulement

Déterminer des conditions aux limites par interprétation de résultats numériques

proposer des modèles de transport adaptés

comparer ses résultats aux prédictions théoriques

### **Compétences visées**

Mettre en œuvre des outils numériques dans le but de représenter une situation d'écoulements complexes et couplés

Analyser et critiquer des approches choisies

Traiter et comparer des résultats au travers de l'utilisation d'outils de post-traitement adaptés aux attendus de la littérature

### **Description**

Calcul d'écoulement 2 et 3D dans un mélangeur alimentant un milieu poreux réactif.

### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français et Anglais

**Bibliographie**

Debenest G.; Mourzenko V.V.; Thovert J-F. (2005), Smouldering in fixed beds of oil shale grains: governing parameters and global regimes, Combustion Theory and Modelling, Vol. 2, pp. 301-321

**- Matière Simulation d'un lit fluidisé (NEPT)****Objectifs**

Former les étudiants à l'utilisation d'un code de calcul massivement parallèle de mécanique des fluides numérique sur des écoulements multiphasiques réactifs (code NEPTUNE\_CFD basé sur une approche Euler N-fluides) à l'échelle industrielle en l'appliquant à la simulation d'écoulement gaz-particules notamment en lits fluidisés.

**Description**

- Discussion interactive avec les étudiants sur la simulation numérique :

. grandes étapes, organisation d'un code de calcul industriel

. modélisation et passage d'un problème physique à la simulation numérique

. mise en évidence des points clés de la résolution d'un problème réel et de leur relation avec les différentes composantes du code : propriétés des phases, conditions limites, conditions initiales, modèles, schémas, méthodes numériques, ...

- Mise en œuvre de la chaîne de calcul complète d'une simulation numérique sur un écoulement dense (lit fluidisé) : création de la géométrie, réalisation du maillage, paramétrages du cas de calcul, choix des modèles, modification des fichiers sources, lancement/compilation/exécution du calcul, visualisation et analyse critique des résultats et étude de l'influence de paramètres (lien avec le procédé et son optimisation). Rappels théoriques sur les modèles de fermeture des écoulements diphasiques au niveau des transferts interfaciaux, de la turbulence de la phase continue, de la modélisation des contraintes particulières et du couplage entre les phases continue et dispersée.

- Etude de l'influence des modèles d'agitation sur un jet gaz/particules : mise en œuvre de la chaîne de calcul : géométrie, maillage, paramétrage du cas de calcul, exécution, post-traitement et analyse physique des résultats, étude influence du modèle d'agitation particulière sur la dispersion des particules

Projets sous forme de bureau d'études sur des géométries simplifiées sur des procédés multiphasiques industriels avec ou sans transfert thermique et de matière

**Responsable(s)**

NEAU HERVE

**Langue d'enseignement**

Français

**- UE ECOULEMENTS FLUIDE-PARTICULES****Responsable(s)**

MAURIN RAPHAEL

**- Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)****Objectifs**



La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

### Description

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisaillées

II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

### Responsable(s)

DURU PAUL

### Langue d'enseignement

Français

## - Matière Ecoulements gaz-particules (ECGP)

### Pré-requis nécessaires

Modélisation du transport et des transferts en écoulement monophasique laminaire, anisotherme et réactif

Dispersion et mélange turbulent (échelles temporelle et spatiale de la turbulence, viscosité turbulente, dispersion turbulente)

Introduction à la modélisation statistique (densité de probabilité multivariées, loi normale)

La connaissance de la théorie cinétique des gaz dilués est préconisée.

### Compétences visées

Expertise des approches méthodologiques à mettre en oeuvre pour la simulation numérique des écoulements réactifs gaz-particules à différentes échelles.

Capacité d'analyse critique des hypothèses de modélisation retenues dans les outils de simulation commerciaux des écoulements multiphasiques mis en oeuvre dans les équipes de recherche industrielle ou les bureaux d'études.

Maîtrise des enjeux et des verrous de la recherche et du développement de la modélisation mathématique et de la simulation numérique des écoulements gaz-particules réactifs

### Description

#### Introduction

Présentation qualitative des phénomènes et des enjeux de la modélisation des écoulements gaz-particules rencontrés dans les domaines du transport, de l'énergie, du procédé, de la santé et de l'environnement, en s'appuyant essentiellement sur les activités de partenariat industriel de l'enseignant.

Introduction des paramètres macroscopiques caractérisant ce type d'écoulements : température, pression, diamètre des particules, densité massique, fraction volumique, densité numérique, charge massique, ...

Présentation générale des méthodes de modélisation mathématique et de simulation numérique des écoulements à phase dispersée et de leur articulation multi-échelle par analogie avec la théorie cinétique des gaz :

simulation directe ou pleinement résolue à petite échelle, modélisation Euler-Lagrange déterministe à méso-échelle, modélisation statistique et méthodes des moments (ou modèle N-fluides) à macro-échelle.

### **Modélisation Lagrangienne déterministe des particules**

- Equation de quantité de mouvement et modélisation des transferts fluide-particule (trainée, Archimède, propulsion à réaction) et particule-particule (collision) en régime dense et dilué.

- Equation d'enthalpie et modélisation des transferts fluide-particule (diffusion thermique et transfert de masse).

- Equation de masse et modélisation des transferts fluide-particule (évaporation/condensation de gouttes, pyrolyse et gazéification de la bio-masse, réaction hétérogène de catalyse) et particule-particule (coalescence, break-up et attrition).

### **Modélisation statistique d'un ensemble de particules**

Introduction de la fonction de distribution jointe des vitesses, masse et enthalpie pour un ensemble de particules, et de l'opérateur de moyenne associé.

Ecriture de l'équation de Liouville (ou cinétique ou de type Boltzmann) qui gouverne la fonction de distribution

Fermeture de cet équation en lien avec la modélisation lagrangienne déterministe des transferts fluide-particule et particule-particule. Introduction semi-empirique du modèle BGK pour la représentation de l'effet des collisions entre particules élastiques.

### **Modélisation macroscopique de l'écoulement de particules**

Définition des moments de la phase particulaire (densité numérique, masse moyenne, vitesse moyenne, énergie d'agitation, température moyenne, contraintes cinétiques, ...)

Introduction générale à la méthode de dérivation des équations macroscopiques à partir de l'équation de Liouville. Reformulation du terme de collision sous la forme de la somme d'un terme source de modification de paires et d'un terme de flux collisionnel.

Application aux équations de bilan de masse, de bilan de densité numérique et de bilan de quantité de mouvement. Analyse des problèmes de fermeture et proposition de modélisations : transfert de masse fluide-particules, mélange d'espèces de particules et coalescence, transfert de quantité de mouvement fluide-particule (vitesse de dérive turbulente fluide-particule) et introduction des viscosités cinétique et collisionnelle.

### **Application**

Le contrôle consiste dans un travail réalisé pendant environ 4h avec l'aide de l'enseignant responsable. L'objectif de ce travail est d'étudier une configuration réelle d'écoulement gaz-particules et de lui appliquer les compétences acquises dans le cours pour la modélisation et la simulation de ces écoulements. Soit par exemple, l'application du cours à la modélisation d'une tempête de poussières ou à celle de la dénubilisation d'un brouillard sur un aéroport.

#### **Responsable(s)**

SIMONIN Olivier  
olivier.simonin@inp-toulouse.fr  
Tel. 2901

SIMONIN OLIVIER

#### **Méthode d'enseignement**

A distance

#### **Langue d'enseignement**

Français

## - Matière Milieux granulaires (MGRA)

### Pré-requis nécessaires

Si vous avez suivi la formation MF2E à l'N7, les seuls pré-requis dont vous avez besoin sont de la motivation et de la curiosité !

Si vous n'avez pas suivi la formation de l'N7, voici rapidement un aperçu de ce dont vous aurez besoin pour suivre le cours (n'hésitez pas à me contacter par mail si vous avez un doute sur votre capacité à suivre le cours) :

- Mécanique des milieux continus : notion de moyenne et dérivation des équations
- Mécanique des solides : indéformable (PFD translation + rotation), déformable dans le cas linéaire élastique (loi de Hooke), éventuellement qq notions de plasticité.
- Mécanique des fluides : équations de Navier-Stokes, nombre sans dimensions, comportement des fluides newtoniens, notions de rhéologie et de fluides complexes.
- Mathématiques de base : dérivation, intégration, manipulation d'équations, simplifications,...
- Interaction fluide/particules : forces hydrodynamiques appliquées sur une particule

### Objectifs

Les matériaux granulaires sont rencontrés dans de très nombreuses applications industrielles et géophysiques. Les ingénieurs sont souvent confrontés à de nombreux problèmes en matière de traitement, de transport et de stockage de poudres et granulats de toutes sortes. On citera par exemple le domaine du bâtiment et des travaux publics (sables, graviers, ciments,...), de l'industrie de transformation (fonderie, génie chimique, industries pharmaceutiques et cosmétiques,...), de l'industrie agro-alimentaire (céréales, farines, ..) et de la géophysique (plage, cours d'eau, déserts, avalanches, ...). Ce cours a pour objectif de :

- Se familiariser avec les milieux granulaires
- Comprendre et décrire les milieux granulaires à l'échelle des particules
- Comprendre et décrire les milieux granulaires de manière continue
- Caractériser l'influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires
- Être capable d'étudier et analyser une application

### Description

Le cours s'articule autour d'un socle de connaissances de base sur les milieux granulaires sec (sans influence du fluide interstitiel), auquel s'ajoute une discussion de l'influence du fluide interstitiel et un certain nombre d'applications à des cas concrets au travers d'activités individuelles et collectives et d'un projet en petit groupe. Le socle est composé des parties suivantes :

#### I. Introduction/définition

Définition des milieux granulaires (MGRA)

Applications industrielles et géophysique

Spécificités des MGRA

Approximation classique

#### II. Description discrète des MGRA

Forces à l'échelle des particules, focus sur le contact

Principe de la méthode de simulation par éléments discrets

Répartition discrète de la contrainte au sein d'un MGRA

### III. Description continue des MGRA

Passage au milieu continu : enjeux et méthodes

État solide (quasi-statique) : statique et plasticité des MGRA

État liquide (dense) : rhéologie  $\mu(I)$

État gaz (dilué) : introduction, analogie avec un gaz

Autour de ce socle, des activités de recherche bibliographique et d'application des différentes approches seront en particulier animées autour des thèmes suivants :

- Le plan incliné : une configuration canonique pour les écoulements granulaires industriels & géophysiques
- Boite vibrée et démon de Maxwell : nature et fonctionnement des écoulements granulaires dilués/à l'état « gazeux »
- La ségrégation en milieux granulaires: richesse de comportement et complexité
- Écoulement dans les silos : effet Janssen
- Hystérésis, conditions aux limites et séparation d'échelles
- Influence du fluide interstitiel sur le comportement des milieux granulaires : couplage poro-mécanique & influence sur les écoulements granulaires

**Responsable(s)**  
BONOMETTI THOMAS

## - Spécialité-FEP-FEIP

### - UE TURBULENCE ET ECOULEMENTS MULTIPHASES

#### - Matière Physique des écoulements turbulents incompressibles (PHET)

##### Objectifs

Ce cours décrit les processus physiques associés aux mécanismes des transferts d'énergie au sein des des écoulements turbulents incompressibles. Il introduit les outils de description et d'analyse des ces écoulements. A l'issus de ce cours, les étudiants seront à même

- \* de décrire les mécanismes physiques à l'oeuvre dans les écoulements turbulents
- \* de calculer des observables caractérisants ces écoulements
- \* d'analyser des données issues d'expériences ou de simulations numériques.
- \* de comparer les observations à des théories existantes
- \* d'utiliser le formalisme mathématique introduit dans le cours pour décrire et analyser d'autres phénomènes physiques complexes

##### Description

- Introduction

- Dynamique de la vorticité
- Lien entre l'énergie, enstrophie et la dissipation
- Présentation phénoménologique de la cascade d'énergie
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace physique
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace spectrale
- Présentation de la théorie de Kolmogorov et de ses limitations

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

## - Matière  coulements Diphasiques (DIPH)

### Objectifs

Sensibiliser les étudiants à la dynamique complexe des écoulements diphasiques. La physique de ces écoulements est introduite au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans (masse, quantité de mouvement et énergie)   l'interface séparant deux fluides. Ces bilans sont ensuite utilisés pour écrire les équations générales des milieux diphasiques. Les mécanismes physiques présents dans de tels écoulements sont ensuite introduits par la description des transferts (forces, masse, chaleur, changement de phase, rupture, coalescence) rencontrés dans les écoulements constitués de particules (bulles, gouttes ou particules solides).

### Description

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces.
- Equations générales des milieux diphasiques.
  - Introduction des approches à 1-Fluide et à 2-Fluides
  - Solution simples :  vaporation d'un film ou d'une goutte, écoulement de Couette diphasique
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...).

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**  
anglais

## - Matière Transferts en Milieux diphasiques et turbulents (TMRC)

### Objectifs

Ce cours introduit les mécanismes de transferts observés dans les écoulements diphasiques turbulents.

La première partie du cours rappelle les similitudes et différences entre le transfert de masse et de chaleur. Il décrit dans le contexte des écoulements dispersés les lois de transfert (nombres de Sherwood et Nusselt)   l'échelle des bulles, gouttes et particules. Ces notions sont appliquées pour étudier le transfert d'oxygène dans une colonne à bulle soit par injection de bulles d'air, soit par injection de bulles d'oxygène pur. L'équation de transfert est ensuite dérivée dans le contexte des approches à 2-Fluides.

La deuxième partie du cours concerne le transfert en écoulement turbulent. Les notions de couches limites thermiques ou massiques en régime turbulent sont présentées. La description statistique du mélange en turbulence homogène est présentée ainsi que les lois d'échelles qui le caractérisent et leur dépendance avec les nombres de Reynolds et de Schmidt/ Prandtl. Pour finir, ces notions sont appliquées à l'estimation du mélange dans les réacteurs partiellement pré-mélangés.

### Description

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale –

I. Analogies et différences entre transfert de masse et transferts de chaleur. Nombres de Nusselt et de Sherwood

II. Transferts à l'échelle des particules fluides (bulles et gouttes). Mise en évidence des lois d'échelles générique en fonction de la nature de l'interface

III. Application au transfert d'Oxygène dans une colonne à bulle

IV. Travaux dirigés sur l'analyse de mesures expérimentales du transfert dans une colonne à bulle

V. Présentation des notions de mélanges en écoulements turbulents.

### Responsable(s)

LEGENDRE DOMINIQUE

## - UE PROCÉDES ÉCOULEMENTS MULTIPHASES

### Responsable(s)

ROIG VERONIQUE

## - Matière Écoulements diphasiques avec changements de phase (CHPH)

### Pré-requis nécessaires

Cours « Écoulements diphasiques » (DIPH)

Cours « Hydraulique Diphasique » (HYDI)

### Objectifs

Cet enseignement a pour but de donner au futur ingénieur des outils de modélisation et de dimensionnement d'installations thermohydrauliques dans lesquelles interviennent des écoulements liquide-vapeur (ébullition et condensation). Cet enseignement est centré sur la formulation et la résolution des équations de conservation de la masse, quantité de mouvement et d'énergie pour les écoulements diphasiques avec changement de phase. Des modélisations des termes de transfert de chaleur et de masse en ébullition, condensation, évaporation sont présentées et permettent d'effectuer un premier dimensionnement d'échangeurs diphasiques dans des géométries simples.

### Description

-Formulation des équations de conservation intégrées dans une section de conduite : variables principales et lois de fermeture

-Configurations des écoulements adiabatiques et avec transfert de masse

-Les régimes d'ébullition en vase (courbe de Nukiyama)

-Les différents régimes de l'ébullition convective

-Modélisation du frottement pariétal et interfacial

-Transfert de chaleur et de masse en ébullition convective

-Transferts en condensation convective

-Etude des effets paramétriques sur les transferts en ébullition/condensation (pression, incondensables, sous-refroidissement,..)

### Volume horaire

17h30

**Responsable(s)**  
COLIN CATHERINE

## - Matière Hydraulique diphasique (HYDI)

### Objectifs

L'ambition de ce cours est d'apporter aux élèves ingénieurs les outils nécessaires à la modélisation et au calcul du comportement hydrodynamique des écoulements diphasiques en situation industrielle. Ces écoulements sont d'une grande variété, en raison de la multiplicité des configurations d'écoulements qui peuvent exister (écoulements où l'une des phases est dispersée dans l'autre, où les phases sont clairement séparées, ou encore où les phases s'écoulent de façon intermittente : réacteur à bulles en traitement de l'eau, écoulements de films liquides, transport pétrolier dans des oléoducs).

### Description

- Classification des configurations d'écoulements.
- Mise en équation des bilans de masse et de quantité de mouvement unidimensionnels (moyennés dans la section).
- Présentation de la hiérarchie des modèles de couplage hydrodynamique entre phases (modèle à deux fluides, modèles de mélange (modèle à flux de dérive, modèle homogène).
- Application aux écoulements unidimensionnels : - écoulement stratifié, - écoulement à bulles, - écoulement intermittent, et - écoulement annulaire.

**Responsable(s)**  
ROIG VERONIQUE

## - Matière Coalescence Rupture Agrégation (CORA)

### Objectifs

Donner au futur ingénieur des notions de base sur les mécanismes physiques contrôlant la structure des interfaces dans les milieux dispersés : écoulements à bulles, à gouttes (émulsions) ou avec des agrégats. Développer des modélisations adaptées pour calculer l'évolution spatio-temporelle des populations de bulles/gouttes/particules pour les procédés diphasiques.

### Description

- I- Introduction sur le génie des milieux dispersés : Exemples d'application (émulsification, précipitation, filtration) - Coefficients de transferts - Aire interfaciale – Fonctions de distribution de taille et leurs moments.
- II- Modélisation de l'évolution d'une population à l'aide des équations de bilan de population : termes sources et puits.
- III- Application : noyau d'aggrégation de particules par agitation Brownienne ou induite par le cisaillement.
- IV- Interfaces gaz-liquide et liquide-liquide : tension interfaciale, effets de tensio-actifs, conséquences sur les phénomènes interfaciaux.
- V- Rupture : problème physique et modèles pour bilans de population (noyaux de fragmentation pour les écoulements à bulles et à gouttes), (i) en régime visqueux, (ii) inertiel et (iii) en écoulement turbulent. Exemples d'applications pour la rupture de bulles en cuve agitée ou de gouttes dans les procédés d'émulsification.

VI - Coalescence : description de la physique, focus sur le problème de l'hydrodynamique du drainage du film entre bulles ou gouttes, modèles pour bilans de population. Exemples d'applications et limites de ces approches.

**BE : modélisation de l'évolution de la distribution de taille d'une population dans un procédé diphasique donné : analyse physique des mécanismes, établissement de modèles simples et simulation de la distribution de taille en sortie en fonction de l'hydrodynamique.**

**Responsable(s)**  
ABBAS MICHELINE  
LALANNE BENJAMIN

## **- UE SIMULATIONS NUMERIQUES : PROCESSUS**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **- Matière Modèles de Turbulence p/Simulations num. Stationnaires(MTSS)**

#### **Objectifs**

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

#### **Description**

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs, on décrira aussi les différents types de lois ou modèles pour le traitement de la turbulence en proche paroi et leur implémentation pratique.

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Langue d'enseignement**  
Français

### **- Matière Numérique Diphasique (LECA)**

#### **Objectifs**

Ce cours vise à mettre en application les théories de thermohydraulique et d'hydraulique diphasique vues auparavant. On utilisera pour cela, au choix un des deux logiciels suivants : Ledaflow ou Cathare.

#### **Description**

Ledaflow : ce logiciel est principalement utilisé dans des applications pétrolières. On étudiera le phénomène de severe slugging. A partir d'un article expérimental, il s'agit de retrouver les résultats par la simulation numérique. L'intervention d'une personne de chez Total permettra de mieux cerner les enjeux industriels de ce logiciel.

A la fin de ce cours, l'étudiant.e devrait être capable de :

· Citer les domaines d'application de Ledaflow· Illustrer à l'aide d'un exemple les fonctions basiques de Ledaflow· Simuler le severe slugging à partir de données expérimentales· Classer les résultats expérimentaux d'un article· Comparer les résultats expérimentaux et numériques· Résumer le travail dans un rapport



Cathare : ce logiciel est principalement utilisé dans des applications nucléaires. On étudiera le phénomène de casse-siphon. A partir d'un article expérimental, il s'agit de retrouver les résultats par la simulation numérique. L'intervention d'une personne de chez EDF permettra de mieux cerner les enjeux industriels de ce logiciel. A la fin de ce cours, l'étudiant.e devrait être capable de : - Citer les domaines d'application de Cathare- Illustrer à l'aide d'un exemple les fonctions basiques de Cathare- Simuler un casse-siphon à partir de données expérimentales- Classer les résultats expérimentaux d'un article- Comparer les résultats expérimentaux et numériques- Résumer le travail dans un rapport Un rapport d'au moins 10 pages, en rapport avec ces objectifs, devra être rédigé.

**Responsable(s)**

LIOT OLIVIER

**Langue d'enseignement**

Français ou Anglais

**- Matière Simulation des écoulements industriels (CODC)**

**Pré-requis nécessaires**

CFD basique et avancée

Notions de transferts en milieux poreux et d'énergétique

**Objectifs**

Approfondir la connaissance d'un code de calcul en se mettant dans des situations complexes tant au niveau du maillage que du modèle de turbulence utilisé. La modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

Analyser une situation d'écoulement

Déterminer des conditions aux limites par interprétation de résultats numériques

proposer des modèles de transport adaptés

comparer ses résultats aux prédictions théoriques

**Compétences visées**

Mettre en œuvre des outils numériques dans le but de représenter une situation d'écoulements complexes et couplés

Analyser et critiquer des approches choisies

Traiter et comparer des résultats au travers de l'utilisation d'outils de post-traitement adaptés aux attendus de la littérature

**Description**

Calcul d'écoulement 2 et 3D dans un mélangeur alimentant un milieu poreux réactif.

**Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

**Méthode d'enseignement**

En présence

**Langue d'enseignement**

Français et Anglais

**Bibliographie**

## - Matière Couplage multiphysique (COMUL)

### Objectifs

- \* Simuler et analyser de manière approfondie (en lien avec les matières théoriques associées) des configurations de couplage entre hydrodynamique, transferts et réaction sur la base de simulations de type DNS : (i) transfert autour et au sein d'une particule de catalyseur dans un écoulement et (ii) traçage numérique d'un réacteur.
- \* Simplifier ces études par établissement de modèles phénoménologiques 1D utilisés en génie des réacteurs
- \* Mettre en œuvre une simulation multi-échelle sur une configuration de réacteur catalytique à lit fixe sur la base d'un couplage entre ces modèles 1D.

### Description

Mode d'enseignement : bureau d'études en 3 parties.

L'objectif de ce bureau d'études est donc de résoudre à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics les équations régissant l'hydrodynamique, les transferts et la réaction au sein d'un réacteur à lit fixe à une phase fluide. Ce problème est complexe du fait des différents phénomènes mis en jeu et des diverses échelles qu'il recouvre : de l'échelle moléculaire à l'échelle du réacteur. Le génie de la réaction introduit différents concepts pour pouvoir simplifier la description des phénomènes impliqués – parmi lesquels on peut citer le facteur d'efficacité pour corriger la vitesse de réaction par les limitations dues à la diffusion interne et au transfert externe, et le coefficient de dispersion axiale pour corriger l'écart de l'hydrodynamique réelle à l'écoulement piston (modèle d'écoulement de fluide parfait). A l'aide de problèmes décrivant d'abord séparément les échelles du grain de catalyseur et du réacteur avant de réaliser leur couplage, ces différentes notions sont introduites et leur validité discutée par comparaison à des solutions « exactes » résolues à l'aide de l'outil COMSOL.

### Programme/Contenu

- Couplage entre les phénomènes de transport (interne / externe) et la réaction à l'échelle d'une particule de catalyseur : simulation 2D axi « exacte » et détermination des processus limitants ; comparaison du facteur d'efficacité global résultant aux expressions simplifiées issues du génie de la réaction (modèle 1D diffusion-réaction de particule associé au modèle du film)
- Traçage numérique au sein d'un réacteur tubulaire (vide) en écoulement laminaire : introduction à la dispersion axiale et comparaison des régimes de dispersion de Taylor-Aris et d'écoulement ségrégré ; analyse de la Distribution des Temps de Séjour et détermination du coefficient de dispersion axiale équivalent ; comparaison des prédictions du modèle 1D piston-dispersion avec la solution « exacte » (en régime de Taylor-Aris)
- Couplage multi-échelles (grain de catalyseur / fluide interstitiel) au sein d'un réacteur catalytique à lit fixe.

### Responsable(s)

LALANNE BENJAMIN

## - UE PROCESSUS : PHYSIQUE ET MODELISATION

### Responsable(s)

LIOT OLIVIER

## - Matière Microprocédés et microéchangeurs (MICRO)

### Pré-requis nécessaires

Mécanique des fluide 2

### Objectifs

Présenter les concepts importants et utiles à la microfluidique en se focalisant sur l'hydrodynamique aux petites échelles et l'effet des forces de surface sur les écoulements de Stokes.

#### Compétences visées

**Aptitude à concevoir, dimensionner et modéliser des systèmes pour l'énergie, le transport et les procédés.**

Aptitude à concevoir, développer et caractériser des systèmes de contrôle pour la régulation et la commande de dispositifs hydrauliques et énergétiques et pour le développement des systèmes nomades et embarqués.

Aptitude à modéliser des problèmes de mécanique multi-échelles et/ou multi-physiques et/ou stochastiques.

#### Description

1. Introduction : des MEMS à la microfluidique
2. Physique à l'échelle micrométrique
3. Hydrodynamique des systèmes microfluidiques
4. Hydrodynamique interfaciale
5. BE: Microfabrication - Applications

#### Responsable(s)

TORDJEMAN PHILIPPE

#### Langue d'enseignement

Français ou anglais

### - Matière Agitation - Mélange (AGIT)

#### Objectifs

Faire acquérir les notions de base d'agitation et de mélange.

Donner les clés pour définir l'équipement d'une cuve agitée et fixer ses conditions opératoires en fonction des opérations effectuées.

Expliquer les éléments de dialogue avec les spécialistes du dimensionnement.

#### Description

Présentation des principales technologies d'agitateurs

Analyse de l'hydrodynamique

Aspects énergétiques

Agitation des systèmes liquides homogènes, des systèmes gaz-liquide et des systèmes liquide-solide.

Notions d'extrapolation

#### Responsable(s)

XUEREB CATHERINE

#### Langue d'enseignement

Français ou anglais

### - Matière PhysicoChemical hydromatics : colloidal susp. (PhyCosep)

### Objectifs

La situation dans laquelle on cherche à séparer un fluide et des particules dispersées au sein de ce fluide se rencontre dans de nombreux procédés industriels (décantation et filtration par exemple), mettant en jeu des suspensions de nature variée (eau à épurer, lait, effluents miniers, etc.). Ce cours a pour objectif d'introduire les principaux effets hydrodynamiques et physico-chimiques à l'œuvre au sein d'une suspension de particules colloïdales, ingrédients qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on travaille à l'échelle d'un procédé de séparation.

### Description

I. Hydrodynamique des suspensions : micro-hydrodynamique et suspensions cisaillées

II. Physico-Chimies des suspensions : interactions de van der Waals, interactions électrostatiques. Approche DLVO. Agrégation, effets électrocinétiques et transport.

III. Procédés de séparation : flottation, décantation/sédimentation, filtration

TDs : Tri granulométrique, Bassin de décantation, Sédimentation d'agrégats fractals, Lois de filtration, Concentration de suspensions colloïdales lors d'une filtration tangentielle.

### Responsable(s)

DURU PAUL

### Langue d'enseignement

Français

## - Matière Thermodynamiques des turbines à vapeur (THERM)

### Pré-requis nécessaires

Cours de thermodynamique de 1ere année

Cours Thermodynamique des machines en deuxième année

### Objectifs

Un approfondissement de l'étude de la transformation de l'énergie dans les machines thermiques est proposé dans le cadre de ce cours. L'analyse porte sur des cycles moteurs (gaz, vapeur) et sur les cycles récepteurs (pompe à chaleur, réfrigérateur) et des méthodes modernes de conversion de l'énergie (cycle mixtes, cogénération), ainsi que sur les méthodes d'optimisation énergétique de ces systèmes.

Le concept d'exergie et l'utilisation critique des rendements thermodynamiques et énergétiques.

### Description

- Rappels de thermodynamique sur les systèmes ouverts
- Conservation de l'énergie, Théorie des cycles thermodynamiques, rendement
- Second principe et introduction de l'exergie.
- Cycles moteur à gaz ou à vapeur
  - Cycles récepteurs : Pompes à chaleur et réfrigérateur.
- Cycles combinés et optimisation énergétique des cycles à l'aide du logiciel Thermoptim

Projet sur l'optimisation énergétique d'un cycle à vapeur

### Responsable(s)

ROIG VERONIQUE

### Langue d'enseignement

Anglais

## **- Matière Agitation - Mélange (AGIT)**

### **Objectifs**

Faire acquérir les notions de base d'agitation et de mélange.

Donner les clés pour définir l'équipement d'une cuve agitée et fixer ses conditions opératoires en fonction des opérations effectuées.

Expliquer les éléments de dialogue avec les spécialistes du dimensionnement.

### **Description**

Présentation des principales technologies d'agitateurs

Analyse de l'hydrodynamique

Aspects énergétiques

Agitation des systèmes liquides homogènes, des systèmes gaz-liquide et des systèmes liquide-solide.

Notions d'extrapolation

### **Responsable(s)**

XUEREB CATHERINE

### **Langue d'enseignement**

Français ou anglais

## **- Matière Microfluidique**

### **Responsable(s)**

DURU PAUL

## **- Matière Optimisation énergétique de cycles thermodynamiques à vapeur**

### **Responsable(s)**

ROIG VERONIQUE

## **- Matière Transferts en milieux poreux (MIPO)**

### **Objectifs**

Le but de ce cours est de présenter certains aspects du transport en milieu poreux de l'échelle du pore à échelle de milieu poreux. À l'échelle des pores, des effets hydrostatiques spécifiques à petite échelle seront présentés, puis le transport électro-cinétique relié aux charges de surface aux parois sera décrit. Ensuite, la description des milieux poreux et de leurs propriétés sera proposée, suivie des méthodes de de passage à la moyenne permettant de traduire les équations de transport locales en équations globales. La première application sera le transport hydrodynamique à travers un milieu poreux avec la démonstration de la loi de Darcy. Ensuite, deux cours porteront sur la dispersion et la diffusion dans les milieux poreux, à la fois pour le transport de particules / le transport moléculaire et le transfert de chaleur.

### **Description**

1/ Hydrostatique à l'échelle du pore

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Expliquer les effets des surfaces sur l'hydrostatique à petite échelle
- \* Démontrer les principales relations liées à la tension de surface (Young, Jurin, Laplace)

- \* Résumer les principaux transferts électrocinétiques dans un pore (électroosmose, diffusio-osmose, ...)
- \* Adapter les notions précédentes pour résoudre un problème de transport couplé

2/ Passage à la moyenne : du pore au milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Décrire quelques milieux poreux naturels et artificiels
- \* Définir le nombre de Knudsen
- \* Définir et expliquer les principales propriétés d'un milieu poreux (tortuosité, porosité, saturation)
- \* Expliquer ce qu'est le Volume Élémentaire Représentatif
- \* Résumer les différentes méthodes de passage à la moyenne pour les milieux poreux
- \* Calculer la moyenne spatiale d'un champ scalaire ou vectoriel dans un milieu poreux

3/ Transport hydrodynamique dans un milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Résumer et interpréter la loi de Darcy
- \* Estimer la perméabilité de certains milieux poreux
- \* Citer des méthodes expérimentales pour mesurer la perméabilité
- \* Définir l'effet Klinkenberg
- \* Appliquer la loi de Darcy avec inertie, et sa conséquence sur la perméabilité (loi d'Ergun)
- \* Choisir la bonne approche pour évaluer le transport hydrodynamique dans un milieu poreux

4/ Diffusion et dispersion de particules en milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Nommer les différents types de mécanismes de dispersion en milieu poreux
- \* Ecrire et appliquer la loi de Fick
- \* Démontrer la dispersion de Taylor dans un cylindre
- \* Décrire le phénomène de diffusion dans un milieu poreux
- \* Ecrire et interpréter l'équation d'advection-diffusion moyennée

5/ Transfert thermique dans un milieu poreux

A la fin de cette partie, les étudiant.e.s devraient être capable de :

- \* Citer et décrire les trois mécanismes de transfert thermique dans les milieux poreux
- \* Résumer le modèle de conduction thermique en milieu poreux
- \* Interpréter les différents modèles de conductivité thermique
- \* Résumer le modèle de convection thermique en milieu poreux
- \* Définir les nombres de Rayleigh et de Nusselt dans un milieu poreux

L'examen mélangera l'analyse d'un article scientifique et un ou plusieurs exercices classiques en lien avec les objectifs ci-dessus.

**Volume horaire**

Ce cours sera décomposé en cinq parties comportant des objectifs spécifiques réparties sur onze cours de 1h45.

**Responsable(s)**

LIOT OLIVIER

**Langue d'enseignement**

anglais

## - UE TURBULENCE ET ECOULEMENTS MULTIPHASES

### - Matière Physique des écoulements turbulents incompressibles (PHET)

#### Objectifs

Ce cours décrit les processus physiques associés aux mécanismes des transferts d'énergie au sein des écoulements turbulents incompressibles. Il introduit les outils de description et d'analyse de ces écoulements. À l'issue de ce cours, les étudiants seront à même

- \* de décrire les mécanismes physiques à l'œuvre dans les écoulements turbulents
- \* de calculer des observables caractérisant ces écoulements
- \* d'analyser des données issues d'expériences ou de simulations numériques.
- \* de comparer les observations à des théories existantes
- \* d'utiliser le formalisme mathématique introduit dans le cours pour décrire et analyser d'autres phénomènes physiques complexes

#### Description

- Introduction
- Dynamique de la vorticité
- Lien entre l'énergie, enstrophie et la dissipation
- Présentation phénoménologique de la cascade d'énergie
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace physique
- Description de la turbulence homogène isotrope dans l'espace spectrale
- Présentation de la théorie de Kolmogorov et de ses limitations

**Responsable(s)**  
PRAUD OLIVIER

### - Matière Ecoulements Diphasiques (DIPH)

#### Objectifs

Sensibiliser les étudiants à la dynamique complexe des écoulements diphasiques. La physique de ces écoulements est introduite au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans (masse, quantité de mouvement et énergie)   l'interface séparant deux fluides. Ces bilans sont ensuite utilisés pour écrire les équations générales des milieux diphasiques. Les mécanismes physiques présents dans de tels écoulements sont ensuite introduits par la description des transferts (forces, masse, chaleur, changement de phase, rupture, coalescence) rencontrés dans les écoulements constitués de particules (bulles, gouttes ou particules solides).

#### Description

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces.
- Equations générales des milieux diphasiques.
- Introduction des approches à 1-Fluide et à 2-Fluides
- Solutions simples :  vaporation d'un film ou d'une goutte, écoulement de Couette diphasique
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...).

**Responsable(s)**  
LEGENDRE DOMINIQUE

**Langue d'enseignement**  
anglais

## **- Matière Transferts en Milieux diphasiques et turbulents (TMRC)**

### **Objectifs**

Ce cours introduit les mécanismes de transferts observés dans les écoulements diphasiques turbulents.

La première partie du cours rappelle les similitudes et différences entre le transfert de masse et de chaleur. Il décrit dans le contexte des écoulements dispersés les lois de transfert (nombres de Sherwood et Nusselt) à l'échelle des bulles, gouttes et particules. Ces notions sont appliquées pour étudier le transfert d'oxygène dans une colonne à bulle soit par injection de bulles d'air, soit par injection de bulles d'oxygène pur. L'équation de transfert est ensuite dérivée dans le contexte des approches à 2-Fluides.

La deuxième partie du cours concerne le transfert en écoulement turbulent. Les notions de couches limites thermiques ou massiques en régime turbulent sont présentées. La description statistique du mélange en turbulence homogène est présentée ainsi que les lois d'échelles qui le caractérisent et leur dépendance avec les nombres de Reynolds et de Schmidt/ Prandtl. Pour finir, ces notions sont appliquées à l'estimation du mélange dans les réacteurs partiellement pré-mélangés.

### **Description**

Introduction : exemples d'application industrielle et environnementale –

- I. Analogies et différences entre transfert de masse et transferts de chaleur. Nombres de Nusselt et de Sherwood
- II. Transferts à l'échelle des particules fluides (bulles et gouttes). Mise en évidence des lois d'échelles générique en fonction de la nature de l'interface
- III. Application au transfert d'Oxygène dans une colonne à bulle
- IV. Travaux dirigés sur l'analyse de mesures expérimentales du transfert dans une colonne à bulle
- V. Présentation des notions de mélanges en écoulements turbulents.

### **Responsable(s)**

LEGENDRE DOMINIQUE

## **- UE PROCÉDES ÉCOULEMENTS MULTIPHASES**

### **Responsable(s)**

ROIG VERONIQUE

## **- Matière Écoulements diphasiques avec changements de phase (CHPH)**

### **Pré-requis nécessaires**

Cours « Écoulements diphasiques » (DIPH)

Cours « Hydraulique Diphasique » (HYDI)

### **Objectifs**

Cet enseignement a pour but de donner au futur ingénieur des outils de modélisation et de dimensionnement d'installations thermohydrauliques dans lesquelles interviennent des écoulements liquide-vapeur (ébullition et condensation). Cet enseignement est centré sur la formulation et la résolution des équations de conservation de la masse, quantité de mouvement et d'énergie pour les écoulements diphasiques avec changement de phase. Des modélisations des termes de transfert de chaleur et de masse en ébullition, condensation, évaporation sont présentées et permettent d'effectuer un premier dimensionnement d'échangeurs diphasiques dans des géométries simples.



### Description

-Formulation des équations de conservation intégrées dans une section de conduite : variables principales et lois de fermeture

-Configurations des écoulements adiabatiques et avec transfert de masse

-Les régimes d'ébullition en vase (courbe de Nukiyama)

-Les différents régimes de l'ébullition convective

-Modélisation du frottement pariétal et interfacial

-Transfert de chaleur et de masse en ébullition convective

-Transferts en condensation convective

-Etude des effets paramétriques sur les transferts en ébullition/condensation (pression, incondensables, sous-refroidissement,..)

### Volume horaire

17h30

### Responsable(s)

COLIN CATHERINE

## - Matière Hydraulique diphasique (HYDI)

### Objectifs

L'ambition de ce cours est d'apporter aux élèves ingénieurs les outils nécessaires à la modélisation et au calcul du comportement hydrodynamique des écoulements diphasiques en situation industrielle. Ces écoulements sont d'une grande variété, en raison de la multiplicité des configurations d'écoulements qui peuvent exister (écoulements où l'une des phases est dispersée dans l'autre, où les phases sont clairement séparées, ou encore où les phases s'écoulent de façon intermittente : réacteur à bulles en traitement de l'eau, écoulements de films liquides, transport pétrolier dans des oléoducs).

### Description

- Classification des configurations d'écoulements.

- Mise en équation des bilans de masse et de quantité de mouvement unidimensionnels (moyennés dans la section).

- Présentation de la hiérarchie des modèles de couplage hydrodynamique entre phases (modèle à deux fluides, modèles de mélange (modèle à flux de dérive, modèle homogène).

- Application aux écoulements unidimensionnels : - écoulement stratifié, - écoulement à bulles, - écoulement intermittent, et - écoulement annulaire.

### Responsable(s)

ROIG VERONIQUE

## - Matière Coalescence Rupture Agrégation (CORA)

### Objectifs

Donner au futur ingénieur des notions de base sur les mécanismes physiques contrôlant la structure des interfaces dans les milieux dispersés : écoulements à bulles, à gouttes (émulsions) ou avec des agrégats. Développer des modélisations adaptées pour calculer l'évolution spatio-temporelle des populations de bulles/gouttes/particules pour les procédés diphasiques.

### Description

I- Introduction sur le génie des milieux dispersés : Exemples d'application (émulsification, précipitation, filtration) - Coefficients de transferts - Aire interfaciale – Fonctions de distribution de taille et leurs moments.

II- Modélisation de l'évolution d'une population à l'aide des équations de bilan de population : termes sources et puits.

III- Application : noyau d'aggrégation de particules par agitation Brownienne ou induite par le cisaillement.

IV- Interfaces gaz-liquide et liquide-liquide : tension interfaciale, effets de tensio-actifs, conséquences sur les phénomènes interfaciaux.

V- Rupture : problème physique et modèles pour bilans de population (noyaux de fragmentation pour les écoulements à bulles et à gouttes), (i) en régime visqueux, (ii) inertiel et (iii) en écoulement turbulent. Exemples d'applications pour la rupture de bulles en cuve agitée ou de gouttes dans les procédés d'émulsification.

VI - Coalescence : description de la physique, focus sur le problème de l'hydrodynamique du drainage du film entre bulles ou gouttes, modèles pour bilans de population. Exemples d'applications et limites de ces approches.

**BE : modélisation de l'évolution de la distribution de taille d'une population dans un procédé diphasique donné : analyse physique des mécanismes, établissement de modèles simples et simulation de la distribution de taille en sortie en fonction de l'hydrodynamique.**

**Responsable(s)**  
ABBAS MICHELINE  
LALANNE BENJAMIN

## **- UE SIMULATIONS NUMERIQUES : PROCESSUS**

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

### **- Matière Modèles de Turbulence p/Simulations num. Stationnaires(MTSS)**

#### **Objectifs**

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employées dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

#### **Description**

Après avoir rappelé le principe des modèles de turbulence du premier ordre, on détaillera les différents modèles utilisés dans les codes industriels en montrant leurs qualités et défauts respectifs, on décrira aussi les différents types de lois ou modèles pour le traitement de la turbulence en proche paroi et leur implémentation pratique.

**Responsable(s)**  
ESTIVALEZES JEAN-LUC

**Langue d'enseignement**  
Français

## - Matière Numérique Diphasique (LECA)

### Objectifs

Ce cours vise à mettre en application les théories de thermohydraulique et d'hydraulique diphasique vues auparavant. On utilisera pour cela, au choix un des deux logiciels suivants : Ledaflow ou Cathare.

### Description

Ledaflow : ce logiciel est principalement utilisé dans des applications pétrolières. On étudiera le phénomène de severe slugging. A partir d'un article expérimental, il s'agit de retrouver les résultats par la simulation numérique. L'intervention d'une personne de chez Total permettra de mieux cerner les enjeux industriels de ce logiciel.

A la fin de ce cours, l'étudiant.e devrait être capable de :

- Citer les domaines d'application de Ledaflow.
- Illustrer à l'aide d'un exemple les fonctions basiques de Ledaflow.
- Simuler le severe slugging à partir de données expérimentales.
- Classer les résultats expérimentaux d'un article.
- Comparer les résultats expérimentaux et numériques.
- Résumer le travail dans un rapport

Cathare : ce logiciel est principalement utilisé dans des applications nucléaires. On étudiera le phénomène de casse-siphon. A partir d'un article expérimental, il s'agit de retrouver les résultats par la simulation numérique. L'intervention d'une personne de chez EDF permettra de mieux cerner les enjeux industriels de ce logiciel. A la fin de ce cours, l'étudiant.e devrait être capable de : · Citer les domaines d'application de Cathare. · Illustrer à l'aide d'un exemple les fonctions basiques de Cathare. · Simuler un casse-siphon à partir de données expérimentales. · Classer les résultats expérimentaux d'un article. · Comparer les résultats expérimentaux et numériques. · Résumer le travail dans un rapport Un rapport d'au moins 10 pages, en rapport avec ces objectifs, devra être rédigé.

### Responsable(s)

LIOT OLIVIER

### Langue d'enseignement

Français ou Anglais

## - Matière Simulation des écoulements industriels (CODC)

### Pré-requis nécessaires

CFD basique et avancée

Notions de transferts en milieux poreux et d'énergétique

### Objectifs

Approfondir la connaissance d'un code de calcul en se mettant dans des situations complexes tant au niveau du maillage que du modèle de turbulence utilisé. La modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

Analyser une situation d'écoulement

Déterminer des conditions aux limites par interprétation de résultats numériques

proposer des modèles de transport adaptés

comparer ses résultats aux prédictions théoriques

### Compétences visées

Mettre en œuvre des outils numériques dans le but de représenter une situation d'écoulements complexes et couplés

Analyser et critiquer des approches choisies

Traiter et comparer des résultats au travers de l'utilisation d'outils de post-traitement adaptés aux attendus de la littérature

#### **Description**

Calcul d'écoulement 2 et 3D dans un mélangeur alimentant un milieu poreux réactif.

#### **Responsable(s)**

DEBENEST GERALD

#### **Méthode d'enseignement**

En présence

#### **Langue d'enseignement**

Français et Anglais

#### **Bibliographie**

Debenest G.; Mourzenko V.V.; Thovert J-F. (2005), Smouldering in fixed beds of oil shale grains: governing parameters and global regimes, Combustion Theory and Modelling, Vol. 2, pp. 301-321

### **- Matière Couplage multiphysique (COMUL)**

#### **Objectifs**

- \* Simuler et analyser de manière approfondie (en lien avec les matières théoriques associées) des configurations de couplage entre hydrodynamique, transferts et réaction sur la base de simulations de type DNS : (i) transfert autour et au sein d'une particule de catalyseur dans un écoulement et (ii) traçage numérique d'un réacteur.
- \* Simplifier ces études par établissement de modèles phénoménologiques 1D utilisés en génie des réacteurs
- \* Mettre en œuvre une simulation multi-échelle sur une configuration de réacteur catalytique à lit fixe sur la base d'un couplage entre ces modèles 1D.

#### **Description**

Mode d'enseignement : bureau d'études en 3 parties.

L'objectif de ce bureau d'études est donc de résoudre à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics les équations régissant l'hydrodynamique, les transferts et la réaction au sein d'un réacteur à lit fixe à une phase fluide. Ce problème est complexe du fait des différents phénomènes mis en jeu et des diverses échelles qu'il recouvre : de l'échelle moléculaire à l'échelle du réacteur. Le génie de la réaction introduit différents concepts pour pouvoir simplifier la description des phénomènes impliqués – parmi lesquels on peut citer le facteur d'efficacité pour corriger la vitesse de réaction par les limitations dues à la diffusion interne et au transfert externe, et le coefficient de dispersion axiale pour corriger l'écart de l'hydrodynamique réelle à l'écoulement piston (modèle d'écoulement de fluide parfait). A l'aide de problèmes décrivant d'abord séparément les échelles du grain de catalyseur et du réacteur avant de réaliser leur couplage, ces différentes notions sont introduites et leur validité discutée par comparaison à des solutions « exactes » résolues à l'aide de l'outil COMSOL.

#### **Programme/Contenu**

- Couplage entre les phénomènes de transport (interne / externe) et la réaction à l'échelle d'une particule de catalyseur : simulation 2D axi « exacte » et détermination des processus limitants ; comparaison du facteur d'efficacité global résultant aux expressions simplifiées issues du génie de la réaction (modèle 1D diffusion-réaction de particule associé au modèle du film)
- Traçage numérique au sein d'un réacteur tubulaire (vide) en écoulement laminaire : introduction à la dispersion axiale et comparaison des régimes de dispersion de Taylor-Aris et d'écoulement ségrégué ; analyse de la Distribution des Temps de Séjour et détermination du coefficient de dispersion axiale équivalent ; comparaison des prédictions du modèle 1D piston-dispersion avec la solution « exacte » (en régime de Taylor-Aris)
- Couplage multi-échelles (grain de catalyseur / fluide interstitiel) au sein d'un réacteur catalytique à lit fixe.

**Responsable(s)**  
LALANNE BENJAMIN

## - UE MILIEUX REACTIFS

**Responsable(s)**  
BAZILE RUDY

### - Matière Combustion (COMB)

#### Objectifs

Présentation des bases de la combustion à des étudiants connaissant la mécanique des fluides des milieux non réactifs. Aspects théoriques et implications numériques. Températures de flammes, vitesse de flammes laminaires, structure des flammes de diffusion, écoulements réactifs turbulents, instabilités de combustion. Application aux moteurs à piston et aux turbines à gaz.

#### Description

- Introduction à la combustion, rappels, mise à niveau
- Equations de base de la combustion
- La flamme laminaire prémélangée: théorie et codes de calcul
- Les flammes turbulentes prémélangées: modèles, simulations directes
- La flamme de diffusion laminaire: théorie et calcul
- Les flammes turbulentes en diffusion et en prémélange: description physique et modèles pour les codes de calcul
- Interaction flamme paroi, allumage, pollution.
- Les instabilités de combustion

**Responsable(s)**  
POINOT THIERRY

### - Matière BES Moteurs à pistons (BESM)

#### Objectifs

L'objectif de ce BES est de permettre aux étudiants d'aborder plusieurs des multiples problèmes posés par les moteurs à piston et leur conception. Au cours de ce travail, on sera amené à travailler sur les disciplines suivantes: thermodynamique, thermique, mécanique des fluides, acoustique, vibrations, combustion...

#### Description

Le projet comporte deux parties:

A/ Cycle thermodynamique et dimensionnement d'un moteur à piston. Cette partie est commune pour tous les étudiants.

B/ Approfondissement de 1 ou 2 thèmes parmi les sujets suivants:

B1/ Injection directe de carburant

B2/ Refroidissement du moteur

B3/ Dimensionnement des soupapes

#### B4/ Etude de la combustion dans le moteur

Cette seconde partie est laissée au choix des étudiants qui doivent déterminer eux-mêmes l'étude qui les intéresse le plus. En fonction de l'avancement de cette étude, les enseignants pourront décider soit d'aller plus avant dans une seule des études de type B ou au contraire de mener deux études de type B qui dans certains cas se complètent.

**Responsable(s)**  
BAZILE RUDY

## - UE TRANSITION ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

### - Matière Transition énergétique et énergies renouvelables

#### Objectifs

L'objectif de cet enseignement est de présenter un panorama le plus complet possible des enjeux sociétaux, technologiques et environnementaux associés à la transition énergétique et écologique, en incluant les concepts d'analyse de cycle de vie, de sobriété énergétique, de numérique responsable, de géo-ingénierie ainsi que l'état de l'art des technologies de production et de stockage d'énergies (renouvelables solaire, éolien, marin, power to gas, biomasse, biocarburants, géothermie, etc)

#### Description

- Les enjeux de la transition énergétique et écologique (6 x 1h45)

Mots-clés : transition énergétique, changement climatique, ressources globales, analyse de cycle de vie

Intervenants : Stéphane Amant (Carbone 4) : 1 séance François Xavier Dugripon : 4 séances

- Mobilité (1 x 1h45) Mots-clés : transports (voitures, avion, etc) Intervenant : Stéphane Amant (Carbone 4)

-Analyse de cycle de vie : application à l'aéronautique (1 x 1h45) Mots-clés : analyse de cycle de vie

Intervenant : Laure Couteau (Airbus)

- Sobriété énergétique (1 x 1h45)

Mots-clés : projet NégaWatt

Intervenant : Paul Neau (Solagro / Asso. NégaWatt / Abies)

- Numérique responsable (1 x 1h45)

Mots-clés : analyse de cycle de vie, impact environnemental, data center, responsabilité sociétales des entreprises

Intervenant : Emmanuel Laroche (Airbus)

- Géo-ingénierie (1 x 1h45)

Mots-clés : ingénierie à l'échelle de la Terre, actions sur le cycle du carbone, le rayonnement solaire

Intervenant : Paul Duru (IMFT)

- Osmose – blue energy (1 x 1h45) Mots-clés : génération d'électricité par des procédés utilisant des processus osmotiques  
Intervenant : Olivier Liot (IMFT)

- Eolien (2 x 1h45)

Mots-clés : éolien terrestre + off-shore Intervenant : Paul Neau (Solagro / Asso. NégaWatt / Abies)

- Solaire photovoltaïque (2 x 1h45)

Mots-clés : panneaux solaires, stockage Intervenant : Henri Schneider (Laplace)

- Hydro-électricité (2 x 1h45) Mots-clés : barrages, turbines, STEP Intervenant : Lionel Dumond (EDF)

- Vagues, courants, houles (1 x 1h45)

Mots-clés : récupération d'énergie par les vagues, hydroliennes, systèmes houle-moteur Intervenant : Jérôme Mougel (IMFT)  
2 / 2

- Solaire concentré (1 x 1h45) Mots-clés : four solaire, concentrateur de chaleur Intervenant : Gilles Flamant (PROMES)

- Biomasse, biogaz, bio-carburant (3 x 1h45)

Mots-clés : traitement thermique haute température, biomasse, biogaz, bio-carburant Intervenant : Mehdi Hemati (LGC) : 2 séances  
Marion Alliet (LGC) : 1 séance

- Stockage d'énergie, power to gas (2 x 1h45) Mots-clés : stockage d'énergie électrique ou autre, procédés Power to Gas  
Intervenant : Amine Jaafar (Laplace)

- Géothermie (2 x 1h45)

Mots-clés : récupération d'énergie/chaleur par géo-thermie

Intervenant : Olivier Liot (IMFT)

- Nucléaire (2 x 1h45)

Mots-clés : technologies actuelles, uranium vs thorium, fission vs fusion

Intervenant : Daniel Caruge, Bernard Boullis (CEA)

**Volume horaire**

30x1h45

**Responsable(s)**

BONOMETTI THOMAS

**- UE SOFT AND HUMAN SKILLS****Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA

**- Matière Professional English-LV1-Semestre 9****Responsable(s)**

DENNIS CHLOE

TAYLOR KAY

**- Matière Anglais Scientifique****Responsable(s)**

TAYLOR KAY

**- Choix 2 Anglais Professionnel - 3A**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Anglais Clinique****Responsable(s)**

TAYLOR KAY

**- Matière Anglais de Cambridge ou Projet****Responsable(s)**

TAYLOR KAY

**- Matière Bureau d'Etudes Industrielles (BEI/BEE)/Conférence****Objectifs**

Travail sur un problème appliqué provenant du monde industriel. Les sujets sont proposés par nos partenaires industriels et couvrent un très vaste champ d'applications en énergétique et procédé. Par exemple, Aérodynamique (avion et auto), domaine spatial (refroidissement des satellites), domaine pétrolier (hydraulique et gisement), génie des procédés (réacteurs, colonnes à bulles), transformation de l'énergie (combustion, changement de phase), hydraulique environnemental (ouvrages et aménagement du territoire) ...

Mise en application des connaissances acquises durant la formation sur un problème concret. Apprentissage en général d'un code de calcul industriel pour répondre à l'étude et/ou développement de petits codes permettant de résoudre la modélisation appropriée pour l'étude.



Travail en équipe de 2 ou 3 étudiants sous la responsabilité d'un tuteur pédagogique.

#### **Description**

- Analyse du sujet et définition des objectifs et du cahier des charges en partenariat avec l'industriel
- Etude de la compréhension locale de la physique impliquée dans le problème. L'objectif est en général soit une description fine de phénomènes locaux ou soit un dimensionnement global d'un système avec bien souvent une interaction forte entre les deux.
- La progression du travail est laissée à l'initiative des élèves qui s'appuient sur les enseignants permanents ainsi que sur les contacts industriels qui peuvent être invités pour un séminaire.
- Présentation intermédiaire à mi-parcours faisant état de l'avancement du travail.
- Rédaction d'un rapport sur support html et soutenance finale en anglais devant un jury avec partenaires les industriels invités.

#### **Responsable(s)**

BERNAL Olivier  
olivier.bernal@enseeiht.fr  
Tel. 2553

POIRIER Jean-rene  
Jean-Rene.Poirier@enseeiht.fr  
Tel. 2381

NADAL Clement  
clement.nadal@enseeiht.fr  
Tel. 0561638876

CAUX Stephane  
Stephane.Caux@enseeiht.fr  
Tel. 2362

CAUX STEPHANE  
POIRIER JEAN RENE  
ERMONT JEROME  
BERNAL OLIVIER  
NADAL CLEMENT

#### **Langue d'enseignement**

Français ou Anglais

### **- EIp à choix SHS-S9**

A choix: 1 Parmi 1 :

#### **- Matière Careers, Leadership & Management-S9**

##### **Responsable(s)**

HULL ALEXANDRA  
CAUX STEPHANE  
POIRIER JEAN RENE  
BERNAL OLIVIER

#### **- Matière Conduite d'opération en hydraulique (MF2E)**

##### **Objectifs**

Donner aux futurs ingénieurs les notions et les outils leur permettant d'être opérationnels dans la conduite de projets, ici appliqués à l'ingénierie hydraulique

##### **Description**

- « Maître d'oeuvre, d'ouvrage & entreprise »

Rôle de chaque intervenant. Dossiers réglementaires : dossier d'autorisation, nomenclature loi sur l'eau, relation avec les services de l'Administration (DREAL, DDT, AFB ...). Calendrier d'opération.

- « Les missions normalisées du maître d'oeuvre »

APS, AVP, PRO, DCE, VISA, DET, OPR.

- « Consultation des entreprises »

Constitution des pièces techniques pour consultation (CCTP, BP, DQE). Présentation des référentiels techniques (Eurocodes, fascicules, normes, GTR).

**Volume horaire**

11.25 h

**Responsable(s)**

LAUVERGNIER FRANCOIS

## - Matière Controverses dans un monde en transition (MF2E)

### Objectifs

Aider à appréhender et à communiquer vis-à-vis des sujets de société et des controverses

### Description

Séance 1 : « définition du sujet »

Définition le sujet et du rendu-final. Travail en autonomie des étudiants en vue du rendu final. Rendez-vous ponctuels pour interagir avec l'équipe référente possibles.

Séance 2 : « recherche documentaire » (Isabelle Perez, biblioN7)

Quels outils les étudiants ont-ils utilisé pour se documenter sur le sujet retenu, comment ? quel recul par rapport aux documents trouvés ? D'où émanent-ils ? Sont-ils dignes de confiance ?

Séances 3 et 4 : « la controverse » (François Purseigle, Antoine Doré, Geneviève Nguyen, ENSAT)

Qu'est-ce qu'un sujet « controversé » ? comment les controverses articulant sciences / technologies / société / innovation naissent-elles ? notions d'incertitude, de trajectoire d'une controverse. Elargissement possible vers des considérations économiques / développement durable, etc.

Séance 5 : « témoignages d'ingénieurs en fonction confrontés à la problématique étudiée » (intervenants extérieurs)

Témoignages et échanges organisés par les étudiants.

**Responsable(s)**

DURU PAUL

## - Matière RSE (MF2E)

### Objectifs

- Présenter la responsabilité sociétale des entreprises : définitions concept de développement durable (DD) et mise en œuvre grâce aux lignes directrices de la norme 26000

- Travaux Dirigés sur le rapport RSE d'une entreprise afin d'identifier les enjeux de DD pris en compte par l'entreprise choisie et la cohérence par rapport aux impacts potentiels de l'entreprise

**Responsable(s)**  
DEBENEST GERALD

### **- Matière IT and Computer Law (SN)**

**Responsable(s)**  
MAURAN PHILIPPE

### **- Matière Strategic and Critical Thinking (SN)**

**Responsable(s)**  
MAURAN PHILIPPE

### **- Matière CV Entretiens(3EA)**

#### **Objectifs**

Ils consistent à accompagner les étudiants pour les aider à :

- rédiger des écrits professionnels, CV et lettre de motivation, en utilisant les particularités des formats papier ou électronique, et de la communication synchrone et asynchrone et en répondant aux demandes des entreprises.
- développer les qualités en communication écrite et orale : réussir les entretiens de recrutement, maîtriser d'une façon harmonieuse les relations professionnelles (interculturalité, relations hiérarchiques, team building),
- convaincre et persuader lors d'entretiens de recrutement et jusqu'à la signature du contrat de travail,
- finaliser et optimiser le P.P.P (Projet Professionnel Personnel).

#### **Compétences visées**

l'étudiant sera capable :

- de rédiger un CV et une lettre de motivation adaptée à la demande des entreprises,
- de convaincre lors d'un entretien de recrutement, lors de la négociation du contrat de travail et du salaire,
- d'intégrer des stratégies de recrutement, comprendre la demande des entreprises,
- de faire un travail sur soi, aller dans le sens de l'excellence et des exigences des entreprises.

#### **Description**

- analyser et synthétiser efficacement de façon à mieux communiquer oralement et à l'écrit, à propos de thèmes suivants : réussir son entretien de recrutement en présentiel en distanciel, les speed net working, le marché de l'emploi, le développement des starts up les codes du recrutement, point sur les outils du recrutement, utilisation de LINKEDIN, négocier son contrat de travail, son salaire, l'intérêt de l'expatriation...
- apprendre à mieux se connaître (ses points faibles et ses points forts) afin de mieux communiquer.

#### **METHODE**

- apports théoriques, «Communication écrite, orale», et «Bien démarrer sa vie professionnelle»

- mise en situation, avec la présentation orale (diaporama) et écrite d'un sujet en lien avec le recrutement,
- connaissance de soi, pédagogie inversée, développement du leadership, accompagnement adapté.

#### **EVALUATION DES ETUDIANTS**

Elle portera sur la réalisation d'exercices concernant : la rédaction d'un CV et d'une lettre de motivation efficaces, des simulations d'entretiens de recrutement, des présentations écrites et orales à propos des thèmes précisés ci-dessus.

#### **ORGANISATION DES COURS**

Les cours « Insertion professionnelle » s'organisent ainsi, il y a un décloisonnement des enseignements, ils sont orientés vers la recherche de stage/emploi et la communication :

- des forums du recrutement et des carrières sont proposés,
- les cours et TD sont donnés durant le semestre 1 de l'année universitaire (bac +5), soit 8 heures.

Ce calendrier est ponctué d'échanges par e-mail et en face à face avec l'enseignante, en fonction des besoins de l'étudiants.

**Responsable(s)**  
ESTADIEU GENEVIEVE

#### **Bibliographie**

- Méthodes de recrutement, Frédéric BONTE, Yann BUSTOS, Vuibert 2014
- Comment le web change le monde F. PISANI, D. PIOLET, Ed. Pearson 2011.
- Progresser en communication, M. L. FOUGIER, M. ROCCA, G. SEBASTIEN, Ed. PUG 2007.
- Trouver facilement un stage, un premier emploi, Romy SAUVAYRE, l'Etudiant Editions 2021.

#### **- Matière Recherche doc.(3EA)**

**Responsable(s)**  
PERES YOLANDE

#### **- Matière Innovation-Entreprenariat-S9**

**Responsable(s)**  
HULL ALEXANDRA

#### **- Sem 9 3EA Parcours Eco-Energie (EE)**

**Responsable(s)**  
SCHNEIDER HENRI

## **- UE CONCEPTION SYSTEMIQUE**

**Responsable(s)**  
AZZARO-PANTEL CATHERINE

### **- Matière Modélisation systémique en Bond Graph**

#### **Pré-requis nécessaires**

Connaissance de base des systèmes physiques.

#### **Objectifs**

A la fin du cours, l'étudiant maîtrise le formalisme Bond Graph en connaissant les différents éléments de base et les règles de connexion de ces éléments.

Il sera capable d'analyser les différents couplages dans un système en identifiant les boucles causales du système.

L'étudiant sera également capable de déterminer la fonction du transfert du système à partir du modèle Bond Graph établi.

#### **Description**

Le cours consiste à introduire l'approche de modélisation par l'outil Bond Graph. Il s'agit d'une approche multi-physique permettant de modéliser, sous le même langage, différents phénomènes physiques et de prendre en compte les divers couplages entre les composants d'un système. Cette approche est appliquée dans ce cours à différents exemples de systèmes multi-flux et multi-physiques.

Le cours est complété par un bureau d'étude qui consiste à modéliser un actionneur électro-hydrostatique (EHA) d'un avion A320 par l'approche Bond Graph et à remplacer la source d'alimentation de cet EHA par une pile à combustible hybridée par des super condensateurs.

**Responsable(s)**  
JAAFAR AMINE

### **- Matière Ecoconception et ACV**

#### **Compétences visées**

- Comprendre la démarche d'une analyse de cycle de vie ;
- Connaître les bases de données et les méthodes existantes ;
- Etre capable d'analyser et de critiquer une analyse de cycle de vie déjà réalisée .
- Etre en mesure d'appliquer la méthode d'analyse de cycle de vie.

#### **Description**

Introduction : de l'écobilan à l'ACV, les normes ISO 14040

- Principe Général de l'ACV
- Présentation des quatre étapes de l'ACV :

1-Définition des objectifs du système :

Objectif et champ de l'étude ;

Fonction du produit ou du système ;

Unité fonctionnelle et flux de références ;

Arbre des processus ;

Exemples d'application ;

2- Inventaire des émissions et extractions

Base de données d'inventaire (ex. EcolInvent...)

Exemple d'inventaire des extractions et émissions (fabrication d'alumine ...)

Méthode de calcul de l'inventaire des extractions et émissions

Bilan énergétique et bilan de CO2

3- Analyse de l'impact environnemental

Méthode d'interprétation des données d'inventaire

Caractérisation intermédiaire : calcul du score d'impact intermédiaire

Caractérisation des dommages : calcul du score de caractérisation de dommages

4- Interprétation

- Méthodologie de réalisation d'une ACV : Approche itérative (Evaluation préliminaire ou screening, Analyse détaillée), calcul « à la main », présentation sommaire des logiciels de calculs existants.

#### **Programme et contenu du Bureau d'étude :**

- \* Réalisation d'une analyse de cycle de vie de panneaux solaires photovoltaïques, utilisation du logiciel SimaPro

Présentation des résultats sous forme de rapport et d'exposé oral

#### **Responsable(s)**

AZZARO-PANTEL CATHERINE

#### **Bibliographie**

Analyse du cycle de vie : Comprendre et réaliser un écobilan, Olivier Jolliet, Myriam Saadé, Pierre Crettaz, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes

### **- Matière Optimisation de procédés et systèmes énergétiques**

#### **Responsable(s)**

AZZARO-PANTEL CATHERINE

## - Matière Hybridation Energétique des systèmes

### Objectifs

A la fin du cours, l'étudiant connaît les architectures des systèmes hybrides et les caractéristiques énergie/puissance des sources et des éléments de stockage de l'énergie.

Il sera capable d'analyser la mission d'un système énergétique, de juger sur la pertinence de son hybridation et de concevoir et dimensionner un système hybride.

L'étudiant sera également capable de proposer une stratégie de gestion d'énergie d'un système énergétique multi-sources en respectant les caractéristiques intrinsèques des sources associées.

At the end of the course, the student will be able to identify the architectures of the hybrid systems and to know the energy/power characteristics of some sources and energy storage elements.

He will be able to analyze the mission of an energy system, to evaluate the relevance of its hybridization and to design a hybrid system.

The student will also be able to propose an energy management strategy of a multi-source energy system by respecting the intrinsic characteristics of the associated sources.

### Description

En plus des théories relatives à l'hybridation et à la gestion d'énergie des systèmes multi-sources, le cours est basé sur plusieurs exemples de systèmes énergétiques hybrides issus du retour d'expérience du laboratoire Laplace dans ce domaine de recherche. Ces exemples concernent en particulier le domaine de transport (l'aéronautique, le ferroviaire et le routier).

In addition to the hybridization theory and the energy management of multi-source systems, the course is based on several examples of hybrid energy systems from the Laplace laboratory experience feedback. These examples relate in particular to the transport field (aeronautics, rail and road).

### Responsable(s)

JAAFAR AMINE

### Bibliographie

[1] Akli C.R., Conception systémique d'une locomotive hybride autonome, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2008.

[2] Bosch, Automotive Handbook, 6<sup>ème</sup> édition, Bentley Publishers, 2004.

[3] Jaafar A., Akli C.R., Sareni B., Roboam X., Jeunesse A., « Sizing and Energy Management of a Hybrid Locomotive Based on Flywheel and Accumulators », *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol 58, n° 8, october 2009.

[4] Duf-Lopez R., Bernal-Agustin J.L., « Multi-objective design of PV-wind-diesel-hydrogen-battery systems », *Renewable Energy*, p. 2559-2572, april, 2008.

## - UE SMART-GRIDS, STOCKAGE ET VECTEUR HYDROGENE

### Responsable(s)

SCHNEIDER HENRI

## - Matière Réseaux Electriques décentralisés, embarqués

### Pré-requis nécessaires

Circuits électriques de base et bilans de puissance.

Fonctionnement des machines électriques

### Objectifs

Connaître les enjeux clés permettant de choisir l'architecture et dimensionner un réseau électrique embarqué par rapport à un cahier des charges.

### Description

À l'issue de ce module, les étudiants connaîtront les éléments à prendre en compte lors du dimensionnement d'un réseau embarqué, comme les problématiques de qualité et stabilité, l'apport de l'hybridation, la sécurité et la fiabilité et la CEM.

### Responsable(s)

ROUX NICOLAS

## - Matière Electrochimie

### Compétences visées

Acquérir les bases de l'énergétique et de la cinétique électrochimique

Comprendre le fonctionnement des générateurs électrochimiques

### Description

\* Introduction : Grandeurs mesurables dans une chaîne électrochimique. Deux siècles de développement de l'électrochimie.

\* Les chaînes électrochimiques à l'équilibre. Force électromotrice. Potentiel d'électrode. Loi de Nernst. Générateurs primaires, secondaires, piles à combustible. Capacité, rendement.

\* Les chaînes électrochimiques traversées par un courant : Transfert électronique hétérogène. Couplage du transfert électronique hétérogène et des phénomènes de transport en solution. Les divers régimes cinétiques. Loi de Butler-Volmer. Intensité limite.

· Applications à la mise au point de procédés électrochimiques de synthèse. Applications à la corrosion. Applications à l'étude du fonctionnement des générateurs (charge, décharge).

· Aperçu sur les diverses méthodes électrochimiques. Potentiostat.

### Responsable(s)

VERGNES HUGUES

### Bibliographie

## - Matière Smartgrids (EE)

### Pré-requis nécessaires

ce cours se veut introductif et requiert seulement des compétences assez générales en termes de réseaux électriques, compétences dispensées en 3<sup>e</sup> année 3EA, en particulier dans les options CERE et Eco Energie.

### Objectifs

ce cours en 4 séances a pour but de sensibiliser les étudiants à l'émergence des réseaux électriques intelligents (smart grids) en les distinguant du fonctionnement actuel des réseaux.

Au regard des réseaux électriques actuels, le concept de "smart grids", leurs caractéristiques et principaux verrous sont introduits. Les notions de "services systèmes/services au réseau" (contribution aux réserves de fréquence/tension, ajustement/effacement, autoconsommation,...) sont présentées. De même, sont décrits les nouveaux degrés de libertés (stockage, mobilité électrique massive, prédictions de production et consommation, compteur communicant,... pour un ajustement de la consommation,...) permettant une "gestion intelligente des réseaux électriques". Le coût pour l'utilisateur de ces nouveaux concepts étant essentiel, un aperçu des mécanismes de marché et des éléments de modèles économiques (investissement, opération) permettront à l'étudiant de faire un lien "technico économique entre performance énergétique et impact économique. Enfin, quelques exemples de smart grids, et l'exemple détaillé de l'autoconsommation dans un éco quartier permettra de mettre ces concepts en évidence de façon plus concrète.



### **Description**

les réseaux électriques intelligents plus communément nommés "smart grids" se situent pleinement dans le contexte de la transition énergétique. L'électrification massive constitue une voie privilégiée vers la nécessaire décarbonation du paysage. Après la mécanisation et l'informatique (internet), les smart grids sont considérés comme la 3eme révolution industrielle, de par le fait qu'ils constituent le maillon essentiel pour favoriser l'équilibrage production consommation d'électricité qui deviendra de plus en plus précaire au fur et à mesure de l'intégration massive d'énergies renouvelables intermittentes (solaire, éolien). Les smart grids se définissent par l'idée d'intégrer infrastructure électrique (énergie) les Technologies de l'Information et de la Communication, ceci afin d'apporter la flexibilité nécessaire pour résoudre ce problème d'équilibrage de puissance dans des conditions fiables (résilientes aux défauts, cyberattaques,...) et pour un cout acceptable par les consommateurs.

**Responsable(s)**  
ROBOAM XAVIER

### **- Matière Chaîne logistique de l'hydrogène**

**Responsable(s)**  
AZZARO-PANTEL CATHERINE

### **- Matière Production de l'hydrogène**

**Responsable(s)**  
SCHNEIDER HENRI

### **- Matière Stockage de l'hydrogène**

**Responsable(s)**  
TORRE JEAN PHILIPPE

### **- Matière Piles à combustibles et applications de l'hydrogène**

## **- UE ENERGIES RENOUVELABLES**

**Responsable(s)**  
ALLIET MARION  
SCHNEIDER HENRI

### **- Matière Systèmes Eoliens**

#### **Pré-requis nécessaires**

Connaissances de bases nécessaires en physique énergétique (notions énergie/puissance), notions élémentaires en électricité et en conversion électromécanique (notions élémentaires sur la génération électrique).

#### **Objectifs**

Ce cours en 4 à 5 séances introduit les principaux tenants et concepts inhérents à la conversion d'énergie éolienne en électricité, passant par les principaux constituants des aérogénérateurs jusqu'aux architectures constituant l'éolien moderne sur terre ou en mer. Le contenu du cours inclut : Historique, contexte, marchés de l'aérogénération électrique éolienne. Principaux acteurs du marché ; éléments de développement et de frein à l'expansion de la filière. Eléments de coûts et de développement d'un parc éolien.

- \* Caractérisation de la ressource éolienne (le vent), effets d'altitude et de sillage, éléments théoriques (limite de Betz) sur le productible éolien et sur l'efficacité énergétique des aérogénérateurs ; du contrôle mécanique par réglage des pâles aux zones de fonctionnement du démarrage à l'arrêt en sécurité.
- \* Constitution des aérogénérateurs électriques : nacelles avec et sans multiplicateur de vitesse ;
- \* éléments de conception des chaînes éoliennes selon leur taille et leur technologie ;
- \* Analyse transitoire et réglage stable du point de fonctionnement dans le plan couple vitesse ;
- \* Principales architectures de conversion de puissance des chaînes asynchrones et synchrones respectivement avec et sans multiplicateur, avec et sans électronique de puissance ; Eléments de réglage des puissances actives et réactives dans ces chaînes d'énergie.

## - Matière Systèmes à Biocombustibles

### Pré-requis nécessaires

Connaissances scientifiques basiques : savoir interpréter un graphique, manipuler des ordres de grandeur, comprendre des grandeurs tel qu'un rendement ou un bilan, notions en procédés, recherche bibliographique, ...

### Compétences visées

Connaitre les différents biocarburants et leur filière de fabrication

Connaitre l'état des lieux de la filière

Comprendre, à travers plusieurs exemples, comment la recherche et l'innovation peuvent apporter des solutions pour renforcer l'intérêt des filières biocarburants

Recherche bibliographie

Capacités de synthèse, discrimination

Présentation orale et capacité de persuasion

### Description

#### Introduction sur les biocarburants :

- \* Définition, les grandes familles, classification et Propriétés
- \* Situation Mondiale, Européenne, Française
- \* Bilans Environnementaux et Economique Législation et ouverture sur l'emploi

#### Filière bioéthanol 1<sup>ère</sup> génération:

- Propriétés et utilisations de l'éthanol carburant
- Procédé de production par filière : Schéma général, fermentation, préparation des matières premières, séparation de l'éthanol, perspectives d'amélioration
- Bilans énergétique et environnemental
- Développement de la filière (France, Europe, Monde)

#### Le biodiesel :

- Données générales : Physico-chimie, normes, rappel sur les production mondiales et européennes, sites de productions
  - les matières premières et leur préparation.
- Chimie et procédés, catalyse basique (Lurgi), hétérogène (EsterFIP), ouverture vers procédé HVO

#### **Le biogaz :**

- Généralités et Production : Biogaz, GNV, Biogaz-carburant
- Transformations biologiques et Procédés
- Bilans environnementaux et économique en comparaison des autres utilisations

#### **Les systèmes énergétiques biocatalysés: biopiles et électrolyseurs microbiens**

- \* Contexte historique : de la recherche à la réalité économique pour des marchés de niche
- \* Deux familles de biopiles:
  - \* Les piles microbiennes
  - \* Les piles enzymatiques
- \* Production d'hydrogène par électrolyse microbienne

#### **Le rôle de la recherche dans la production et l'utilisation du bioéthanol et du biodiesel, en relation avec les aspects énergétiques et environnementaux**

- \* Introduction sur les enjeux des filières biocarburants
- \* Le rôle de la recherche pour la production de bioéthanol
  
- \* Les biocarburants « deuxième génération »
- \* Innovation dans le domaine des procédés de production
- \* Concept de bioraffineries
  
- \* Le rôle de la recherche pour la production de biodiesel
  
- \* Innovation en matière de raffinage et de transformation des huiles végétales
- \* Diversification des matières premières
- \* Adéquation entre motorisation et carburants oxygénés
  
- \* Bilans énergétiques et environnementaux

#### **Responsable(s)**

ALLIET MARION

#### **Bibliographie**

- \* Le baromètre des biocarburants (mise à jour presque tous les ans), publié par l'observatoire des Energie Renouvelables Obser'ER.
  
- \* Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels, Second Edition, edited by
  - \* Ashok Pandey, Christian Larroche, Claude-Gilles Dussap, Academic Press, 2019

Moletta, René. *La méthanisation*. 3e éd. Paris: Lavoisier-Médecine sciences, 2015.

## **- Matière Valorisation Biomasse Haute Température**

**Responsable(s)**  
ALLIET MARION

## **- Matière APP Photovoltaïque**

### **Compétences visées**

Connaître le principe de valorisation de l'énergie solaire photovoltaïque en relation avec le gisement, la conversion PV et les systèmes PV.

Savoir concevoir et dimensionner une installation PV pour un cahier des charges donné.

Connaître les modalités de calcul des indicateurs économiques et positionner les solutions dans le contexte français CRE (Commission de Régulation de l'Energie)

### **Description**

I L'énergie solaire : contexte et généralités

II La conversion photovoltaïque :

Le rayonnement dans l'espace, sur Terre, masse atmosphérique

Principes physiques, cellule à jonction PN, caractéristique, influence éclairément et T

Matériaux et technologies des cellules photovoltaïques

III De la cellule au générateur photovoltaïque, modularité

Associations de cellules, mise en série, en parallèle, déséquilibres et protections

Modélisation, simulation, commande MPPT

IV Systèmes photovoltaïques

Problématique, architectures, gestion de l'énergie (raccordé, isolé, stockage, ...)

Production énergétique, gisement solaire, caractérisation, dimensionnement, ACV

Systèmes raccordés au réseau

Systèmes autonomes non raccordés

V Calculs économiques : taux d'actualisation, inflation, TRI, LCOE, ...

Les mécanismes d'aides : tarifs de rachat, compléments de rémunération.

**Responsable(s)**  
SCHNEIDER HENRI

### **Bibliographie**

PHOTOVOLTAICS Fundamentals, technology and practice

Konrad Mertens WILEY Editions ISBN 978-1-118-63416-5

Techniques de l'ingénieur D3935 [Conversion photovoltaïque : du rayonnement solaire à la cellule](#) - Stephan Astier

Techniques de l'ingénieur D3936 [Conversion photovoltaïque : de la cellule aux systèmes](#) - Stephan Astier

**Sites Internet** : EPIA ([www.epia.org](http://www.epia.org)), PV resources ([www.pvresources.com](http://www.pvresources.com)), Observ'ER ([www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org)), INES ([www.institut-solaire.com](http://www.institut-solaire.com))

## **- Matière Installation hydroélectriques de Faible Puissance**

### **Compétences visées**

Connaitre les différents ouvrages et différentes solutions techniques mises en œuvre pour des centrales hydrauliques inférieures à 12 MW

Savoir conduire un prédimensionnement technico-économique d'une petite centrale.

### **Description**

L'hydroélectricité : différents types d'ouvrages

Les barrages, leur classement et leur surveillance

Les différentes turbines et le choix en fonction des caractéristiques de l'ouvrage

L'hydrologie d'un aménagement, les ouvrages de prise d'eau, d'amenée et de restitution, les turbines et la puissance disponible, les impacts environnementaux et leurs mesures de réduction. Réglementation à appliquer.

Organisation et législation de la production hydraulique en France, contrats d'obligation d'achat

Prédimensionnement technico-économique d'une centrale (BE

Visite du site de production EDF Bazacle

### **Responsable(s)**

DUMOND LIONEL

### **Bibliographie**

L'énergie hydraulique - Roger Ginocchio, Pierre Louis Viollet - Collection EDF RetD - Edition TEC et Doc - Lavoisier

Mini-centrales hydroélectriques - Pierre Lavy - EYROLLES Environnement

## **- UE FORMATION GENERALE**

### **- Matière Journée Thématiques Energies et Dev. Durable**

#### **Responsable(s)**

AZZARO-PANTEL CATHERINE

### **- Matière Professional English-LV1-Semestre 9**

#### **Responsable(s)**

DENNIS CHLOE

TAYLOR KAY

**- Matière Anglais Scientifique**

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

**- Choix 2 Anglais Professionnel - 3A**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Matière Anglais Clinique**

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

**- Matière Anglais de Cambridge ou Projet**

**Responsable(s)**  
TAYLOR KAY

**- Choix de Parc. Semestre 10 - 3A MF2E**

A choix: 1 Parmi 1 :

**- Semestre 10 à l'N7-3A-MF2E**

**- UE PFE MF2E avec PL**

**- UE PROJET LONG MF2E**

**- UE PROJET DE FIN D'ETUDE-MF2E**

## Composante

École Nationale Supérieure d'Électrotechnique d'Électronique d'Informatique d'Hydraulique et des Télécommunications