

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ELECTROTECHNIQUE,  
D'ELECTRONIQUE, D'INFORMATIQUE, D'HYDRAULIQUE  
ET DES TELECOMMUNICATIONS

PROGRAMME

FORMATION D'INGENIEURS  
EN HYDRAULIQUE ET MECANIQUE DES FLUIDES

DES

ENSEIGNEMENTS



**PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS DE LA FORMATION  
D'INGENIEURS EN HYDRAULIQUE-MECANIQUE DES  
FLUIDES**

**2007-2008**

---

# INTRODUCTION

## Présentation générale

L'ingénieur en Hydraulique et Mécanique des Fluides de l'ENSEEIH est un généraliste dans les domaines de l'énergie, des transports, des procédés et de l'environnement.

Les enseignements proposés dans un large éventail de disciplines assurent une bonne adaptabilité au monde de l'entreprise, et ce partout dans le monde grâce à une bonne connaissance de l'anglais. Ils bénéficient des dernières avancées de la recherche grâce à une étroite collaboration avec l'Institut de Mécanique des Fluides (IMFT), le plus grand laboratoire de France dans sa spécialité.

## Recrutement, placement et débouchés

Les élèves-ingénieurs en première année de la formation en Mécanique des Fluides sont recrutés, avec un rang élevé, sur concours MPI, MP ou PC dans la proportion d'un quart chacun, le quart restant étant constitué d'admis sur titre (licence) ou d'élèves issus des "Cours Préparatoires Polytechniques" (CPP :prépas intégrées des INP).

Les formations en Hydraulique et Mécanique des Fluides ouvrent vers de nombreux débouchés dans le secteur de la production, du développement ou de la recherche :

- L'énergie : production et transport de l'énergie, industrie pétrolière et gazière, hydroélectricité, industrie nucléaire, combustion, moteurs, échangeurs de chaleur, générateurs de vapeur, changement de phase, systèmes réactifs, turbomachines, pompes, chauffage, réfrigération, industrie pétrolière et gazière, hydroélectricité, industrie nucléaire ;
- Les transports : hydraulique de puissance, mécanique des structures, aérodynamique des véhicules, automobile, aviation, industrie aéronautique, automobile, ferroviaire, spatiale ...
- Les procédés : transformation de la matière, transfert réactif, lits fluidisés, conduite de processus, filtration, réacteurs polyphasiques, pétrochimie, pharmacie, chimie fine, protection de l'environnement ...
- L'aménagement et le génie hydraulique : hydraulique, gestion des ressources en eau, morphologie fluviale et côtière, pollution, transferts dans les sols, hydrologie, sociétés de service (adduction d'eau, traitement, assainissement), génie civil (plates-formes offshore, ouvrages hydrauliques), génie de l'environnement ...

## Compétences et capacités acquises

Les compétences acquises lors de la formation en hydraulique et mécanique des fluides sont très larges et donnent à l'ingénieur la capacité de s'adapter à de nombreux métiers, dans des domaines très variés. Les principales disciplines maîtrisées à l'issue de la formation sont les suivantes :

- les mathématiques de l'ingénieur : équations différentielles, statistiques, probabilité, optimisation appliquée, ...
- la mécanique des milieux continus : rhéologie, mécanique des structures, résistance des matériaux, constructions mécaniques, thermodynamique, ...
- le traitement du signal : métrologie, automatique analogique ou numérique, filtrage, systèmes dynamiques, turbulence, ...
- la simulation numérique : informatique scientifique, programmation en plusieurs langages, maîtrise des plusieurs systèmes d'exploitation, maîtrise et développement de codes de calculs, schémas numériques, modélisation ...
- la mécanique des fluides : hydraulique souterraine, en charge ou à surface libre, aérodynamique compressible, hydrodynamique, fluides diphasiques, hydrologie, ...

- la transformation de l'énergie : combustion, thermohydraulique, échangeurs thermiques, procédés, turbines, neutronique, éolien, ...

## **Programme détaillé des enseignements**

La formation d'ingénieur s'articule en 6 semestres. Les quatre premiers semestres combinent, à part égales, les neuf thèmes suivants : langues et sports, sciences humaines, mathématiques, métrologie et automatisme, calcul scientifique, mécanique des structures, mécanique des fluides, hydraulique, énergétique et procédés.

Les deux derniers semestres permettent une spécialisation dans l'un des domaines suivants : fluides et procédés, énergétique, mécanique des fluides numérique, sciences de l'eau et environnement, génie de l'environnement.

La formation repose, à parts égales, sur les formes pédagogiques suivantes :

- Un tiers de cours magistraux,
- Un tiers de projets regroupant des Travaux Pratiques, des Travaux Dirigés et des Bureaux d'Etudes,
- Un tiers de stages en entreprise ou en laboratoire de recherche pour une durée totale de l'ordre de huit à onze mois.

Environ 40% du programme est réalisé en étroite collaboration avec le secteur industriel, les dix semaines à l'étranger permettant de compléter le tableau.

## Semestre A : les connaissances de base

Ce semestre permet une harmonisation des connaissances à travers l'acquisition des outils de base. Il contient la mécanique des milieux continus, la thermodynamique, les mathématiques et l'informatique qui introduisent de très nombreux autres enseignements. Comme pour les trois semestres suivants, une place importante est donnée aux travaux pratiques, aux projets sur ordinateur et aux "conférences métiers".

<b>SEMESTRE A : les connaissances de base</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Langues et sports (4 ECTS)</b>			
Anglais	14		1,5
Langue vivante II	14		1,5
Activités physiques et sportives	14		1
<b>UE : Formation générale : (3 ECTS)</b>			
Conférences métiers	15		0
Communication écrite et orale I	5	2	1
Organisation et structuration de l'entreprise	10		1
Introduction à la gestion des entreprises I	6		0
<b>UE : Milieu continu (7 ECTS)</b>			
Mécanique des milieux continus	22		3,5
Thermodynamique	22	4	3,5
<b>UE : Mathématiques pour l'ingénieur : (5 ECTS)</b>			
Intégration, transformée de Fourier, distributions	10		2
Probabilités - statistiques	20		3
<b>UE : Calcul scientifique (6 ECTS)</b>			
Informatique appliquée : systèmes, outils, architecture	11		2
Différences finies et analyse des schémas pour les EDP	10		2
Initiation à Matlab	11		2
<b>UE : Outils de la mécanique (6 ECTS)</b>			
Mécanique rationnelle	20		3
EDO/EDP : variable complexe et logiciel MATLAB	11		2
Introduction à l'électrotechnique	4	6	1
<b>Total</b>	<b>370 h</b>	<b>30 h</b>	<b>30 ECTS</b>

TAB. 1 – Semestre A. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

## Semestre B : les premiers pas du mécanicien

Ce semestre renforce l'acquisition de bases comme l'algorithmique ou la métrologie. Les thématiques spécifiques débutent vraiment avec la mécanique des fluides, l'hydraulique en charge et l'élasticité linéaire. Outre les travaux pratiques expérimentaux, l'assimilation de ces matières est complétée par l'utilisation de codes de calcul industriels.

<b>SEMESTRE B : les premiers pas du mécanicien</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Langues et sports (4 ECTS)</b>			
Anglais	14		1,5
Langue vivante II	14		1,5
Activités physiques et sportives	14		1
<b>UE : Formation générale : (3 ECTS)</b>			
Conférences métiers	14		0,5
Communication écrite et orale II	2		0,5
Introduction à la gestion des entreprises II	10		1,5
<b>UE : Mécanique des fluides (6 ECTS)</b>			
Mécanique des fluides	25		4
Expériences numériques laminaires - Code FLUENT	9		2
<b>UE : Hydraulique et métrologie (6 ECTS)</b>			
Hydraulique en charge	19	2	3
Signaux et systèmes	25	6	3
<b>UE : Programmation (6 ECTS)</b>			
Méthodes d'analyse et de programmation : algorithmiques	16		3,5
Initiation au langage de programmation FORTRAN	10		2,5
<b>UE : Mécanique du solide (6 ECTS)</b>			
Elasticité linéaire	20	4	3
Projet de mécanique	7		3
<b>Total</b>	<b>350 h</b>	<b>50 h</b>	<b>30 ECTS</b>

TAB. 2 – Semestre B. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

## Semestre C : la mécanique des fluides

Ce semestre est au coeur de la formation d'ingénieur en mécanique des fluides. Les transferts de masse, de quantité de mouvement et d'énergie sont abordés par plusieurs enseignements où la place des couches limites et de la turbulence est constante. Ces notions sont consolidées par la mise en oeuvre de ces concepts à l'aide de l'outil numérique ou du traitement des signaux expérimentaux.

<b>SEMESTRE C : la mécanique des fluides</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Langues et sports (4 ECTS)</b>			
Anglais et anglais intensif	14		1,5
Langue vivante II	14		1,5
Activités physiques et sportives	14		1
<b>UE : Formation générale : (3 ECTS)</b>			
Conférences métiers et soutenance	14		1
Construction du projet professionnel I		1	1
<b>UE : Mécanique des fluides (4 ECTS)</b>			
Ondes de surface et ressauts	11	2	2
Couches limites, jets et Sillages Laminaires	10	2	2
<b>UE : Turbulence (6 ECTS)</b>			
Mécanique des fluides approfondie et introduction à la turbulence	13		2
Etude des écoulements turbulents	12	2	2
Analyse de Fourier des signaux turbulents	6	4	2
<b>UE : Transferts et applications industrielles (6 ECTS)</b>			
Echanges thermiques et massiques	24	4	4
Expérience numériques en mécanique des fluides - FLUENT et STAR-CD	10		2
<b>UE : Introduction aux spécialisations (8 ECTS)</b>			
Méthodes numériques - Volumes finis	11		2
Contrôle et commandes	14	4	3
Introduction à la Mécanique des Structures			2
Introduction au génie des procédés			1
<b>Total</b>	<b>310 h</b>	<b>40 h</b>	<b>30 ECTS</b>

TAB. 3 – Semestre C. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

## Semestre D : l'hydraulique et autres spécialisations

Ce semestre combine un tronc commun, où l'hydraulique occupe une place importante, et des enseignements optionnels regroupés en trois majeures : calcul scientifique, hydraulique de puissance et mécanique des structures. Deux mineures, totalisant un choix parmi une dizaine d'enseignements, permettent de diversifier plus encore les domaines d'applications.

Environ un tiers de la promotion effectue ce semestre à l'étranger.

<b>SEMESTRE D : l'hydraulique et autres spécialisations</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Langues et sports (4 ECTS)</b>			
Anglais	14		1,5
Langue vivante II	14		1,5
Activités physiques et sportives	14		1
<b>UE : Formation générale : (3 ECTS)</b>			
Conférences métiers	14		0,5
Contexte économique et management	11		0,5
Droit du travail	7		
Construction du projet professionnel II	2	1	0,5
<b>UE : Hydraulique et aérodynamique ( ECTS)</b>			
Hydraulique à surface libre	16	2	3
Ecoulements compressibles	15	4	3
<b>UE : Energétique et transferts (6 ECTS)</b>			
Machines hydrauliques	15		2
Turbomachines à gaz	12		2
Transferts en milieux poreux	10		2
<b>UE : Choix d'une majeure (6 ECTS)</b>			
Hydraulique numérique de l'environnement	53		6
Hydraulique de puissance	53		6
Mécanique des structures	53		6
<b>UE : Stage d'hydrodynamique et mineures (6 ECTS)</b>			
Travaux Pratiques de Longue Durée	16		2
Stage d'hydrodynamique appliquée	20		0
Mineure 1 (aérodynamique, éléments finis, contrôle et canaux, ...)	10		2
Mineure 2 (Banc d'essai hydraulique, génie nucléaire, projet numérique, ...)	10		2
<b>Total</b>	<b>360 h</b>	<b>10 h</b>	<b>30 ECTS</b>

TAB. 4 – Semestre D. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.



## Semestre E :

Le semestre E offre le choix entre cinq options : Fluides et Procédés (FP), Énergétique (ENG), Mécanique des Fluides Numériques (MFN), Sciences de l'Eau et Environnement (SEE) et Génie de l'Environnement (GE). Environ un tiers de la promotion effectue ce semestre à l'étranger.

<b>Option : Fluides et Procédés (FP)</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Enseignements de formation générale (5,5 ECTS)</b>			
Anglais	14		1,5
Développement durable, responsabilité sociale des entreprises, éthique	8		1
Gestion et management de projet	5		1
Entreprenariat	6		1
Conférences	4		1
<b>UE : Pré-requis pour les élèves N7 (2 ECTS)</b>			
Génie de la réaction	7		1
Transfert de matière	7		1
<b>UE : Enseignement fondamentaux (6 ECTS)</b>			
Physique des écoulements turbulents incompressibles	10		1,5
Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires	10		1,5
Écoulements diphasiques	10		1,5
Utilisation des codes de calcul - SATURNE	8		1,5
<b>UE : Phénomènes interfaciaux et fluides complexes (5,5 ECTS)</b>			
Physico-chimie des interfaces et colloïdes	10		1,5
Coalescence, rupture et agrégation	10		1,5
Rhéologie des fluides complexes	6		1,5
Technique de séparation des suspensions solide-liquide	10		1,5
<b>UE : Milieux hétérogènes et multiphasiques (5,5 ECTS)</b>			
Écoulements gaz-particules	10		1,5
Milieux granulaires	10		1,5
Transferts en milieu poreux	10		1,5
Transport et dispersion turbulente	6		1,5
<b>UE : Transferts et réacteurs (5,5 ECTS)</b>			
Transferts et réactions en milieux turbulents	10		1,5
Écoulements diphasiques avec changement de phase	10		1,5
Traitement des eaux : eaux potables et eaux usées	10		1,5
Agitation - Mélange	6		0,5
Écoulements et transferts - COMSOL	6		0,5
<b>Total</b>	<b>404 h</b>		<b>30 ECTS</b>

TAB. 5 – Semestre E. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

<b>Option : Energétique (ENG)</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Enseignements de formation générale (6,5 ECTS)</b>			
Anglais	14		1,5
Soutenance de stage			1
Développement durable, responsabilité sociale des entreprises, éthique	8		1
Gestion et management de projet	5		1
Entreprenariat	6		1
Conférences	4		1
<b>UE : Enseignement fondamentaux (6 ECTS)</b>			
Physique des écoulements turbulents incompressibles	10		1,5
Modèles de turbulence à grand nombre de Reynolds	10		1,5
Transferts en milieu poreux	10		1,5
Ecoulements diphasiques	10		1,5
<b>UE : Aérodynamique et combustion (6 ECTS)</b>			
Aérodynamique	14		1,5
Combustion	10		1,5
Flammes et foyers	14		1,5
Ecoulements gaz-particules	10		1,5
<b>UE : Transformation de l'énergie (4,5 ECTS)</b>			
Machines thermiques	10		1,5
Hydraulique diphasique	10		1,5
Ecoulements diphasiques avec changement de phase	10		1,5
<b>UE : Simulations numériques (4 ECTS)</b>			
Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires	10		1,5
Simulation numérique directe et simulation des grandes échelle	10		1,5
Utilisation des codes de calcul	8		1
<b>UE : Mécanique des Fluides industrielle (3 ECTS)</b>			
Thermodynamique des machines	10		1
BES Moteurs à pistons	20		1
Milieux poreux (applications industrielles)	10		1
<b>Total</b>	<b>410 h</b>		<b>30 ECTS</b>

TAB. 6 – Semestre E. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

<b>Option : Mécanique des Fluides Numérique (MFN)</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Enseignements de formation générale (6,5 ECTS)</b>			
Anglais	14		1,5
Soutenance de stage			1
Développement durable, responsabilité sociale des entreprises, éthique	8		1
Gestion et management de projet	5		1
Entreprenariat	6		1
Conférences	4		1
<b>UE : Module optionnel (8 ECTS )</b>			
<b>UE : Mécanique des fluides pour l'énergétique ( 8 ECTS )</b>			
Combustion	10		1,5
Ecoulements diphasiques	10		1,5
Méthodes numériques et Interfaces	10		1,5
Ecoulements gaz-particules	10		1,5
Utilisation des codes de calcul - SATURNE	12		2
<b>UE : Mécanique des fluides pour l'environnement ( 8 ECTS )</b>			
Couche limite atmosphérique	10		1,5
Hydrodynamique littorale et côtière	10		1,5
Transport et mélange	10		1,5
Transport sédimentaire et morphodynamique	10		1,5
BES Ecoulements à surface libre	16		2
<b>UE : Modélisation et simulation des écoulements turbulentes (4,5 ECTS)</b>			
Physique des écoulements turbulents incompressibles	10		1,5
Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires	10		1,5
Simulation numérique directe et simulation des grandes échelles	10		1,5
<b>UE : Méthodes numériques pour les écoulements (7 ECTS)</b>			
Méthodes numériques pour la simulation des écoulements incompressibles	10		1,5
Méthodes numériques pour la simulation des écoulements compressibles	10		1,5
BES Ecoulements Incompressibles	10		2
BES Schémas et conditions aux limites	10		2
<b>UE : Calcul scientifique intensif (2,5 ECTS)</b>			
Calcul parallèle	10		1
Informatique pour le calcul scientifique	10		1
BES maîtrise des codes industriels	12		2
<b>Total</b>	<b>390 h</b>		<b>30 ECTS</b>

TAB. 7 – Semestre E. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

<b>Option : Sciences de l'Eau de l'Environnement (SEE)</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Enseignements de formation générale (6,5 ECTS)</b>			
Anglais			1,5
Soutenance de stage			1
Développement durable, responsabilité sociale des entreprises, éthique	8		1
Gestion et management de projet	5		1
Entreprenariat	6		1
Conférences	4		1
<b>UE : Ecoulements environnementaux (9 ECTS )</b>			
Couche limite atmosphérique	10		1,5
Hydrodynamique littorale et côtière	10		1,5
Transport et mélange	10		1,5
Transport sédimentaire et morphodynamique	10		1,5
Aérosols	10		1,5
Code de calcul en environnement	10		1,5
<b>UE : Hydrologie (7,5 ECTS )</b>			
Cycle de l'eau et bassins versants	10		1,5
Hydrologie souterraine	12		1,5
Hydrologie statistique	10		1,5
Hydrologie des transferts	11		1,5
BES Ecoulements à surface libre	16		1,5
<b>UE : Ingénierie de l'aménagement (7 ECTS )</b>			
Mécanique des sols	8		1
Ingénierie des ouvrages hydrauliques	11		1
Mécanique des Structures	10		1
Impacts des aménagements hydrauliques sur l'environnement	4		1
Téledétection	6		1
Système d'information géographique	6		1
Risques et prévention	6		1
<b>Total</b>	<b>380 h</b>		<b>30 ECTS</b>

TAB. 8 – Semestre E. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

<b>Option : Génie de l'Environnement (GE)</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Sciences humaines, sociales et juridiques (6 ECTS)</b>			
Anglais			1,5
Soutenance de stage			1
Droit, sociologie et économie de l'environnement	8		1,5
Système de management environnemental et risques	5		1
Activités Physiques et Sportives	14		1
<b>UE : Harmonisation pour les ENSEEIHT (3 ECTS)</b>			
Chimie des solutions	15		1,5
Agro-écosystèmes	15		1,5
<b>UE : Fonctionnement et analyse du milieu naturel ( 5,5 ECTS )</b>			
Cycle de l'eau et bassins versants	10		1,5
Physico-chimie des eaux	10		1,5
Transport réactif	10		1,5
Pollution atmosphérique	5		1
<b>UE : Ingénierie et traitement des eaux (6 ECTS )</b>			
Traitement des eaux : eaux potables et eaux usées	10		1,5
L'eau en milieu urbain	10		1,5
Ingénierie des procédés propres	10		1,5
Procédés de dépollution	10		1,5
<b>UE : Modules optionnels (un module au choix 5 ECTS )</b>			
<b>UE : Approfondissement en hydrologie ( 5 ECTS )</b>			
Géomatique : SIG et télédétection	10		2
Transport sédimentaire et morphodynamique	10		1,5
Hydrologie souterraine	12		1
<b>UE : Approfondissement en physico-chimie ( 5 ECTS )</b>			
Géomatique : SIG et télédétection	10		2
Physico-chimie atmosphérique	10		1,5
Friches industrielles et déchets	10		1
<b>UE : Approfondissement en écologie ( 5 ECTS )</b>			
Ecotoxicologie	10		1,5
Espaces aquatiques	10		1,5
Valorisation des déchets	10		1,5
<b>Total</b>	<b>380 h</b>		<b>30 ECTS</b>

TAB. 9 – Semestre E. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

**Semestre Final : BEI et PFE**

<b>Semestre Final</b>			
<b>Modules :</b>	<b>CM-TD</b>	<b>TP</b>	<b>ECTS</b>
<b>UE : Bureau d'Études Industrielles (8 ECTS au choix )</b>			
BEI Énergétique et Procédés			8
BEI Énergies Renouvelables et Environnement			8
<b>UE : Projet de Fin d'Études (22 ECTS)</b>			
PFE de 5 à 6 mois			
<b>Total</b>			<b>30 ECTS</b>

TAB. 10 – Semestre F. UE : organisation du semestre en Unités d'Enseignement. CM-TD : nombre de séances de 1h45 de Cours Magistraux ou Travaux Dirigés. TP : nombre de séances de Travaux Pratiques. ECTS : nombre de crédits.

# LA RECHERCHE EN MECANIQUE DES FLUIDES

Les formations en Mécanique des Fluides bénéficient des dernières avancées de la recherche grâce à des collaborations avec plusieurs laboratoires ainsi qu'avec des partenaires industriels intéressés par la recherche et le développement.

## L'Institut de Mécanique des Fluides

L'Institut de Mécanique des Fluides (IMFT) est le plus grand laboratoire de France dans sa spécialité. Les enseignants chercheurs impliqués dans les formations en Mécanique des Fluides font partie de ce laboratoire. De nombreux contacts industriels sont associés à cette collaboration.

## Les Masters de Recherche accessibles aux élèves ingénieurs

Lors de leur troisième année de formation, les élèves ingénieurs peuvent s'inscrire à l'un des deux Masters de Recherche compatibles avec leur emploi du temps.

- Master de Recherche “Dynamique des Fluides, Energétique et Transfert” : cette formation est commune à plusieurs écoles d'ingénieur toulousaines (Supaéro, Ensica, ...) et à l'Université Paul Sabatier.
- Master de Recherche “Hydrologie, Hydrochime, Sol et Environnement” : cette formation est commune avec l'ENSIACET, l'ENSAT et l'Université Paul Sabatier.

## LES MASTÈRES SPÉCIALISÉS

Les enseignements de la formation d'ingénieur en hydraulique et mécanique des fluides servent de briques de base pour deux mastères spécialisés qui en partagent les débouchés. Les enseignements spécifiques de ces formations ont pour but d'harmoniser rapidement le niveau des étudiants de mastères spécialisé avec celui qui a été acquis par les élèves ingénieurs lors des deux premières années du cycle d'ingénieur.

- Mastère spécialisé “Hydraulique” : l'objectif du Mastère Spécialisé « Hydraulique » est de donner aux étudiants français ou étrangers déjà diplômés une formation complémentaire dans la résolution des problèmes de l'eau, associés à la protection de l'environnement : aménagements hydrauliques, assainissement, ressources en eaux.
- Mastère spécialisé “Mécanique des Fluides industrielle” : le Mastère spécialisé « Mécanique des Fluides Industrielle » offre une formation de haut niveau permettant d'accéder rapidement à la maîtrise de la modélisation des écoulements intervenant la conception et l'exploitation d'installations industrielles. Un tronc commun en mécanique des fluides et modélisation ouvre vers deux options dans le domaine de l'énergétique ou de la mécanique des fluides numérique.

# Table des matières

<b>1 SEMESTRE A : Les connaissances de bases</b>	<b>23</b>
1.1 <b>Langues et Sport (4 ECTS)</b>	23
AAPS : Activités Physiques et Sportives	23
ALV1 : Anglais	23
ALV2 : Langue Vivante II	23
1.2 <b>Formation générale (2 ECTS)</b>	24
AMET : Conférences métiers	24
A21 : Communication écrite et orale I	24
A22 : Organisation et structuration des entreprises	24
A23 : Introduction à la gestion des entreprises I	24
1.3 <b>Milieu continu (6 ECTS)</b>	25
A31 : Introduction à la mécanique des milieux continus	25
A32 : Thermodynamique	25
1.4 <b>Mathématiques pour l'ingénieur (5 ECTS)</b>	25
A41 : Intégration, transformée de Fourier, Distributions	25
A42 : Probabilités - Statistique	26
1.5 <b>Calcul scientifique (6 ECTS)</b>	26
A51 : Informatique appliquée : systèmes, outils, architectures	26
A52 : Analyse des schémas numériques pour les équations aux dérivées partielles	26
A53 : Initiation à Matlab	27
1.6 <b>Outils de la mécanique (7 ECTS)</b>	27
A61 : Mécanique rationnelle	27
A62 : EDP, potentiels, variable complexe	27
A63 : Introduction à l'électrotechnique	28
<b>2 SEMESTRE B : Les premiers pas du mécaniciens</b>	<b>29</b>
2.1 <b>Langues et sports (4 ECTS)</b>	29
BLV1 : Anglais	29
BLV2 : Langue Vivante II	29
BAPS : Activités Physiques et Sportives	29
2.2 <b>Formation générale (3 ECTS)</b>	30
BAOC : Actions Ouvertures Cultures	30



	BMET : Conférences métiers . . . . .	30
	B21 : Communication écrite et orale II . . . . .	30
	B22 : Introduction à la gestion des entreprises II . . . . .	30
<b>2.3</b>	<b>Mécanique des fluides (5 ECTS)</b> . . . . .	<b>30</b>
	B31 : Mécanique des fluides . . . . .	30
	B32 : Expériences numériques laminaires - Code FLUENT . . . . .	31
<b>2.4</b>	<b>Hydraulique et métrologie (6 ECTS)</b> . . . . .	<b>31</b>
	B41 : Hydraulique en charge . . . . .	31
	B42 : Signaux et systèmes . . . . .	32
<b>2.5</b>	<b>Programmation (5 ECTS)</b> . . . . .	<b>32</b>
	B51 : Algorithmique et méthodes de programmation . . . . .	32
	B52 : Initiation au langage de programmation Fortran . . . . .	32
<b>2.6</b>	<b>Mécanique du solide (6 ECTS)</b> . . . . .	<b>33</b>
	B61 : Elasticité linéaire . . . . .	33
	B62 : Projet de mécanique . . . . .	33
<b>3</b>	<b>SEMESTRE C : La mécanique des fluides</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Langues est sports (4 ECTS)</b> . . . . .	<b>34</b>
	CAPS : Activités Physiques et Sportives . . . . .	34
	CLV1 : Anglais . . . . .	34
	CLV2 : Langue Vivante II . . . . .	34
<b>3.2</b>	<b>Formation générale (4 ECTS)</b> . . . . .	<b>35</b>
	CMET : Conférences métiers . . . . .	35
	C21 : Construction du projet professionnel I . . . . .	35
<b>3.3</b>	<b>Mécanique des fluides (4 ECTS)</b> . . . . .	<b>35</b>
	C31 : Ondes et ressauts hydrauliques . . . . .	35
	C32 : Couches limites, jets, sillages laminaires . . . . .	36
<b>3.4</b>	<b>Turbulence (6 ECTS)</b> . . . . .	<b>36</b>
	C41 : Mécanique des fluides approfondie et introduction à la turbulence . . . . .	36
	C42 : Etude des écoulements turbulents . . . . .	36
	C43 : Analyse de Fourier des signaux turbulents . . . . .	37
<b>3.5</b>	<b>Transferts et applications industrielles (6 ECTS)</b> . . . . .	<b>37</b>
	C51 : Echanges thermiques et massiques . . . . .	37
	C52 : Expériences numériques de mécanique des fluides - FLUENT . . . . .	38

3.6	<b>Introduction aux spécialisations ( ECTS)</b>	38
	C61 : Méthodes numériques - volumes finis	38
	C62 : Contrôle et commande	38
	C63 : Introduction à la mécanique des structures	39
	C64 : Introduction au génie des procédés	39
<b>4</b>	<b>SEMESTRE D : L'hydraulique et autres spécialisations</b>	<b>40</b>
4.1	<b>Langues est sports (4 ECTS)</b>	40
	DAPS : Activités Physiques et Sportives	40
	DLV1 : Anglais	40
	DLV2 : Langue Vivante II	40
4.2	<b>Formation générale (4 ECTS)</b>	41
	DTPL : Travaux et Projets de Longue Durée	41
	DMET : Conférences métier	41
	D21 : Contexte économique et management	41
	D22 : Droit du travail	41
	D23 : Construction du projet professionnel II	42
4.3	<b>Hydraulique et aérodynamique ( ECTS)</b>	42
	D31 : Hydraulique à surface libre	42
	D32 : Ecoulements compressibles	42
4.4	<b>Energétique et transferts ( ECTS)</b>	43
	D41 : Machines hydrauliques	43
	D42 : Turbomachines à gaz	43
	D43 : Transferts en milieux poreux	43
4.5	<b>Choix d'une majeurs (6 ECTS)</b>	44
	Hydraulique numérique de l'environnement	44
	D511 : Modélisation VF Saint-Venant 1D	44
	D512 : Optimisation en hydraulique	44
	D513 : Hydrodynamique de l'environnement (Calcul et Modélisation)	44
	Hydraulique de puissance	45
	D521 : Complément sur la théorie du signal	45
	D522 : Analyse modale	45
	D523 : Prototypage virtuel	45
	Mécanique des structures	46

	D531 : Mécanique des structures et vibrations . . . . .	46
	D532 : Projet numérique de mécanique des structures . . . . .	46
4.6	<b>Choix de deux mineures (4 ECTS)</b> . . . . .	46
	D611 : Méthodes numériques : Eléments Finis . . . . .	46
	D612 : Contrôle d'écoulement en canaux . . . . .	47
	D613 : Dimensionnement des systèmes industriels . . . . .	47
	D614 : Aérodynamique : notions de base et applications . . . . .	47
	D621 : Aérosols . . . . .	47
	D622 : Banc d'essai hydraulique . . . . .	48
	D624 : Génie nucléaire . . . . .	48
	D625 : Projet numérique (mineure anticipée) . . . . .	48
<b>5</b>	<b>SEMESTRE E : Options de troisième année</b>	<b>49</b>
5.1	<b>Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)</b> . . . . .	49
	ELV1 : Anglais . . . . .	49
	SOUT : Soutenance de stage de fin de deuxième année . . . . .	49
	E21 : Développement durable, responsabilité sociale des entreprise, éthique . . . . .	49
	E22 : Gestion et management de projet . . . . .	49
	E23 : Entreprenariat . . . . .	50
	E24 : Conférences . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Option Fluides et Procédés (FP)</b>	<b>50</b>
6.1	<b>Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)</b> . . . . .	50
6.2	<b>Pré-requis (2 ECTS)</b> . . . . .	50
	Pré-requis pour les élèves de l'ENSIACET . . . . .	50
	OSAT : Outils statistiques et analyse tensorielle . . . . .	50
	ASNE : Analyse des schémas numériques pour les équations aux dérivées partielles . . . . .	50
	MFIT : Rappel de mécanique des fluides et initiation à la turbulence . . . . .	51
	Pré-requis pour les élèves de l'ENSEEIHHT . . . . .	51
	GENR : Génie de la Réaction . . . . .	51
	TRAM : Transfert de matière . . . . .	51
6.3	<b>Enseignements fondamentaux (6 ECTS)</b> . . . . .	52
	PHET : Physique des écoulements turbulents incompressibles . . . . .	52
	MTSS : Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires . . . . .	52

DIPH : Ecoulements diphasiques . . . . .	52
SATU : Utilisation du code de calcul SATURNE . . . . .	53
<b>6.4 Phénomènes interfaciaux et fluides complexes (5,5 ECTS)</b> . . . . .	<b>53</b>
PHEI : Phénomènes interfaciaux . . . . .	53
CORA : Coalescence, rupture et agrégation . . . . .	53
RHEO : Rhéologie des fluides complexes . . . . .	54
SEPA : Techniques de séparation des suspensions solide-liquide . . . . .	54
<b>6.5 Milieux hétérogènes et multiphasiques (5,5 ECTS)</b> . . . . .	<b>54</b>
ECGP : Ecoulements gaz-particules . . . . .	54
MGRA : Milieux granulaires . . . . .	55
MIPO : Transferts en milieu poreux . . . . .	55
TEDT : Transport et dispersion turbulente . . . . .	55
<b>6.6 Transferts et réacteurs (5,5 ECTS)</b> . . . . .	<b>56</b>
TRMT : Transferts et réactions en milieux turbulents . . . . .	56
CHPH : Ecoulements diphasiques avec changement de phase . . . . .	56
TRAI : Traitement des eaux : eaux potables et eaux usées . . . . .	56
AGIT : Agitation - Mélange . . . . .	57
COMS : Ecoulements et transferts - COMSOL . . . . .	57
<b>7 Option Énergétique (ENG)</b>	<b>57</b>
<b>Option Énergétique (ENG)</b>	<b>57</b>
<b>7.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)</b> . . . . .	<b>57</b>
<b>7.2 Enseignement Fondamentaux (6 ECTS)</b> . . . . .	<b>57</b>
PHET : Physique des écoulements turbulents incompressibles . . . . .	57
MODT : Modélisation de la turbulence à grand nombre de Reynolds . . . . .	57
MIPO : Transferts en milieu poreux . . . . .	58
DIPH : Ecoulements diphasiques . . . . .	58
<b>7.3 Aérodynamique et combustion (6 ECTS)</b> . . . . .	<b>59</b>
AERO : Aérodynamique . . . . .	59
COMB : Combustion . . . . .	59
FLAM : Flammes et foyers . . . . .	59
ECGP : Ecoulements gaz-particules . . . . .	60
<b>7.4 Transformation de l'énergie (4,5 ECTS)</b> . . . . .	<b>60</b>

MTHE : Machines Thermiques . . . . .	60
HYDI : Hydraulique diphasique . . . . .	60
CHPH : Ecoulements diphasiques avec changement de phase . . . . .	61
<b>7.5 Simulations numériques (4 ECTS)</b> . . . . .	<b>61</b>
MTSS : Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires . . . . .	61
SNDG : Simulation numérique directe et simulation des grandes échelles . . . . .	61
CODC : Utilisation des codes de calcul . . . . .	62
<b>7.6 Mécanique des fluides industrielle (3 ECTS)</b> . . . . .	<b>62</b>
TMAC : Thermodynamique des machines . . . . .	62
BESM : BES Moteur . . . . .	62
AIMP : Applications industrielles des milieux poreux . . . . .	63
<b>8 Option Mécanique des Fluides (MFN)</b>	<b>63</b>
<b>Option Mécanique des Fluides (MFN)</b>	<b>63</b>
8.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS) . . . . .	63
8.2 Module optionnel (8 ECTS) . . . . .	63
Mécanique des fluides pour l'énergétique . . . . .	63
COMB : Combustion . . . . .	63
DIPH : Ecoulements diphasiques . . . . .	63
MNIF : Méthodes numériques et Interfaces . . . . .	64
ECGP : Ecoulements gaz-particules . . . . .	64
SATU : Utilisation du code de calcul SATURNE . . . . .	65
Mécanique des fluides pour l'environnement . . . . .	65
CLAT : Couche limite atmosphérique . . . . .	65
HLCO : Hydrodynamique littorale et côtière . . . . .	65
TRME : Transport et mélange . . . . .	65
TSMO : Transport sédimentaire et morphodynamique . . . . .	66
BESZ : BES Ecoulements à surface libre . . . . .	66
8.3 Modélisation et simulation des écoulements turbulents (4,5 ECTS) . . . . .	66
PHET : Physique des écoulements turbulents incompressibles . . . . .	66
MTSS : Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires . . . . .	67
SNDG : Simulation numérique directe et simulation des grandes échelles . . . . .	67
8.4 Méthodes numériques pour les écoulements (7 ECTS) . . . . .	67

MNEI : Méthodes numériques pour la simulation des écoulements incompressibles . . . . .	67
MNEC : Méthodes numériques pour la simulation des écoulements compressibles . . . . .	68
BESI : BES Ecoulements Incompressibles . . . . .	68
BSCL : BES Schémas et conditions aux limites . . . . .	68
<b>8.5 Calcul scientifique intensif (2,5 ECTS) . . . . .</b>	<b>69</b>
CALP : Calcul parallèle . . . . .	69
IPCS : Informatique pour le calcul scientifique . . . . .	69
BMCI : BES maîtrise des codes industriels . . . . .	69
<b>9 Option Sciences de l'Eau et Environnement (SEE) . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>9.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS) . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>9.2 Écoulements environnementaux (9 ECTS) . . . . .</b>	<b>69</b>
CLAT : Couche limite atmosphérique . . . . .	69
HLCO : Hydrodynamique littorale et côtière . . . . .	70
TRME : Transport et mélange . . . . .	70
TSMO : Transport sédimentaire et morphodynamique . . . . .	70
ASOL : Aérosols . . . . .	70
COCA : Code de calcul en environnement . . . . .	71
<b>9.3 Hydrologie (7,5 ECTS) . . . . .</b>	<b>72</b>
CYCL : Cycle de l'eau et bassins versants . . . . .	72
HSOU : Hydrologie souterraine . . . . .	72
HSTA : Hydrologie statistique . . . . .	72
HTRA : Hydrologie des transferts . . . . .	73
BESZ : BES Ecoulements à surface libre . . . . .	73
<b>9.4 Ingénierie de l'aménagement (7 ECTS) . . . . .</b>	<b>73</b>
MSOL : Mécanique des sols . . . . .	73
INGO : L'ingénierie des ouvrages hydrauliques . . . . .	73
STRU : Durabilité et fiabilité des ouvrages . . . . .	74
IMPA : Impacts des aménagements industriels sur l'environnement . . . . .	74
TELE : Initiation à la télédétection aérospatiale . . . . .	75
SIGE : Système d'information géographique . . . . .	75
RISQ : Risques et prévention . . . . .	75
<b>10 Option Génie de l'Environnement (GE) . . . . .</b>	<b>75</b>

<b>10.1 Sciences humaines sociales et juridiques (6 ECTS)</b>	<b>75</b>
ELV1 : Anglais	75
SOUT : Soutenance de stage de fin de deuxième année	76
DSEE : Droit, sociologie et économie de l'environnement	76
SMER : Système de management environnemental et risques	76
APS3 : Activités Physiques et Sportives	76
<b>10.2 Harmonisation (3 ECTS)</b>	<b>77</b>
Harmonisation pour les ENSEEIHT	77
CHIS : Chimie des solutions	77
AGRE : Agro-écosystèmes	77
Harmonisation pour les ENSIACET	77
HYDR : Hydraulique en charge et à surface libre	77
AGRE : Agro-écosystèmes	78
Harmonisation pour les ENSAT	78
HYDR : Hydraulique en charge et à surface libre	78
CHIS : Chimie des solutions	78
<b>10.3 Fonctionnement et analyse du milieu naturel (5,5 ECTS)</b>	<b>79</b>
CYCL : Cycle de l'eau et bassins versants	79
PHYS : Physico-chimie des eaux	79
TRAR : Transport réactif	79
POLU : Pollution atmosphérique	79
<b>10.4 Ingénierie et traitement des eaux (6 ECTS)</b>	<b>80</b>
TRAI : Traitement des eaux : eaux potables et eaux usées	80
EURB : L'eau en milieu urbain	80
INPP : Ingénierie des procédés propres	80
DEPO : Procédés de dépollution	81
<b>10.5 Module optionnel (5 ECTS)</b>	<b>81</b>
Approfondissement en hydrologie	81
GEOM : Géomatique : SIG et télédétection	81
TSMO : Transport sédimentaire et morphodynamique	81
HSOU : Hydrologie souterraine	81
Approfondissement en physico-chimie	82
GEOM : Géomatique : SIG et télédétection	82

PHCA : Physico-chimie atmosphérique . . . . .	82
FRID : Friches industrielles et déchets . . . . .	82
Approfondissement en écologie . . . . .	82
ECOT : Ecotoxicologie . . . . .	82
ESPA : Espaces aquatiques . . . . .	83
VALD : Valorisation des déchets . . . . .	83
<b>11 SEMESTRE F : Le projet long et le stage final</b>	<b>84</b>
11.1 <b>Projet long optionnel (8 ECTS)</b> . . . . .	84
BEIP : BEI Energétique et procédés . . . . .	84
BEIR : BEI énergies renouvelables et environnement . . . . .	84
11.2 <b>Projet de Fin d'Études (22 ECTS)</b> . . . . .	84



# 1 SEMESTRE A : Les connaissances de bases

Ce semestre permet une harmonisation des connaissances à travers l'acquisition des outils de base. Il contient la mécanique des milieux continus, la thermodynamique, les mathématiques et l'informatique qui introduisent de très nombreux autres enseignements. Comme pour tous semestres suivants, une place importante est donnée aux travaux pratiques, aux projets sur ordinateur et aux "conférences métiers".

## 1.1 Langues et Sport (4 ECTS)

### AAPS : Activités Physiques et Sportives

#### Objectifs

Entretien d'une bonne condition physique ; acquisition et développement des qualités d'endurance.

#### Programme

Les cours hebdomadaires de deux heures groupées sont orientés vers deux types d'entraînement : préparation physique générale et sports individuels ou collectifs. De nombreuses activités sportives sont proposées aux élèves : tennis, football, volley, rugby, basket, judo, escrime, aviron, ski,... Tous ces sports peuvent être librement pratiqués par ailleurs dans le cadre des compétitions universitaires.

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### ALV1 : Anglais

#### Objectifs

Permettre aux élèves, par groupes de niveaux de 15 à 20, d'acquérir des compétences linguistiques afin d'être opérationnels dans leur métier. L'apprentissage se fait sur 3 ans, chaque année dans 3 domaines : anglais de communication, anglais professionnel, anglais scientifique pour chacune des spécialités de l'école.

#### Programme

Aspects de la culture et de la civilisation anglophone. Faits langagiers et compétences de communication spécifiques à la vie professionnelle. Etude de problèmes d'éthique de l'ingénieur. Aspects des derniers développements technologiques et des futures applications. Techniques de communications : candidature à un stage, téléphoner, conduite de réunion, initiation aux affaires, comprendre l'anglais scientifique, s'exprimer efficacement, aspects du style scientifique.

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### ALV2 : Langue Vivante II

#### Objectifs

Plusieurs choix de langues vivantes II : Allemand, Espagnol, ...

#### Programme

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 1.2 Formation générale (2 ECTS)

### AMET : Conférences métiers

#### Objectifs

Réunir les étudiants de première et deuxième années pour des conférences centrées sur les problématiques du secteur aval.

#### Programme

Tous les lundis de 14h à 16h, des conférenciers sont invités à parler d'une grande variété de sujets. L'accent est mis sur les métiers accessibles aux élèves ingénieurs afin de leur permettre d'effectuer un certain nombre de choix (stages, options, ...) en étant bien informés.

#### Volume horaire

CM : 12 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### A21 : Communication écrite et orale I

#### Objectifs

Communication écrite et orale I

#### Programme

Partie A (CP) : - Projet professionnel - Présentation d'une entreprise - étude de cas

Partie B (GE) - Introduction à la rédaction d'un CV - Travail avec le CDI - Soutenance fiche d'emploi, soutenance projet professionnel

#### Volume horaire

CM : 2 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

### A22 : Organisation et structuration des entreprises

#### Objectifs

#### Programme

Organisation et structuration des entreprises :

Théorie des organisations : 5 séances de cours et 1 séance de TD, Les grandes étapes de l'évolution de l'entreprise - Les types de structurations (hiérarchique, staff & line, matriciel, ...) - Les fonctions et leurs interactions

Structuration juridiques : 3 séances de cours et 1 séance de TD, - Les grandes étapes de l'évolution de l'entreprise - Les types de structurations (hiérarchique, staff & line, matriciel, ...) - Les fonctions et leurs interactions

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### A23 : Introduction à la gestion des entreprises I

#### Objectifs

#### Programme

Introduction à la gestion des entreprises (1/2) :

Principes de gestion comptable et financière : - La logique comptable et l'enregistrement des flux - Les documents de synthèse : Bilan, Compte de résultat, Annexe (Présentation et première analyse).

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **1.3 Milieu continu (6 ECTS)**

#### **A31 : Introduction à la mécanique des milieux continus**

##### **Objectifs**

Assimiler les concepts de base de la mécanique des milieux continus en amont des cours d'élasticité et de mécanique des fluides. Comprendre la dérivation exhaustive des équations de Lamé (élasticité) et de Navier-Stokes (mécanique des fluides).

##### **Programme**

Le cours débute par la présentation de quelques expériences de base. L'étude des grandes déformations permet de présenter le tenseur des dilatations et d'introduire les notions de représentations lagrangienne et eulérienne. L'étude de la cinématique des milieux continus comprend la présentation du tenseur des taux de déformation et débouche sur les théorèmes de transport. Les notions de vecteur flux et de tenseur des contraintes sont présentées à partir de l'hypothèse de milieu continu. Tous les outils sont alors en place pour appliquer aux milieux continus les principales lois de conservation de la mécanique : masse, quantité de mouvement et énergie. La présentation des lois de comportement de l'élasticité linéaire et des fluides newtoniens permet de conclure en écrivant les équations de Lamé et de Navier-Stokes.

#### **Volume horaire**

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 12 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### **A32 : Thermodynamique**

##### **Objectifs**

Etablir : - les notions de base de la Thermodynamique des systèmes à l'équilibre, - les bilans d'énergie dans les systèmes fermés et ouverts, - les propriétés des fluides purs ou mélangés, en vue de préparer aux enseignements de mécanique des fluides, de transferts thermiques et de machines thermiques

##### **Programme**

- Conservation de l'énergie - Entropie et problème fondamental - Propriétés de l'équilibre et conditions de stabilité de l'équilibre - Potentiels thermodynamiques, leurs propriétés et leurs conséquences physiques - Corps pur et équilibre entre phases du corps pur - Thermodynamique des interfaces - Mélanges de fluides - Systèmes à mobilité chimique - Compressions et détentes - Diagrammes thermodynamiques et leur utilisation - Air humide

#### **Volume horaire**

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 12 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

### **1.4 Mathématiques pour l'ingénieur (5 ECTS)**

#### **A41 : Intégration, transformée de Fourier, Distributions**

## Objectifs

Développer pour le physicien le cadre théorique dans lequel les formules bien connues trouvent leur justification. Renforcer les bases mathématiques indispensables à tout ingénieur. Ce module s'applique aussi bien dans les autres modules de mathématiques (probabilités et statistique) qu'en mécanique ou traitement du signal.

## Programme

1- Eléments d'intégration sur  $\mathbb{R}$ . 2- Eléments d'intégration sur  $\mathbb{R}^n$ . 3- Transformée de Fourier. 4- La convolution. 5- Introduction aux distributions.

## Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## A42 : Probabilités - Statistique

### Objectifs

Permettre d'acquérir les techniques de calcul des probabilités ; s'initier à la modélisation du hasard et à la statistique inférentielle, ceci en vue des applications : physique, aide à la décision, étude d'impacts, etc. Ce cours s'applique en Hydrologie statistique, Automatique, Traitement du Signal, etc.

### Programme

1- Espaces probabilisés et calcul des probabilités. 2- Variables aléatoires réelles : cas discret, cas à densité. 3- Vecteurs aléatoires réels ; loi conjointe ; lois marginales ; changement de variables ; indépendance ; corrélation. 4- Convergence et grands théorèmes : lois des grands nombres, théorème de la limite centrée. 5- Introduction à la statistique ; statistique descriptive. 6- Estimation et applications : maximum de vraisemblance, moindres carrés ; régression linéaire.

## Volume horaire

CM : 12 séances de 1h45 | TD : 7 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 1.5 Calcul scientifique ( 6 ECTS)

### A51 : Informatique appliquée : systèmes, outils, architectures

#### Objectifs

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

#### Programme

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

## Volume horaire

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 8 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### A52 : Analyse des schémas numériques pour les équations aux dérivées partielles

#### 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.

### Programme

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.

### Volume horaire

CM : 7 séances de 1h45 | TD : 3 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## A53 : Initiation à Matlab

### Objectifs

Initiation et prise en main du logiciel Matlab : matrices et tableaux, algèbre linéaire, solveurs d'EDO, régression non linéaire, fonctions, graphiques et animations 2D/3D...

### Programme

I. Contenu, structure et mode d'emploi du logiciel Matlab. Utilisation de l'aide Matlab. Manipulations élémentaires de fichiers, variables, tableaux. Création et édition de scripts-M. II. Graphes : fonction plot, graphes 2D. III. Programmation et fonctions matlab. IV. Systèmes Différentiels Ordinaires : solveurs matlab. V. Projet.

### Volume horaire

CM : 1 séances de 1h45 | TD : 10 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 1.6 Outils de la mécanique (7 ECTS)

### A61 : 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.

### Programme

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

### Volume horaire

CM : 7 séances de 1h45 | TD : 11 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### A62 : EDP, potentiels, variable complexe

### Objectifs

Après un bref panorama des EDP rencontrées en mécanique, on introduit les éléments de base sur la théorie du potentiel. Le cours se concentre ensuite sur la méthode de la variable complexe : on introduit les notions de fonctions analytiques, d'intégration dans le plan complexe et de transformation conforme. L'étudiant doit acquérir les outils de base pour traiter analytiquement les problèmes potentiels 2D standards qu'il rencontrera dans son cursus.

### **Programme**

1. EDP : panorama, classification, interprétation physique des opérateurs de dérivation. 2. Problèmes potentiel : exemples, équation de Laplace, théorème intégraux, potentiels singuliers. 3. Potentiel complexe : fonctions analytiques, intégration dans le plan complexe, superposition de potentiels. 4. Transformation conforme. 5. Atelier : étude d'un problème potentiel, utilisation de l'outil Matlab.

### **Volume horaire**

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **A63 : Introduction à l'électrotechnique**

### **Objectifs**

Sensibiliser les étudiants aux métiers et aux principes de base de l'électrotechnique

### **Programme**

Conférences

### **Volume horaire**

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 3 séances de 4h

## 2 SEMESTRE B : Les premiers pas du mécaniciens

Ce semestre renforce l'acquisition de bases comme l'algorithmique ou la métrologie. Les thématiques spécifiques débutent vraiment avec la mécanique des fluides, l'hydraulique en charge et l'élasticité linéaire. Outre les travaux pratiques expérimentaux, l'assimilation de ces matières est complétée par l'utilisation de codes de calcul industriels.

### 2.1 Langues et sports (4 ECTS)

#### BLV1 : Anglais

##### Objectifs

Permettre aux élèves, par groupes de niveaux de 15 à 20, d'acquérir des compétences linguistiques afin d'être opérationnels dans leur métier. L'apprentissage se fait sur 3 ans, chaque année dans 3 domaines : anglais de communication, anglais professionnel, anglais scientifique pour chacune des spécialités de l'école.

##### Programme

Aspects de la culture et de la civilisation anglophone. Faits langagiers et compétences de communication spécifiques à la vie professionnelle. Etude de problèmes d'éthique de l'ingénieur. Aspects des derniers développements technologiques et des futures applications. Techniques de communications : candidature à un stage, téléphoner, conduite de réunion, initiation aux affaires, comprendre l'anglais scientifique, s'exprimer efficacement, aspects du style scientifique.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### BLV2 : Langue Vivante II

##### Objectifs

Plusieurs choix de langues vivantes II : Allemand, Espagnol, ...

##### Programme

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### BAPS : Activités Physiques et Sportives

##### Objectifs

Entretien d'une bonne condition physique; acquisition et développement des qualités d'endurance.

##### Programme

Les cours hebdomadaires de deux heures groupées sont orientés vers deux types d'entraînement : préparation physique générale et sports individuels ou collectifs. De nombreuses activités sportives sont proposées aux élèves : tennis, football, volley, rugby, basket, judo, escrime, aviron, ski,... Tous ces sports peuvent être librement pratiqués par ailleurs dans le cadre des compétitions universitaires.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 2.2 Formation générale (3 ECTS)

### BAOC : Actions Ouvertures Cultures

#### Objectifs

#### Programme

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### BMET : Conférences métiers

#### Objectifs

Réunir les étudiants de première et deuxième années pour des conférences centrées sur les problématiques du secteur aval.

#### Programme

Tous les lundis de 14h à 16h, des conférenciers sont invités à parler d'une grande variété de sujets. L'accent est mis sur les métiers accessibles aux élèves ingénieurs afin de leur permettre d'effectuer un certain nombre de choix (stages, options, ...) en étant bien informés.

#### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### B21 : Communication écrite et orale II

#### Objectifs

#### Programme

Exposés sur des sujets de culture générale

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 2 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### B22 : Introduction à la gestion des entreprises II

#### Objectifs

#### Programme

Introduction à la gestion des entreprises (2/2) Simulation – Jeu d'entreprise, « Sygmark » : même équipe (IAE)

#### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 2.3 Mécanique des fluides (5 ECTS)

### B31 : Mécanique des fluides



## Objectifs

L'objectif d'ensemble est de donner l'assise générale de la mécanique du fluide monophasique, dans un souci d'équilibre entre concept physique et expression mathématique. Appliqué aux deux parties du cours, il peut être décliné comme suit : - Ecoulements laminaires de fluide visqueux newtonien : (i) Compréhension et maîtrise des formulations intégrales et locales des équations de bilans, (ii) analyse des propriétés mécaniques et énergétiques des mouvements laminaires, (iii) applications à des exemples d'écoulement solution exacte des équations de Navier-Stokes. - Mouvement à potentiel de fluide parfait : (i) Acquisition des outils analytiques d'étude des écoulements bidimensionnels plans, permanents, irrotationnels de fluide parfait incompressible et (ii) application à la théorie des profils d'envergure infinie.

## Programme

1ère Partie : Notion de milieu continu. Diffusion : Origine physique et schématisation mathématique. Compressibilité : Coefficients, nombre de Mach. Eléments de description mathématique du mouvement d'un fluide : lignes cinématiques, analyse des petits déplacements. Equations générales de bilan de masse, quantité de mouvement et énergie (premier et second principe). Schéma de Newton et équations de Navier-Stokes. Exemples d'écoulements solutions exactes. Equations intégrales. Théorèmes d'Euler et de Bernoulli. 2ème Partie : Ecoulement à potentiel de fluide parfait incompressible. Introduction de la variable complexe. Méthodes d'étude des écoulements à potentiel. Transformation conforme. Calcul des efforts. Expression générale et paradoxe de d'Alembert. Théorie des ailes d'allongement infini. Origine de la portance et rôle de la viscosité en fluide réel. Effet Magnus.

TP1 : Etude de la traînée TP2 : Ecoulements de Poiseuille et de Couette-Taylor TP3 : Aérodynamique des profils d'aile

## Volume horaire

CM : 13 séances de 1h45 | TD : 12 séances de 1h45 | TP : 3 séances de 4h

## B32 : Expériences numériques laminaires - Code FLUENT

### 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.

### Programme

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

CM : 1 séances de 1h45 | TD : 8 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 2.4 Hydraulique et métrologie (6 ECTS)

### B41 : Hydraulique en charge

### Objectifs

Présenter les bases de l'hydraulique classique pour les appliquer aux écoulements en conduites en charge, aux calculs de réseaux sous pression.

### Programme

Écoulements en conduite en charge. Cas des écoulements unidirectionnels, approche filaire. - Écoulements permanents graduellement et rapidement varié - Pertes de charge singulières - Réseaux ramifiés et réseaux maillés. Pompes et turbines. Bases théoriques pour des situations d'hydraulique en régime permanent ou transitoire : coup de bélier. - Théorie des caractéristiques Utilisation de codes de calculs pour les écoulements en conduites. Application aux situations industrielles : distribution d'eau potable : logiciel PORTEAU

Titre TP associé(s) : Pertes de charge en conduite

### Volume horaire

CM : 15 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

## B42 : Signaux et systèmes

### Objectifs

Donner une formation générale sur les théories du signal et du système en vue de l'application aux domaines de l'instrumentation et de la mesure (1AH), de l'identification et du contrôle (2AH).

### Programme

- La démarche expérimentale : structure d'une chaîne de mesure, théorie des Systèmes Linéaires et Invariants déterministes, dualité système/signal. - Le système : dynamique des S.L.I. Formulations temporelles différentielle et intégrale (propriété de convolution). Formulation symbolique : fonction de transfert et transfert harmonique. Conditionnement du signal en métrologie, limitations. Etudes de cas (Mesure de pression instationnaire). - Analyse de FOURIER : intérêts dans la lisibilité et le traitement de l'information. Mise en œuvre de l'analyse spectrale numérique des signaux déterministes (troncature et échantillonnage, théorème de Shannon, remplissage par des zéros). Utilisation de MATLAB /Simulink

Travaux Pratiques : 1) Etude du champ de vitesse d'un jet, 2) Accrochage en fréquence d'un mode de structure, 3) Comportement des systèmes linéaires et non linéaires (description dans l'espace des phases) .

### Volume horaire

CM : 11 séances de 1h45 | TD : 14 séances de 1h45 | TP : 3 séances de 4h

## 2.5 Programmation (5 ECTS)

### B51 : Algorithmique et méthodes de programmation

### Objectifs

Vers une programmation raisonnée ... 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.

### Programme

Algorithmique et programmation structurée : - 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 C de ces notions.

### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 16 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### B52 : Initiation au langage de programmation Fortran

## Objectifs

Le but de cet enseignement est de former les étudiants à la programmation utilisée dans les codes de calcul industriels.

## Programme

Apprentissage d'un langage de programmation : FORTRAN. Mise en oeuvre sur micro-ordinateur (fichiers, sous-programmes, méthodes numériques, visualisation, ...)

## Volume horaire

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 9 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 2.6 Mécanique du solide (6 ECTS)

### B61 : Elasticité linéaire

#### Objectifs

Développer des méthodes utilisant les principes de base de l'élasticité linéaire pour résoudre et déterminer les champs de contraintes, déformations et déplacements qui existent à l'intérieur d'une pièce soumise à des sollicitations externes.

#### Programme

Les points suivants sont abordés : - tenseurs des contraintes et des déformations en un point, représentations et interprétations. - schéma linéaire classique pour un solide élastique - méthodes générales de résolution d'un problème d'élasticité. - thermoélasticité. - méthodes de mesures et de visualisations des contraintes ou des déformations. Illustration par deux travaux pratiques : extensométrie, photoélasticité

Titre TP associé(s) : E. Extensométrie P. Photoélasticité

#### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 10 séances de 1h45 | TP : 2 séances de 4h

### B62 : Projet de mécanique

#### Objectifs

Modéliser et analyser un système mécanique réel (exemples : flottement de pales d'éoliennes, trajectoire d'un boomerang, stabilisation gyroscopique d'un système embarqué...)

#### Programme

Mise en pratique des connaissances abordées dans le module A61 dans le cadre d'un projet de groupe supervisé par un enseignant.

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 7 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### 3 SEMESTRE C : La mécanique des fluides

Ce semestre est au coeur de la formation d'ingénieur en mécanique des fluides. Les transferts de masse, de quantité de mouvement et d'énergie sont abordés par plusieurs enseignements où la place des couches limites et de la turbulence est constante. Ces notions sont consolidées par la mise en oeuvre de ces concepts à l'aide de l'outil numérique ou du traitement des signaux expérimentaux.

#### 3.1 Langues est sports (4 ECTS)

##### CAPS : Activités Physiques et Sportives

###### Objectifs

Entretien d'une bonne condition physique ; acquisition et développement des qualités d'endurance.

###### Programme

Les cours hebdomadaires de deux heures groupées sont orientés vers deux types d'entraînement : préparation physique générale et sports individuels ou collectifs. De nombreuses activités sportives sont proposées aux élèves : tennis, football, volley, rugby, basket, judo, escrime, aviron, ski,... Tous ces sports peuvent être librement pratiqués par ailleurs dans le cadre des compétitions universitaires.

###### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

##### CLV1 : Anglais

###### Objectifs

Permettre aux élèves, par groupes de niveaux de 15 à 20, d'acquérir des compétences linguistiques afin d'être opérationnels dans leur métier. L'apprentissage se fait sur 3 ans, chaque année dans 3 domaines : anglais de communication, anglais professionnel, anglais scientifique pour chacune des spécialités de l'école.

###### Programme

Aspects de la culture et de la civilisation anglophone. Faits langagiers et compétences de communication spécifiques à la vie professionnelle. Etude de problèmes d'éthique de l'ingénieur. Aspects des derniers développements technologiques et des futures applications. Techniques de communications : candidature à un stage, téléphoner, conduite de réunion, initiation aux affaires, comprendre l'anglais scientifique, s'exprimer efficacement, aspects du style scientifique.

###### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

##### CLV2 : Langue Vivante II

###### Objectifs

Plusieurs choix de langues vivantes II : Allemand, Espagnol, ...

###### Programme

###### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### 3.2 Formation générale (4 ECTS)

#### CMET : Conférences métiers

##### Objectifs

Réunir les étudiants de première et deuxième années pour des conférences centrées sur les problématiques du secteur aval.

##### Programme

Tous les lundis de 14h à 16h, des conférenciers sont invités à parler d'une grande variété de sujets. L'accent est mis sur les métiers accessibles aux élèves ingénieurs afin de leur permettre d'effectuer un certain nombre de choix (stages, options, ...) en étant bien informés.

##### Volume horaire

CM : 12 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### C21 : Construction du projet professionnel I

##### Objectifs

Sensibiliser les étudiants à l'importance de réfléchir, dès le début de leurs études, à leur projet professionnel. Expliquer comment rédiger un CV et réussir un entretien de recrutement. Apprendre à rédiger un CV et une lettre de motivation en cohérence avec son projet professionnel.

##### Programme

CV - lettre de motivation, connaissance du milieu professionnel

##### Volume horaire

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### 3.3 Mécanique des fluides (4 ECTS)

#### C31 : Ondes et ressauts hydrauliques

##### Objectifs

Assimiler les notions de base permettant de comprendre la propagation et la dispersion des ondes en s'appuyant sur les exemples des écoulements à surface libre.

##### Programme

Le cours est structuré en quatre "Articles Pédagogiques Multimedia" indépendants. Un premier article détaille la dérivation des équations de Saint Venant qui modélise la dynamique d'une couche fluide de faible profondeur sur un fond plat ou incliné. Un deuxième article détaille en profondeur la résolution des équations d'advection 1D linéaires ou non linéaires qui sont à la base de la méthode des caractéristiques. Le troisième article étudie les ondes de surface linéaires dans le cas non dispersif (faible profondeur) ou dispersif (profondeur quelconque). Le dernier article traite de la résolution des équations de Saint Venant non linéaires par la méthode des caractéristiques et de la description des ressauts hydrauliques par l'introduction des relations de saut. Plusieurs exemples d'applications des notions introduites sont abordés sous forme d'exercices.

##### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

## C32 : Couches limites, jets, 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)

### Programme

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

### Volume horaire

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 1 séance de 4h

## 3.4 Turbulence (6 ECTS)

## C41 : Mécanique des fluides approfondie et introduction à la turbulence

### Objectifs

L'objectif de cet enseignement est (i) de présenter les idées actuelles sur la turbulence en écoulement isovolume, dans le cadre des conceptualisations statistiques du phénomène à échelle macroscopique et (ii) de fournir l'assise de la mise en équations (signification physique et formulation) par bilans moyennés de quantité de mouvement, énergie et enstrophie.

### Programme

Retour sur les propriétés physiques des écoulements solutions des équations de Navier-Stokes : advection, diffusion, dissipation, instabilité et transition. Exemples de chemins à la turbulence. Effets de la diffusion par mouvements continus : étirement tourbillonnaire, mélange, transferts pariétaux. Outils de description et paramétrisation statistique de l'agitation turbulente : corrélation, spectre, moments, échelles. Sens de la prise de moyenne et positionnement de l'approche statistique. Equations ouvertes de transport de propriétés en un point : fonction génératrice des moments aux fluctuations de vitesse, moyenne et moments du second ordre. Equations aux pressions. Bilans d'énergie cinétique et d'enstrophie.

### Volume horaire

CM : 13 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## C42 : Etude des écoulements turbulents

### Objectifs

Apprendre les notions des processus physiques des écoulement turbulents cisailés. Connaitre les concepts et limitations des fermetures au point des modes de turbulence.

### Programme

I. Nature de la turbulence 1. Transition à la turbulence 2. Caractéristiques de la turbulence 3. Nature non-linéaire des équations de Navier-Stokes. 4. Echelles de la turbulence II. Ecoulements turbulents cisailés 1. Ecoulements cisailés libres 2. Ecoulements cisailés de parois III. Modélisation de la turbulence 1. Estimations des contraintes de Reynolds 2. Energie cinétique de la turbulence 3. Hypothèses de turbulence homogène et isotrope 4. Modèles au premier ordre 5. Modèles au deuxième ordre 6. Effets parois 7. Simulation de grandes échelles et directes

#### Volume horaire

CM : 8 séances de 1h45 | TD : 3 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

### C43 : Analyse de Fourier des signaux turbulents

#### Objectifs

Donner les bases de l'analyse de Fourier dans le cas des signaux aléatoires (notion de périodogramme et de corrélogramme) et applications aux écoulements turbulents.

#### Programme

- Le Signal aléatoire : notion de processus aléatoires, propriété de stationnarité (SSL). Les exemples de la Mécanique des Fluides : stationnaires et non-stationnaires. -Description fréquentielle au sens de FOURIER (spectre à puissance localisée ou répartie). Le concept du périodogramme et sa mise en œuvre (périodogrammes de Bartlett et de Welch-WOSA). -Les relations de filtrage (ou de Wiener-Lee) : notion d'interspectre et de fonction de cohérence. Les problèmes d'identification dans les cas SISO et MIMO : validation des modèles de connaissance. Quelques exemples d'application classique dans le cadre de la Mécanique Des Fluides : du chaos déterministe à la turbulence, cascade de Kolmogoroff, reconstruction d'un spectre turbulent par extraction d'un spectre de vague (méthode de Benilov). Utilisation de MATLAB / Simulink.

Titre TP associé(s) : - Interaction fluide structure - Numérisation et analyse spectrale

#### Volume horaire

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 3 séances de 1h45 | TP : 2 séances de 4h

### 3.5 Transferts et applications industrielles (6 ECTS)

### C51 : Echanges thermiques et massiques

#### Objectifs

Ce cours a pour objectif d'introduire les quatre grands mécanismes de transfert de la chaleur (conduction, convection, rayonnement et changement de phase) que l'ingénieur en mécanique des fluides peut être amené à rencontrer dans son métier. Une approche tournée vers la modélisation des systèmes thermiques est privilégiée tout en prenant en compte la richesse des résultats empiriques disponibles dans les divers domaines de la thermique.

#### Programme

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. Changement de phase : évaporation, condensation. 6. TP : thermographie infrarouge, mesure de la conductivité et de la diffusivité d'un sable.

#### Volume horaire

CM : 13 séances de 1h45 | TD : 9 séances de 1h45 | TP : 2 séances de 4h

## C52 : Expériences numériques de mécanique des fluides - FLUENT

### 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.

### Programme

Illustration des cours de mécanique des fluides de deuxième année. - Interpréter et critiquer les résultats du code sur différents exemples classiques : développement d'une couche limite, zone de mélange, écoulement turbulent entre deux plaques planes.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 10 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 3.6 Introduction aux spécialisations ( ECTS)

### C61 : 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.

#### Programme

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.

#### Volume horaire

CM : 2 séances de 1h45 | TD : 10 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### C62 : Contrôle et commande

#### Objectifs

Former les étudiants à la méthodologie du contrôle des processus industriels ou naturels. Présenter les notions importantes de la systémique (gestion de la complexité et des aléas). Assimiler les concepts de l'automatique et les compromis fondamentaux propres aux systèmes en boucle fermée. Acquérir les connaissances de base de l'automatique fréquentielle classique.

#### Programme

Introduction à l'approche système (architecture, diagramme block et relation fonctionnelle E/S). Modélisation en transfert (symbolique) des systèmes à temps continu. Analyse du comportement des systèmes asservis suiveurs et ou régulateurs (théorie de la stabilité de NYQUIST, concept de robustesse, la précision). Méthodes de synthèse des contrôleurs dans le plan fréquentiel : compromis classiques de l'automatique (performance-robustesse et performance-immunité aux bruits). Les techniques de commande classique du monde industriel (P.I.D., modèle interne, prédicteur de SMITH). Utilisation de MATLAB/Simulink.

#### Volume horaire

CM : 11 séances de 1h45 | TD : 3 séances de 1h45 | TP : 2 séances de 4h



## C63 : Introduction à la mécanique des structures

### Objectifs

Donner des notions de base en mécanique des structures au futur ingénieur. Lui permettre de calculer les contraintes et les déformations dans une poutre dans le cas de sollicitations de type traction/compression et flexion simple.

### Programme

Géométrie des poutres : visseur Statique des poutres Energétique des poutres et méthode de résolution des systèmes hyperstatiques : calcul de l'énergie élastique de déformation – Théorèmes de Castigliano et Ménabrea Sollicitations des poutres en traction et flexion : calcul des déformées.

### Volume horaire

CM : 4 séances de 1h45 | TD : 6 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## C64 : Introduction au génie des procédés

### Objectifs

Permettre aux étudiants de savoir appréhender les problèmes d'ingénieur dans le domaine de la conception des réacteurs dans le Génie des Procédés

### Programme

- Lois des cinétiques de transfert ( Arrhénius), ordre, énergie d'activation, réactions élémentaires. - Réacteurs : bilans, modes continu et discontinu, sélectivité, écoulements (RAC, court-circuits, piston-dispersion,etc...), couplage réaction-transferts.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 4 SEMESTRE D : L'hydraulique et autres spécialisations

Ce semestre combine un tronc commun, où l'hydraulique occupe une place importante, et des enseignements optionnels regroupés en trois majeures : calcul scientifique, hydraulique de puissance et mécanique des structures. Deux mineures, totalisant un choix parmi une dizaine d'enseignements, permettent de diversifier plus encore les domaines d'applications

### 4.1 Langues est sports (4 ECTS)

#### DAPS : Activités Physiques et Sportives

##### Objectifs

Entretien d'une bonne condition physique ; acquisition et développement des qualités d'endurance.

##### Programme

Les cours hebdomadaires de deux heures groupées sont orientés vers deux types d'entraînement : préparation physique générale et sports individuels ou collectifs. De nombreuses activités sportives sont proposées aux élèves : tennis, football, volley, rugby, basket, judo, escrime, aviron, ski,... Tous ces sports peuvent être librement pratiqués par ailleurs dans le cadre des compétitions universitaires.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### DLV1 : Anglais

##### Objectifs

Permettre aux élèves, par groupes de niveaux de 15 à 20, d'acquérir des compétences linguistiques afin d'être opérationnels dans leur métier. L'apprentissage se fait sur 3 ans, chaque année dans 3 domaines : anglais de communication, anglais professionnel, anglais scientifique pour chacune des spécialités de l'école.

##### Programme

Aspects de la culture et de la civilisation anglophone. Faits langagiers et compétences de communication spécifiques à la vie professionnelle. Etude de problèmes d'éthique de l'ingénieur. Aspects des derniers développements technologiques et des futures applications. Techniques de communications : candidature à un stage, téléphoner, conduite de réunion, initiation aux affaires, comprendre l'anglais scientifique, s'exprimer efficacement, aspects du style scientifique.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### DLV2 : Langue Vivante II

##### Objectifs

Plusieurs choix de langues vivantes II : Allemand, Espagnol, ...

##### Programme

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 15 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 4.2 Formation générale (4 ECTS)

### DTPL : Travaux et Projets de Longue Durée

#### Objectifs

#### Programme

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.

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 16 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### DMET : Conférences métier

#### Objectifs

Réunir les étudiants de première et deuxième années pour des conférences centrées sur les problématiques du secteur aval.

#### Programme

Tous les lundis de 14h à 16h, des conférenciers sont invités à parler d'une grande variété de sujets. L'accent est mis sur les métiers accessibles aux élèves ingénieurs afin de leur permettre d'effectuer un certain nombre de choix (stages, options, ...) en étant bien informés.

#### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D21 : Contexte économique et management

#### Objectifs

#### Programme

Contexte économique et management L'entreprise dans son environnement économique et social Circuit économique national, relations internationales et mondialisation - L'économie de marché et le rôle de l'Etat - La croissance, déterminants et contraintes nouvelles - Le financement de l'économie - L'entreprise carrefour de la micro et de la macroéconomie

Stratégie d'entreprise - Du discours stratégique à la pratique (les exigences managériales, les concepts de base, les difficultés de mise en œuvre). - L'analyse concurrentielle - La construction du plan stratégique et le pilotage

Notions de Marketing fondamental - Le Marché (Caractéristiques, concept de marketing, études de marché) - Agir sur le Marché (Marketing-mix)

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D22 : Droit du travail

#### Objectifs

#### Programme

## Volume horaire

CM : 7 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D23 : Construction du projet professionnel II

#### Objectifs

#### Programme

Présentation de son projet professionnel Bilan d'une activité associative Simulations d'entretiens d'embauche

## Volume horaire

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 4.3 Hydraulique et aérodynamique ( ECTS)

### D31 : Hydraulique à surface libre

#### Objectifs

L'étude des écoulements à surface libre en canal ou en rivière est certainement un des aspect les plus complexes de l'hydraulique. Ce module présente les concepts de base des écoulements unidirectionnels (approche filaire) à surface libre en régime permanent ou transitoire. L'utilisation de codes de calculs pour les écoulements à surface libre permet une approche plus réaliste des situations industrielles et des écoulements en rivière. OBJECTIF : Former des ingénieurs capables d'aborder des problèmes d'hydraulique fluviale, de réseaux d'irrigation, de réseaux d'assainissement,...

#### Programme

Caractéristiques des écoulements à surface libre : profils de vitesses, frottement au fond, coefficient de Strickler. Ecoulements uniformes, définitions : hauteurs de référence (normale et critique), nombre de Froude, régimes (fluvial ou torrentiel). Ecoulements permanents variés (remous, ressaut), applications à travers des exemples : modélisation d'un écoulement naturel, calage d'une ligne d'eau sur la base de cas concrets. Présentation des écoulements non permanents (équation de Barré de Saint Venant, modèles de crues). Les problèmes posés par la modélisation numérique 1D sont abordés par l'utilisation de logiciels (SIC, MAGE).

Titre TP associé(s) : Vanne de fond et déversoir

## Volume horaire

CM : 12 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

### D32 : Ecoulements compressibles

#### Objectifs

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

#### Programme

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

## Volume horaire

CM : 7 séances de 1h45 | TD : 7 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

## 4.4 Energétique et transferts ( ECTS)

### D41 : Machines hydrauliques

#### Objectifs

La finalité première de cet enseignement est de permettre aux élèves ingénieurs d'appliquer en situation réelle, les méthodes indispensables de résolution des problèmes de conception, d'installation et d'utilisation de machines hydrauliques.

#### Programme

- Connaissances de base et analyse des conditions de similitude des écoulements de fluide appliquées aux turbomachines. - Application des théorèmes généraux de l'hydraulique (cas des fluides tournants) à l'étude de l'écoulement à l'intérieur des machines. - Pompes et stations de pompage. - Turbines hydrauliques. - Transmission et transformation de puissance (coupleurs, convertisseurs, pompes et moteurs volumétriques)

#### Volume horaire

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 9 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D42 : Turbomachines à gaz

#### 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...)

#### Programme

- 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

CM : 12 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D43 : Transferts en milieux poreux

#### Objectifs

Les notions de base concernant les milieux poreux sont présentées. La modélisation des déplacements d'humidité en milieux poreux sous l'effet de la gravité, de la capillarité, de gradients thermiques, est abordée. Des exemples concernant la résolution des régimes transitoires ou permanents illustrent le cours. Cet enseignement recouvre des domaines applicatifs larges : hydraulique souterraine, génie pétrolier, techniques de séchage, génie civil, agriculture, etc...

#### Programme

- Description et caractérisation des différentes structures physiques les plus couramment rencontrées dans les milieux poreux. Définition de paramètres propres à leur étude. - Analyse des différents modes de fixation de l'humidité dans les structures poreuses (adsorption, capillarité, ...). Exemple de modélisation des transferts d'humidité en phase vapeur ou liquide. - Présentation de certaines méthodes de résolution d'écoulements simples se produisant en hydraulique souterraine (Loi de Darcy, Ecoulements à surface libre, Ecoulements non permanents). - Illustration du cours par la résolution de problèmes d'ingénieurs à l'échelle du laboratoire ou du terrain.

#### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 4.5 Choix d'une majeure (6 ECTS)

### Hydraulique numérique de l'environnement

#### D511 : Modélisation VF Saint-Venant 1D

##### Objectifs

Ce cours a pour objectifs (i) de faire coder par la méthode des volumes finis une solution numérique des équations de Saint-Venant 1D, (ii) de sensibiliser aux comportements des solutions numériques des systèmes hyperboliques (dissipation, dispersion, discontinuité). Ce cours applique les notions introduites dans les modules HYC31

##### Programme

Introduction et rappels : les équations de Saint-Venant. Exemples de problèmes de l'ingénieur. Propriétés des équations : caractéristiques, célérités des ondes, conditions de saut et condition entropique. Onde cinématique (lois de Chezy ou de Manning). Méthodes des Volumes finis pour les systèmes hyperboliques 1D (schémas linéaires). Exemple de l'équation des ondes cinématiques (hyperbolique scalaire non-linéaire ordre 1) : modélisation des flux interfaciaux (schémas amont, Lax-Friedrichs, Lax-Wendroff). Condition CFL. Extension aux systèmes hyperboliques 1D. Dispersion et dissipation. Principe général de diminution de la dispersion par la méthode TVD. Méthode de construction de schémas hybrides avec limiteurs de flux. Travail encadré : coder (Fortran ou Matlab) un problème d'écoulement 1D à surface libre sans terme source (« Saint-Venant 1D homogène »).

##### Volume horaire

CM : 3 séances de 1h45 | TD : 7 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### D512 : Optimisation en hydraulique

##### Objectifs

##### Programme

Optimisation : S.S.Rao : Engineering Optimization (Theory and Practice) H.A.Taha : Operations Research, 2nd edition, Collier-McMilan D.G.Luenberger : Linear and Nonlinear Programming. Procédures numériques : Matlab® Optimization Toolbox Press et al. : Numerical Recipes...

##### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### D513 : Hydrodynamique de l'environnement (Calcul et Modélisation)

##### Objectifs

Cours de calcul et modélisation en hydraulique et hydrodynamique de l'environnement. Premier objectif : connaître différents modèles et outils de simulation numériques fréquemment utilisés en hydraulique environnementale. Second objectif lié au premier : mieux comprendre et maîtriser les modèles, ainsi que les méthodes de calcul, à travers quelques applications en hydraulique environnementale (fluviale, côtière, souterraine...).

##### Programme

\*1ère Partie (Cours) : Modèles utilisés en hydraulique environnementale : \* Introduction : échelles de modélisation ; milieux naturels \* Equations de conservation de masse et de quantité de mouvement \* Les équations des modèles hydrauliques spécialisés (à partir de Navier-Stokes) : \* Les équations des modèles de transport (transports solides) : \* Présentation des modèles les plus utilisés : \* 2ème Partie : Applications numériques (TD en salle machines) : Modélisation de plusieurs problèmes d'hydraulique environnementale sur ordinateur. Résolution numérique en éléments finis (et volumes finis) à l'aide d'outils tels que MATLAB(r), FEMLAB(r), et autres (scripts PYTHON, exécutables

FORTRAN). Pour cette année, MATLAB(r) sera l'outil principal de programmation, de calcul et de visualisation.  
\* Simulation de la propagation d'une crue en rivière (onde cinématique/diffusante) \* Simulation d'une houle en hydrodynamique côtière (houle de Birkhoff) \* Simulation du transport solide en rivière (charriage/dépôt; suspension/sédimentation) \* Simulation de l'écoulement d'une nappe souterraine (basée sur la loi de Darcy)

#### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## Hydraulique de puissance

### D521 : Complément sur la théorie du signal

#### Objectifs

Compléter les connaissances en traitement du signal et proposer quelques applications courantes de Mécanique des Fluides Expérimentale.

#### Programme

Convolution et problèmes inverses : applications à la métrologie et à l'identification. Théorie du filtrage (Filtres RIF et filtres RII). Introduction à l'analyse temps fréquence (Fourier court terme et ondelette). Exemple d'applications industrielles et étude de cas (composant hydrauliques et pneumatiques). Utilisation de MATLAB/Simulink.

#### Volume horaire

CM : 12 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D522 : Analyse modale

#### Objectifs

Etude des servocommandes et applications à l'hydraulique de puissance. Synthèse de contrôleurs dans le plan complexe

#### Programme

Présentation des moyens mis en œuvre dans le domaine de l'hydraulique de puissance : mécanismes à fluides (pompe, moteur..) et des servomecanismes (servocommandes electro-hydrauliques, actionneurs eha, ebha. . .) : les principaux domaines d'application et les difficultés de la modélisation et de la commande des dispositifs hydrauliques. Exposé de la théorie d'EVANS ou du « lieu des racines » (Root locus). Relations de bases et principales règles de construction. Notions de modes et définition des caractéristiques de bonnes performances. Synthèse de contrôleurs dans le plan complexe. Etude approfondie de cas : servocommandes electrohydrauliques en contrôle de position et machine d'essai à commande en effort. Utilisation du logiciel MATLAB/Simulink .

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D523 : Prototypage virtuel

#### Objectifs

La simulation système joue un rôle de plus en plus important dans la phase de conception d'un produit. L'objectif de ce module est de familiariser les étudiants à l'approche industrielle de conception intégrée (mécatronique) grâce à l'exploitation d'une « plate-forme de prototypage virtuel » AMESim très utilisée dans l'industrie en particulier dans l'hydraulique de puissance (domaines automobile et aéronautique).

## Programme

Après une présentation générale des stratégies de conception dans l'industrie, le cours vise à compléter les connaissances théoriques indispensables pour appréhender correctement les outils de simulation systèmes (introduction à la représentation en variables d'états, au Bond Graph et à la gestion des non linéarités hydrauliques). Il sera suivi par des séances de travaux dirigés sur ordinateur, pour réaliser et exploiter une simulation dynamique d'un dispositif industriel (actionneur avion).

## Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## Mécanique des structures

### D531 : Mécanique des structures et vibrations

#### Objectifs

Calculer les efforts et les déformées dans des poutres soumises à un moment de torsion et à un effort tranchant. Etudier des structures plus complexe de type treillis (assemblages de barres ou de câbles). Etudier le flambement des poutres en compression. Introduire des notions de dynamiques des structures. Déterminer des modes propres de vibration en flexion.

#### Programme

Notion de structure Treillis iso et hyperstatique, statique des cables Torsion des poutres Effort tranchant Efforts composés dans les structures Flambement des structures : calcul du chargement critique Vibration des structures en traction, torsion, flexion Méthode de calcul des modes propres en flexion simple. Etude des oscillations libres ou entretenues

#### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 10 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### D532 : Projet numérique de mécanique des structures

#### Objectifs

permettre aux étudiants de traiter à l'aide d'un outil adapté des problèmes concrets de mécanique des structures.

#### Programme

Formation générale au logiciel COMSOL Premier calcul d'un exemple simple traité analytiquement dans le cours HYC531. Utilisation du logiciel pour traiter un problème concret de mécanique : contraintes thermiques dans un matériau chauffé, interaction fluide-structure, étude de liaisons complexes, assemblages mécaniques, calcul des modes propres en vibration d'une structure, etc. . . .

#### Volume horaire

CM : 2 séances de 1h45 | TD : 13 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 4.6 Choix de deux mineures (4 ECTS)

### D611 : Méthodes numériques : Eléments Finis



## Objectifs

Initiation à la méthode des Éléments Finis.

## Programme

Le principe de la méthode est introduit et les étapes de la mise en oeuvre sont détaillées sur un exemple simple afin de permettre un passage aisé au codage. Les séances de Travaux Dirigés sont organisées en un bureau d'étude. Il consiste en la mise au point et l'exploitation d'un programme rédigé en langage FORTRAN et exploité sur micro-ordinateur.

## Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## D612 : Contrôle d'écoulement en canaux

### Objectifs

### Programme

### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## D613 : Dimensionnement des systèmes industriels

### Objectifs

### Programme

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## D614 : Aérodynamique : notions de base et applications

### Objectifs

Notions de base en aérodynamique. Caractéristiques aérodynamiques des corps portants. Place de l'aérodynamique dans l'industrie. Intervention d'industriels des domaines concernés (aéronautique, automobile, ...)

### Programme

- Notions de base en aérodynamique - Caractéristiques aérodynamiques des corps portants - Calcul des performances - Amélioration de la qualité de déplacement - Intervenants du milieu industriel : aérodynamique aéronautique, aérodynamique automobile, ...

### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## D621 : Aérosols

### Objectifs

### Programme

1) Introduction

- 2) Aérosols : quelques éléments de physique 2.1 Forces s'exerçant sur une particule aérosolisée : applications à la caractérisation des aérosols 2.2 Aérosols : interaction avec le rayonnement lumineux 2.3 Aérosols : un peu de chimie ?
- 3) Aérosols atmosphériques 3.1 Qu'est ce que l'atmosphère ? 3.2 Quels aérosols dans l'atmosphère ? 3.3 Dynamique et évolution de l'aérosol troposphérique : un aperçu des mécanismes physiques, application à un cas concret : la naissance, la vie et la mort des nuages 3.4 Transport des aérosols Deux exemples concrets de problèmes complexes impliquant les aérosols
- 4) Deux exemples concrets de problèmes complexes impliquant les aérosols 4.1 Le trou dans la couche d'ozone est-il rebouché ? 4.2 Impact des aérosols sur le climat : quelques notions

**Volume horaire**

CM : 9 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**D622 : Banc d'essai hydraulique**

**Objectifs**

**Programme**

**Volume horaire**

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**D624 : Génie nucléaire**

**Objectifs**

**Programme**

**Volume horaire**

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**D625 : Projet numérique (mineure anticipée)**

**Objectifs**

**Programme**

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 5 SEMESTRE E : Options de troisième année

Les enseignements sont pour l'instant listés en vrac.

### 5.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)

#### ELV1 : Anglais

##### Objectifs

Permettre aux élèves, par groupes de niveaux de 15 à 20, d'acquérir des compétences linguistiques afin d'être opérationnels dans leur métier. L'apprentissage se fait sur 3 ans, chaque année dans 3 domaines : anglais de communication, anglais professionnel, anglais scientifique pour chacune des spécialités de l'école.

##### Programme

Aspects de la culture et de la civilisation anglophone. Faits langagiers et compétences de communication spécifiques à la vie professionnelle. Etude de problèmes d'éthique de l'ingénieur. Aspects des derniers développements technologiques et des futures applications. Techniques de communications : candidature à un stage, téléphoner, conduite de réunion, initiation aux affaires, comprendre l'anglais scientifique, s'exprimer efficacement, aspects du style scientifique.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### SOUT : Soutenance de stage de fin de deuxième année

##### Objectifs

##### Programme

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### E21 : Développement durable, responsabilité sociale des entreprise, éthique

##### Objectifs

##### Programme

7. Développement durable, responsabilité sociale des entreprise, éthique Préoccupations éthiques et développement durable dans un contexte mondialisé Le cadre institutionnel de la RSE (Loi NRE en France) Le management global des enjeux environnementaux et sociaux de l'entreprise

##### Volume horaire

CM : 8 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### E22 : Gestion et management de projet

##### Objectifs

##### Programme

Astier : Energie

### **Volume horaire**

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **E23 : Entrepreneuriat**

### **Objectifs**

### **Programme**

La problématique de la création - Cadre général de la création / transmission – reprise - Choix d'activité et étude de marché - Le financement et le capital riche Le Business Plan (TD) Gouvernance d'entreprise et style de management

### **Volume horaire**

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **E24 : Conférences**

### **Objectifs**

### **Programme**

Conférences organisées par la Direction de l'ENSEEIH

### **Volume horaire**

CM : 4 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **6 Option Fluides et Procédés (FP)**

### **6.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)**

Voir paragraphe 5.1 en page 49

### **6.2 Pré-requis (2 ECTS)**

**Pré-requis pour les élèves de l'ENSIACET**

## **OSAT : Outils statistiques et analyse tensorielle**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **ASNE : Analyse des schémas numériques pour les équations aux dérivées partielles**

### **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.

### **Programme**

La méthode des différences finies est dans un premier temps rapellée 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 ensuite introduite. Les principales méthodes de discrétisation sont finalement présentée sous le formalisme général des méthodes aux résidus pondérés.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **MFIT : Rappel de mécanique des fluides et initiation à la turbulence**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **Pré-requis pour les élèves de l'ENSEEIH**

## **GENR : Génie de la Réaction**

### **Objectifs**

Donner aux étudiants les outils nécessaires au dimensionnement ou à l'optimisation de réacteurs de l'industrie chimique.

### **Programme**

Présentation des différents types de réacteurs (monophasiques, polyphasiques); établissement de bilans de masse et de chaleur et analyse de l'écoulement et des phénomènes de transfert et de réaction.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **TRAM : Transfert de matière**

### **Objectifs**

Donner aux étudiants les outils nécessaires à la modélisation des phénomènes de transferts de masse.

### **Programme**

Rappels des lois de diffusion (Fick, Maxwell), coefficients de diffusion, coefficients de transfert, transfert et réaction chimique (Hatta, ...)

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 6.3 Enseignements fondamentaux (6 ECTS)

### PHET : Physique des écoulements turbulents incompressibles

#### Objectifs

L'objectif de cet enseignement est de donner accès aux savoirs sur les phénoménologies tourbillonnaires associées aux mécanismes et transferts énergétiques internes à l'agitation turbulente isovolume.

#### Programme

Dynamique du rotationnel : équation du rotationnel, modes d'interaction 2D et 3D. Enstrophie. Structures cohérentes : origine, coalescence. Turbulence homogène et isotrope : théorie corrélatoire en deux points et mécanismes associés : décroissance énergétique, croissance d'échelles, invariant de Loitsyanski. Approche spectrale : équation de Lin et transfert inter tourbillonnaire. La conceptualisation statistique classique du transfert énergétique 3D : expression de la dissipation selon Batchelor, hypothèses de Kolmogorov et leurs conséquences sur la cascade énergétique : échelles de Kolmogorov, normalisation spectrale, loi en  $-5/3$ .

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### MTSS : Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires

#### Objectifs

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

#### Programme

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.

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### DIPH : Ecoulements diphasiques

#### 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).

#### Programme

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces. - Equations générales des milieux diphasiques.
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...). - Ebullition, condensation à l'échelle de la particule. - Dispersion, rupture, coalescence, rebond des particules.

#### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## SATU : Utilisation du code de calcul SATURNE

### Objectifs

Ce TD a pour objectif de familiariser les étudiants à l'utilisation d'un code de calcul de mécanique des fluides numérique industriel (code ESTET-ASTRID EDF/SIMULOG) en l'appliquant à la simulation de situations classiques rencontrées en Génie des Procédés.

### Programme

Par discussion interactive avec les étudiants, reconstruction du contenu et de l'organisation d'un code de calcul industriel, mise en évidence des points clés de la résolution d'un problème réel et de leur relation avec les différentes composantes du code : analyse physique de cas différents (monophasique avec ou sans transfert de matière, diphasique lagrangien ou eulérien, géométrie complexe, ...); réalisation d'un maillage; préparation du calcul et lancement; visualisation et analyse critique des résultats; étude de l'influence de paramètres (lien avec le procédé et son optimisation).

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 6.4 Phénomènes interfaciaux et fluides complexes (5,5 ECTS)

### PHEI : Phénomènes interfaciaux

#### Objectifs

I. Thermodynamique des interfaces (J-P Canselier 14h) : La thermodynamique des interfaces G-L, L-L et L-S, a pour but de fournir les bases à l'étude des propriétés de milieux hétérogènes à l'échelle capillaire (mousses, émulsions). Les phénomènes de surface contrôlent la formation d'une nouvelle phase (nucléation) ou les variations de l'aire interfaciale (émulsification, mouillage). II. Evolution des systèmes polydispersés (O. Masbernat 6h) Introduction à la modélisation du taux de variation de l'aire interfaciale dans les milieux polydispersés réactifs, incluant les phénomènes de fragmentation, de coalescence et d'agrégation. III. Bilans de populations : méthodes des classes (E. Climent 2h) Présentation d'un algorithme de résolution de bilan de population. IV. TP Simulation bilan de population (E. Climent/O. Masbernat 4h) Simulation de bilans de population dans diverses configurations (coagulation en mouvement brownien, fragmentation en écoulement turbulent, etc.)

#### Programme

I. TI Introduction : états de la matière, colloïdes et interfaces. Interface fluide-fluide : modèle de la zone interfaciale, tension superficielle ou interfaciale. Adhésion, cohésion, étalement. Films minces, viscosité superficielle. Interfaces solide-fluide, mouillage, adsorption. Interfaces chargés : la double couche électrique. Potentiel de Stern et potentiel, phénomènes électrocinétiques, électrocapillarité. Modification des interfaces, tensio-actifs, adsorption aux interfaces, association en solution. Systèmes à l'équilibre. Systèmes hors d'équilibre. Aspects mécaniques et dynamiques : rhéologie des milieux dispersés, agents de réduction de traînée. II. ESP Milieux polydispersés dans les procédés diphasiques, distributions en taille/fonction de répartition/moments/aire interfaciale, métrologie. Phénomènes aux interfaces, taux de variation de l'aire interfaciale, bilans de population. Taux de disparition/apparition d'aire interfaciale par rupture/coalescence/agrégation. Bilans de populations. Exemple de lois phénoménologiques (fragmentation/coalescence/agrégation) et modèles physiques. III. BP Résolution numérique d'un bilan de population par la méthode des classes. Discrétisation/technique de résolution/formation au logiciel sous Matlab. IV. TP BP Simulation du BP/Implantation des noyaux/Résolution, analyse des résultats/Etude de sensibilité

Titre TP associé(s) : Bilan de Population

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### CORA : Coalescence, rupture et agrégation

## Objectifs

## Programme

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### RHEO : Rhéologie des fluides complexes

## Objectifs

Enseignement d'interface entre Fluides et Procédés, visant à prendre en compte le comportement mécanique réel de milieux continus sollicités dont les propriétés conjuguent des aspects de viscosités, d'élasticité et de plasticité superposés ou successifs.

## Programme

Notions de base en Rhéologie : analyse de comportements, fluides inélastiques newtoniens ou non-newtoniens, éléments de viscoélasticité linéaires et méthodes analogiques de traitement, notions de plasticité et de critères associés, méthodes expérimentales de caractérisation, rhéométrie, rhéologie des suspensions et des émulsions, rhéologie des polymères fondus et en solution - Modélisation et lois de comportement, simulation numérique d'écoulements de fluides non newtoniens, dimensionnement de conduites et pompes pour transporter des fluides hautement visqueux. Choix et calcul de cuves agitées pour ce même type de fluide.

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### SEPA : Techniques de séparation des suspensions solide-liquide

## Objectifs

Introduction à la physique des suspensions liquide-solide (aspect hydrodynamique, physico-chimie, etc). Présentation des principales techniques de séparation utilisées en génie des procédés (filtration, décantation, etc )

## Programme

Introduction (définitions, ...). Physique des suspensions liquide-solide (hydrodynamique, physico-chimie, ...). Techniques de séparation : filtration (filtration en profondeur, osmose inverse, ultra et microfiltration) , décantation (décantation accélérée, décanteur lamellaire), autres techniques (centrifugation ...)

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 6.5 Milieux hétérogènes et multiphasiques (5,5 ECTS)

### ECGP : Ecoulements gaz-particules

## Objectifs

Initiation aux approches lagrangiennes et eulériennes pour la modélisation statistique des écoulements turbulents gaz-particules. Caractérisation des mécanismes prédominants d'interactions particule-turbulence et particule-particule en régimes dilués. Présentation et discussion du domaine de validité des hypothèses de fermeture.

## Programme



Domaines d'application. Méthodes générales de simulation : -approche déterministe Lagrangienne, -approches statistiques.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **MGRA : Milieux granulaires**

### **Objectifs**

Les matériaux granulaires sont rencontrés dans de très nombreuses applications industrielles. 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 (déserts, avalanches, ...). Ce cours a pour objectif de présenter les principes physiques qui régissent les comportements microscopiques et macroscopiques de la matière en grains et qui sont à la base des modèles utilisés en pratique notamment dans le domaine de la simulation numérique..

### **Programme**

Ce cours se décomposera de la manière suivante : 1- Introduction et Enjeux industriels 2- Physique à l'échelle de la particule 3- Statique des milieux granulaires (empilement, angle de talus, distribution de pression, états de Rankine) 4- Dynamique des milieux granulaires (Avalanches, vidange de silo, cisaillement, ségrégation) 5- Modélisation numérique L'exposé oral a pour objectif la présentation d'un procédé industriel ou d'un phénomène naturel mettant en jeu la physique des milieux granulaires.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **MIPO : Transferts en milieu poreux**

### **Objectifs**

Introduction à la modélisation des phénomènes de transport en milieu poreux ou fracturés

### **Programme**

Quelques domaines d'applications des milieux poreux, Diffusion , écoulement monophasique (Loi de Darcy), dispersion en milieu poreux. Transferts de chaleur conductif et convectif en milieu poreux. Phénomènes superficiels (capillarité, mouillage). Ecoulements diphasiques en milieu poreux.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **TEDT : Transport et dispersion turbulente**

### **Objectifs**

Donner aux élèves les bases de la description de la phénoménologie turbulente et de ses conséquences vis-à-vis du mélange d'un scalaire passif.

### **Programme**

Eléments mathématiques de description de la turbulence. Théorie de Kolmogorov, incluant le cas des scalaires passifs à petit et grand nombre de Schmidt (théorie de Corrsin-Batchelor). Dispersion de Taylor ; Dispersion de particules

rigides (théorie de Tchen). Notion de diffusivité turbulente (introduction à partir d'une approche de champ moyen). Diffusion d'un scalaire au travers d'une surface solide ou libre.

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **6.6 Transferts et réacteurs (5,5 ECTS)**

### **TRMT : Transferts et réactions en milieux turbulents**

#### **Objectifs**

#### **Programme**

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **CHPH : Ecoulements diphasiques avec changement de phase**

#### **Objectifs**

Cet enseignement a pour but de donner au futur ingénieur des outils de modélisation et de dimensionnement d'installations thermohydrauliques où 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.

#### **Programme**

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**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **TRAI : Traitement des eaux : eaux potables et eaux usées**

#### **Objectifs**

Par une approche combinant le Génie des Procédés et la Mécanique des Fluides, faire connaître les techniques de traitement classiques dans la production de l'eau potable, du traitement des eaux usées et des boues

#### **Programme**

- Traitement de l'eau potable : traitements classiques : pré-oxydation, coagulation-floculation, décantation, désinfection... ;  
- Assainissement : implantation des stations, caractérisation des effluents urbains ; pré-traitements : stockage, dégrillage, tamisage ; traitements primaires ; traitement secondaire. - Traitement et valorisation des boues : Épaississement ; digestion aérobie et anaérobie des boues ; déshydratation

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## AGIT : Agitation - Mélange

### Objectifs

### Programme

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## COMS : Ecoulements et transferts - COMSOL

### Objectifs

### Programme

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 7 Option Énergétique (ENG)

### 7.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)

Voir paragraphe 5.1 en page 49

### 7.2 Enseignement Fondamentaux (6 ECTS)

## PHET : Physique des écoulements turbulents incompressibles

### Objectifs

L'objectif de cet enseignement est de donner accès aux savoirs sur les phénoménologies tourbillonnaires associées aux mécanismes et transferts énergétiques internes à l'agitation turbulente isovolume.

### Programme

Dynamique du rotationnel : équation du rotationnel, modes d'interaction 2D et 3D. Enstrophie. Structures cohérentes : origine, coalescence. Turbulence homogène et isotrope : théorie corrélatoire en deux points et mécanismes associés : décroissance énergétique, croissance d'échelles, invariant de Loitsyanski. Approche spectrale : équation de Lin et transfert inter tourbillonnaire. La conceptualisation statistique classique du transfert énergétique 3D : expression de la dissipation selon Batchelor, hypothèses de Kolmogorov et leurs conséquences sur la cascade énergétique : échelles de Kolmogorov, normalisation spectrale, loi en  $-5/3$ .

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## MODT : Modélisation de la turbulence à grand nombre de Reynolds

## Objectifs

L'objectif de cet enseignement est (i) d'apporter les connaissances physiques indispensables à l'élaboration mathématique de fermetures des équations statistiques de la turbulence par modélisation en un point (ii) en vue d'acquérir une compétence de choix critique de ces modèles à l'usage de l'ingénieur.

## Programme

Classification des écoulements turbulents. Turbulence homogène et écoulements cisailés simples. Propriétés distinctives en turbulence libre (jet, sillage, zone de mélange) et turbulence de paroi (couche limite, conduite). Panorama des méthodes actuelles de calcul en turbulence : simulation directe, simulation des grandes échelles, fermetures spectrales et en un point). Détails des fermetures en un point à grand nombre de Reynolds de turbulence : concept de viscosité de turbulence, modèle du premier ordre, fermetures au second ordre en turbulence homogène et inhomogène (action du champ moyen, redistribution, dissipation, diffusion), schémas linéaires et non-linéaires.

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## MIPO : Transferts en milieu poreux

### Objectifs

Introduction à la modélisation des phénomènes de transport en milieu poreux ou fracturés

### Programme

Quelques domaines d'applications des milieux poreux, Diffusion, écoulement monophasique (Loi de Darcy), dispersion en milieu poreux. Transferts de chaleur conductif et convectif en milieu poreux. Phénomènes superficiels (capillarité, mouillage). Ecoulements diphasiques en milieu poreux.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## DIPH : Ecoulements diphasiques

### 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).

### Programme

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces. - Equations générales des milieux diphasiques.
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...). - Ebullition, condensation à l'échelle de la particule.
- Dispersion, rupture, coalescence, rebond des particules.

### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 7.3 Aérodynamique et combustion (6 ECTS)

### AERO : Aérodynamique

#### Objectifs

Acquérir les connaissances de base pour aborder les problèmes d'aérodynamique autour de tout type de véhicule. A partir des caractéristiques aérodynamiques de l'avion, des profils et des ailes donner les bases théorique et physique pour comprendre le fonctionnement et les propriétés des corps profilés et accéder au calcul de ses performances et des qualités de vol.

#### Programme

Définition des normes appliquées en aérodynamique des profils et des ailes (repères, angles, coefficients, forces, moments). Caractéristiques géométriques des profils et des ailes. Description de l'écoulement autour d'un profil. Effets de la géométrie, du nombre de Reynolds et du nombre de Mach. Décollement et décrochage. Théorie linéaire. Domaines du vol. Théorie des profils minces. Effets d'incidence et de braquage. Effets portants et d'épaisseur. Etude des ailes : Théorie tourbillonnaire des ailes. Théorie de Prandtl. Coefficients aérodynamiques. Traînée induite. Théorie de la surface portante. Méthodes modernes en aérodynamique.

BE en soufflerie ( 4h par BE, 2 groupes)

#### Volume horaire

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### COMB : Combustion

#### 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.

#### Programme

- 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

#### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### FLAM : Flammes et foyers

#### Objectifs

Cet enseignement traite de l'utilisation de la combustion dans les foyers industriels de type brûleur, foyers aéronautiques ou encore moteurs à piston . Les processus d'inflammation d'un mélange ainsi que la détonation sont traités. L'injection de carburant sous forme liquide et la combustion hétérogène est également abordée.

#### Programme

- Flammes de diffusion et de pré-mélange - Inflammation - Bilans énergétiques - Combustion hétérogène - Détonation - Formation des polluants - Combustion Industrielle : brûleurs, moteurs à pistons, foyers aéronautiques.

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**ECGP : Ecoulements gaz-particules****Objectifs**

Initiation aux approches lagrangiennes et eulériennes pour la modélisation statistique des écoulements turbulents gaz-particules. Caractérisation des mécanismes prédominants d'interactions particule-turbulence et particule-particule en régimes dilués. Présentation et discussion du domaine de validité des hypothèses de fermeture.

**Programme**

Domaines d'application. Méthodes générales de simulation : -approche déterministe Lagrangienne, -approches statistiques.

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**7.4 Transformation de l'énergie (4,5 ECTS)****MTHE : Machines Thermiques****Objectifs**

La transformation de l'énergie dans les machines thermiques. L'analyse des cycles moteurs (gaz, vapeur) et récepteurs (pompe à chaleur, réfrigérateur) et des méthodes modernes de conversion de l'énergie (cycle mixtes, cogénération).

**Programme**

- Théorie des cycles thermodynamiques. - Les diagrammes et leur utilisation - L'air humide - Cycles à gaz : turbine à gaz, turboréacteur, moteur alternatif. - Cycles à vapeur, à surchauffe, à soutirage, à co-génération, géothermiques. - Pompes à chaleur et réfrigérateur. - Applications de l'air humide : réfrigération, séchage, conditionnement.

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**HYDI : Hydraulique diphasique****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, ...).

**Programme**

- 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.

### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## CHPH : Ecoulements diphasiques avec changement de phase

### Objectifs

Cet enseignement a pour but de donner au futur ingénieur des outils de modélisation et de dimensionnement d'installations thermohydrauliques où 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.

### Programme

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

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 7.5 Simulations numériques (4 ECTS)

### MTSS : Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires

### Objectifs

Etudier les différents modèles de turbulence du premier ordre employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

### Programme

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.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### SNDG : Simulation numérique directe et simulation des grandes échelles

### Objectifs

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. Le cours est illustré par un certain

nombre d'exercices de calcul scientifique à réaliser en travail personnel à partir de programmes informatiques fournis par les enseignants. Un rapport individuel noté sur ce travail tient lieu d'évaluation

### **Programme**

Classification des méthodes de résolution des écoulements turbulents. Introduction à la simulation directe : caractéristiques, intérêts et limites, schémas. Introduction de la simulation des grandes échelles : modélisation sous-maille, schémas numériques. A chaque cours est réservée une demi-heure pour discuter des difficultés rencontrées sur les exercices du travail personnel.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **CODC : Utilisation des codes de calcul**

### **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. De plus, la modélisation de situations tridimensionnelles est mise en avant.

### **Programme**

- présentation de maillages complexes - utilisation de différents modèles de turbulence - illustration par le traitement d'un bureau d'étude représentatif de l'option choisie

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 8 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **7.6 Mécanique des fluides industrielle (3 ECTS)**

### **TMAC : Thermodynamique des machines**

### **Objectifs**

La transformation de l'énergie dans les machines thermiques. Le concept d'exergie et l'utilisation critique des rendements thermodynamiques et énergétiques. L'analyse des cycles moteurs (gaz, vapeur) et récepteurs (pompe à chaleur, réfrigérateur) et des méthodes modernes de conversion de l'énergie (cycle mixtes, cogénération).

### **Programme**

- Conservation de l'énergie. - Second principe et introduction de l'exergie. - Compressions, détente, transferts de chaleur, combustion. - Théorie des cycles thermodynamiques. Cycles à gaz, Cycles à vapeur, Pompes à chaleur et réfrigérateur. - Applications de l'air humide : réfrigération, séchage, conditionnement.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **BESM : BES Moteur**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**



CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **AIMP : Applications industrielles des milieux poreux**

### **Objectifs**

Description de situations industrielles où les phénomènes de transport en milieux poreux jouent un rôle clé : géothermie, génie pétrolier, évaporateurs capillaires, séchage

### **Programme**

Echange de chaleur dans les réservoirs souterrains (Géothermie). Procédés de récupération en réservoir pétrolier. Séquestration du CO<sub>2</sub>. Séchage. Evaporateurs capillaires et boucles fluides à pompage capillaire.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **8 Option Mécanique des Fluides (MFN)**

### **8.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)**

Voir paragraphe 5.1 en page 49

### **8.2 Module optionnel (8 ECTS)**

#### **Mécanique des fluides pour l'énergétique**

## **COMB : Combustion**

### **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.

### **Programme**

- 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

### **Volume horaire**

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **DIPH : Ecoulements diphasiques**

### **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).

### Programme

- Bilans de masse, quantité de mouvement et énergie aux interfaces. - Equations générales des milieux diphasiques.  
- Forces exercées sur une particule (traînée, portance, masse ajoutée...). - Ebullition, condensation à l'échelle de la particule. - Dispersion, rupture, coalescence, rebond des particules.

### Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## MNIF : Méthodes numériques et 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 (énergétique et procédés) 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,...).

### Programme

Les méthodes 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 où 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.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## ECGP : Ecoulements gaz-particules

### Objectifs

Initiation aux approches lagrangiennes et eulériennes pour la modélisation statistique des écoulements turbulents gaz-particules. Caractérisation des mécanismes prédominants d'interactions particule-turbulence et particule-particule en régimes dilués. Présentation et discussion du domaine de validité des hypothèses de fermeture.

### Programme

Domaines d'application. Méthodes générales de simulation : -approche déterministe Lagrangienne, -approches statistiques.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## SATU : Utilisation du code de calcul SATURNE

### Objectifs

Ce TD a pour objectif de familiariser les étudiants à l'utilisation d'un code de calcul de mécanique des fluides numérique industriel (code ESTET-ASTRID EDF/SIMULOG) en l'appliquant à la simulation de situations classiques rencontrées en Génie des Procédés.

### Programme

Par discussion interactive avec les étudiants, reconstruction du contenu et de l'organisation d'un code de calcul industriel, mise en évidence des points clés de la résolution d'un problème réel et de leur relation avec les différentes composantes du code : analyse physique de cas différents (monophasique avec ou sans transfert de matière, diphasique lagrangien ou eulérien, géométrie complexe, ...); réalisation d'un maillage; préparation du calcul et lancement; visualisation et analyse critique des résultats; étude de l'influence de paramètres (lien avec le procédé et son optimisation).

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## Mécanique des fluides pour l'environnement

### CLAT : Couche limite atmosphérique

### Objectifs

### Programme

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### HLCO : Hydrodynamique littorale et côtière

### Objectifs

L'objectif cet enseignement est d'introduire les phénomènes physiques régissant l'hydrodynamique des zones littorales et côtières et de présenter les approches utilisées pour leur modélisation.

### Programme

1. Introduction : phénoménologie, échelles spatio-temporelles et applications. 2. Modélisation de la houle : Théorie des ondes de surface linéaires sur fond plat - Réfraction de la houle par la bathymétrie et les courants à l'approche du littoral (tracé de rayon, propagation de l'énergie) – Déferlement - Diffraction de la houle (équation de Berkhoff). 3. Modélisation des courants : établissement des équations de St-Venant en présence d'ondes courtes – tensions de radiation – courants de houle.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### TRME : Transport et mélange

### Objectifs

### Programme

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### TSMO : Transport sédimentaire et morphodynamique

#### 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

#### Programme

1. Introduction. 2. Caractéristiques physiques des sédiments. 3. Mise en mouvement (sédiments non-cohésifs) : équilibre d'une particule, seuil de mise en mouvement, diagramme de Shields, effet de la pente du fond, limites de validité. 4. Estimation des flux sédimentaires (sédiments non-cohésifs) : typologie des modes de transport – estimation des flux transportés par charriage – estimation des flux transportés en suspension. 5. Cas des sédiments cohésifs. 6. Morphodynamique : équation d'évolution du fond, instabilités.

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### BESZ : BES Ecoulements à surface libre

#### Objectifs

Utilisation d'un code de calcul 2D à surface libre (TELEMAC) pour la modélisation d'écoulements en rivières, lacs et estuaires. Modélisation d'inondations, de transport sédimentaire, de rupture de barrages.

#### Programme

- utilisation du mailleur - utilisation du module de transport sédimentaire - couplage avec les modèles de calcul de houle - utilisation du post-processeur graphique - traitement de cas réels

## Volume horaire

CM : 4 séances de 1h45 | TD : 12 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 8.3 Modélisation et simulation des écoulements turbulents (4,5 ECTS)

### PHET : Physique des écoulements turbulents incompressibles

#### Objectifs

L'objectif de cet enseignement est de donner accès aux savoirs sur les phénoménologies tourbillonnaires associées aux mécanismes et transferts énergétiques internes à l'agitation turbulente isovolume.

#### Programme

Dynamique du rotationnel : équation du rotationnel, modes d'interaction 2D et 3D. Enstrophie. Structures cohérentes : origine, coalescence. Turbulence homogène et isotrope : théorie corrélatoire en deux points et mécanismes associés : décroissance énergétique, croissance d'échelles, invariant de Loitsyanski. Approche spectrale : équation de Lin et transfert inter tourbillonnaire. La conceptualisation statistique classique du transfert énergétique 3D : expression de la dissipation selon Batchelor, hypothèses de Kolmogorov et leurs conséquences sur la cascade énergétique : échelles de Kolmogorov, normalisation spectrale, loi en  $-5/3$ .

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**MTSS : Modèles de turbulence pour les simulations numériques stationnaires****Objectifs**

Etudier les différents de modèles de turbulence du premier ordre employés dans les codes industriels, préciser leurs avantages et inconvénients

**Programme**

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.

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**SNDG : Simulation numérique directe et simulation des grandes échelles****Objectifs**

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. Le cours est illustré par un certain nombre d'exercices de calcul scientifique à réaliser en travail personnel à partir de programmes informatiques fournis par les enseignants. Un rapport individuel noté sur ce travail tient lieu d'évaluation

**Programme**

Classification des méthodes de résolution des écoulements turbulents. Introduction à la simulation directe : caractéristiques, intérêts et limites, schémas. Introduction de la simulation des grandes échelles : modélisation sous-maille, schémas numériques. A chaque cours est réservée une demi-heure pour discuter des difficultés rencontrées sur les exercices du travail personnel.

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**8.4 Méthodes numériques pour les écoulements (7 ECTS)****MNEI : Méthodes numériques pour la simulation des écoulements incompressibles****Objectifs**

Donner les principaux algorithmes utilisés pour la simulation numérique des écoulements incompressibles

**Programme**

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. On présentera ensuite les techniques performantes pour la résolution des grands systèmes linéaires obtenus après discrétisation des équations. Enfin, on donnera un aperçu des techniques de génération de maillage.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **MNEC : Méthodes numériques pour la simulation des écoulements compressibles**

### **Objectifs**

L'objectif de ce cours est d'introduire les principales méthodes numériques utilisées pour résoudre les équations régissant les écoulements de gaz et plus généralement les problèmes hyperboliques quasi- linéaires.

### **Programme**

Après avoir souligné les spécificités de ces écoulements du point de vue de la modélisation numérique, on présente les schémas classiques basés soit sur une discrétisation combinée de l'espace et du temps (Lax-Wendroff, Mac-Cormack) soit sur la méthode des lignes. Les techniques numériques modernes pour la capture des discontinuités (solveurs de Riemann) sont introduites, ainsi que les conditions aux limites pour les problèmes ouverts et l'analyse spectrale des approximations.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **BESI : BES Ecoulements Incompressibles**

### **Objectifs**

Développer un code de calcul 2D résolvant les équations de Navier Stokes incompressibles par un algorithme de projection.

### **Programme**

On développera un code de calcul 2D basé sur une approche volume finis pour la discretisation spatiale et un algorithme de projection pour le couplage pression-vitesse. On appliquera le code de calcul au problème de la cavité entraînée 2D. On comparera différents schémas de discretisation spatiale pour les termes de convection ( schéma amont - schéma centré) avec des résultats de la littérature sur ce problème.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **BSCL : BES Schémas et conditions aux limites**

### **Objectifs**

Le BES a pour but de sensibiliser les élèves au comportement numérique des schémas, en se basant sur l'exemple des équations d'Euler compressibles monodimensionnelles. C'est l'occasion d'aborder l'acoustique physique.

### **Programme**

Tous les calculs sont faits à l'aide du programme SLC, dont une version presque intégrale est fournie afin de limiter le temps de programmation pendant le BES. Seules quelques lignes à compléter, afin de familiariser l'élève avec le code , et de façon plus générale illustrer la technique de programmation en mécanique des fluides numérique. Tous les éléments de cours nécessaires à la réalisation du BES sont rappelés. On étudie analytiquement et numériquement le comportement et la stabilité de différents schémas spatiaux. On s'intéresse à l'implantation des conditions limites, dans des configurations simplifiées puis dans des situations complexes.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 8.5 Calcul scientifique intensif (2,5 ECTS)

### CALP : Calcul parallèle

#### Objectifs

Faire acquérir aux étudiants la maîtrise des techniques de programmation utilisées en calcul scientifique parallèle sur architectures à mémoire distribuée.

#### Programme

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### IPCS : Informatique pour le calcul scientifique

#### Objectifs

#### Programme

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### BMCI : BES maîtrise des codes industriels

#### Objectifs

#### Programme

#### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 9 Option Sciences de l'Eau et Environnement (SEE)

### 9.1 Enseignement de Formation générale (6,5 ECTS)

Voir paragraphe 5.1 en page 49

### 9.2 Écoulements environnementaux (9 ECTS)

### CLAT : Couche limite atmosphérique

#### Objectifs

#### Programme

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **HLCO : Hydrodynamique littorale et côtière**

### **Objectifs**

L'objectif cet enseignement est d'introduire les phénomènes physiques régissant l'hydrodynamique des zones littorales et côtières et de présenter les approches utilisées pour leur modélisation.

### **Programme**

1. Introduction : phénoménologie, échelles spatio-temporelles et applications. 2. Modélisation de la houle : Théorie des ondes de surface linéaires sur fond plat - Réfraction de la houle par la bathymétrie et les courants à l'approche du littoral (tracé de rayon, propagation de l'énergie) – Déferlement - Diffraction de la houle (équation de Berkhoff). 3. Modélisation des courants : établissement des équations de St-Venant en présence d'ondes courtes – tensions de radiation – courants de houle.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **TRME : Transport et mélange**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **TSMO : Transport sédimentaire et morphodynamique**

### **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

### **Programme**

1. Introduction. 2. Caractéristiques physiques des sédiments. 3. Mise en mouvement (sédiments non-cohésifs) : équilibre d'une particule, seuil de mise en mouvement, diagramme de Shields, effet de la pente du fond, limites de validité. 4. Estimation des flux sédimentaires (sédiments non-cohésifs) : typologie des modes de transport – estimation des flux transportés par charriage – estimation des flux transportés en suspension. 5. Cas des sédiments cohésifs. 6. Morphodynamique : équation d'évolution du fond, instabilités.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **ASOL : Aérosols**

### **Objectifs**

Ce cours a pour objectif de présenter les notions de base qui permettront à l'ingénieur d'appréhender un problème/une situation impliquant un aérosol (par exemple, lors de l'échantillonnage et la caractérisation d'un aérosol quelconque, le transport d'un nuage de pollution, etc).



On présente tout d'abord quelques éléments de physique, à l'échelle d'une particule en suspension dans l'air, qui interviennent à chaque fois que l'on a affaire à un aérosol (forces agissant sur une particule, interaction avec le rayonnement lumineux,...). Puis, le cours se concentre sur les aérosols atmosphériques (nature, description, modélisation du transport). Enfin, le cours présente 2 cas de problèmes environnementaux majeurs dont la compréhension fait intervenir les aérosols : le trou dans la couche d'ozone et le réchauffement climatique.

## Programme

### 1) Introduction

- Définitions et exemples - Aerosol Science” : un rapide historique - Caractérisation des aérosols

### 2) Aérosols : quelques éléments de physique

2.1 Forces s'exerçant sur une particule aérosolisée : applications à la caractérisation des aérosols - Forces d'origine hydrodynamique et effets non-continus - Mouvement brownien et thermophorèse - Forces “physico-chimiques”

2.2 Aérosols : interaction avec le rayonnement lumineux - Diffusion et absorption de la lumière par une particule sphérique. - Atténuation d'un faisceau lumineux par un aérosol. Visibilité, limite visuelle et pollution atmosphérique.

2.3 Aérosols : un peu de chimie ?

### 3) Aérosols atmosphériques

3.1 Qu'est ce que l'atmosphère ?

3.2 Quels aérosols dans l'atmosphère ? - Origine des aérosols atmosphériques (naturelle et anthropogéniques) - Description/Modélisation en terme de distributions continues - Variabilité spatio-temporelle : quelques exemples - Les aérosols stratosphériques

3.3 Dynamique et évolution de l'aérosol troposphérique : un aperçu des mécanismes physiques, application à un cas concret : la naissance, la vie et la mort des nuages - Nucléation - Condensation et évaporation - Coalescence et coagulation - Dépôt sèche et humide

3.4 Transport des aérosols - Position du problème - Différents types d'approche

### 4) Deux exemples concrets de problèmes complexes impliquant les aérosols

4.1 Le trou dans la couche d'ozone est-il rebouché ? - L'ozone : petite présentation - 1985 : La découverte du trou dans la couche d'ozone - A la recherche d'une explication scientifique... - Le protocole de Montréal et la situation à ce jour. Moralité de l'histoire

4.2 Impact des aérosols sur le climat : quelques notions - Introduction : bilan radiatif de la planète Terre. Notion de forçage radiatif et de “réponse climatique” - Le réchauffement climatique : gaz à effets de serre et aérosols atmosphériques - Aérosols : forçage direct (modèle d'absorption-diffusion d'une couche d'aérosol) et indirect

## Volume horaire

CM : 10 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## COCA : Code de calcul en environnement

### Objectifs

illustrer les cours de mécanique des fluides appliquées à l'environnement dispensés dans l'option Sciences de l'eau et de l'environnement

### Programme

10 séances de TD en salle machine avec utilisation de codes aérodynamiques et environnementaux du type Fluent, StarCd, Cormix, Comsol ou autres.

## Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 10 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### 9.3 Hydrologie (7,5 ECTS)

#### CYCL : Cycle de l'eau et bassins versants

##### Objectifs

Ce cours d'hydrologie générale pour l'ingénieur a pour objectifs l'étude des aspects physiques de l'hydrologie, et la familiarisation avec une large gamme de méthodes d'analyses en hydrologie appliquée.

##### Programme

Ce cours généraliste est organisé autour des aspects physiques du cycle de l'eau en hydrologie de surface : bilan énergétique et radiatif d'une surface, évapotranspiration, précipitation, infiltration, ruissellement, écoulement en rivières, en bassins, en réseaux hydrographiques. Voici quelques uns des thèmes abordés en cours et en bureau d'étude : évaporation de nappes d'eau ; caractéristiques morphologiques et topographiques des bassins versants et des réseaux hydrographiques ; modélisation hydrologique ; relations pluie-débit

##### Volume horaire

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### HSOU : Hydrologie souterraine

##### Objectifs

Ce cours a pour objectif de présenter une approche quantitative des circulations d'eaux souterraines, leur interaction avec l'hydrologie de surface et cotière (nappe-rivière, intrusion saline...), et les problèmes d'exploitation des ressources en eau souterraines (pompages).

##### Programme

On utilise les lois d'écoulements en milieux poreux, en particulier les équations des nappes souterraines en écoulements saturés, confinés ou à surface libre (autres outils : théorie de l'infiltration en sols non saturés). Partant de la loi de Darcy, on développe les équations spécifiques à certains types écoulements souterrains : conditions aux surfaces libres et aux interfaces hydrologiques ; équations des écoulements plans de nappes intégrées sur la verticale ; drainance à travers les couches semi-perméables, pompages. On se penche ensuite sur des études de cas.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### HSTA : Hydrologie statistique

##### Objectifs

Approfondir le cours d'hydrologie générale à l'aide d'une approche statistique et probabiliste des processus pluies-débits, avec des méthodes de traitement de données spatio-temporelles adaptées aux problèmes de l'hydrologie.

##### Programme

- Analyse statistique univariée et estimation de crues de projet. - Analyse statistique multivariée, régression multiple généralisée, corrélation multiple, et analyse en composantes principales (ACP) : applications à la critique, reconstitution, et/ou cartographie de données réelles. - Analyses statistiques de séries chronologiques provenant de réseaux de mesures hydrométéorologiques et hydrogéologiques. Reconstructions pluies-débits. - 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.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **HTRA : Hydrologie des transferts**

#### **Objectifs**

Analyse physique et modélisation des principaux mécanismes intervenant dans l'évolution d'un polluant dans les sols et les formations souterraines.

#### **Programme**

Généralités sur la pollution des eaux souterraines, dépollution. Diffusion en milieu poreux. Dispersion en milieu poreux. Phénomènes de sorption. Ecoulements polyphasiques en milieu poreux. Dépollution par aération.

#### **Volume horaire**

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 6 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **BESZ : BES Ecoulements à surface libre**

#### **Objectifs**

Utilisation d'un code de calcul 2D à surface libre (TELEMAC) pour la modélisation d'écoulements en rivières, lacs et estuaires. Modélisation d'inondations, de transport sédimentaire, de rupture de barrages.

#### **Programme**

- utilisation du mailleur - utilisation du module de transport sédimentaire - couplage avec les modèles de calcul de houle - utilisation du post-processeur graphique - traitement de cas réels

#### **Volume horaire**

CM : 4 séances de 1h45 | TD : 12 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **9.4 Ingénierie de l'aménagement (7 ECTS)**

### **MSOL : Mécanique des sols**

#### **Objectifs**

obtenir les notions de base en mécanique des sols afin d'être en mesure de dialoguer avec des géotechniciens

#### **Programme**

Qu'est ce qu'un sol – classification des sols – l'eau dans le sol - résistance des sols – reconnaissance au labo et in-situ

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **INGO : L'ingénierie des ouvrages hydrauliques**

#### **Objectifs**

Montrer comment utiliser les acquis des 3 années pour la conception et la réalisation d'aménagements hydrauliques et hydroélectriques

## Programme

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

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## STRU : Durabilité et fiabilité des ouvrages

### Objectifs

Titre long : Durabilité et fiabilité des matériaux et des ouvrages, couplage fluide structure.

Le vieillissement des matériaux d'une structure ou d'un ouvrage est l'évolution au cours du temps de leurs propriétés. Cette évolution est relative aux fonctionnalités de l'objet considéré. Elle est donc indissociable des propriétés d'usage des matériaux, de leur durabilité et de la sûreté de fonctionnement des structures ou systèmes réalisés. La conception durable garantit le respect du cahier des charges d'un système sur une période définie a priori et couvre un large spectre d'enjeux scientifiques multidisciplinaires : la modélisation des mécanismes de vieillissement, leur représentation expérimentale, la validation industrielle, la maintenance, le contrôle in situ, l'analyse des risques de défaillance. Cet enseignement s'inscrit dans les notions de conception durable et des ouvrages et de l'analyse de risque qui s'en suit.

### Programme

Pour une durée de dix séances de 1h45, cet enseignement est composé pour moitié par des conférences. L'autre moitié consiste en la réalisation d'un projet à l'initiative des étudiants en utilisant, les outils de simulation disponibles dans le département (Femlab, Matlab, . . . ), le thème des conférences, et la documentation disponible sur le sujet. Il est encadré par deux enseignants. L'évaluation du projet rendu par les étudiants sert de contrôle d'acquisition des connaissances dans cette matière.

Conférences Denis Dartus (ENSEEIH) : Rappel d'élasticité linéaire, contraintes, limite élastique et type matériaux, . . . Application à la restauration d'ouvrage par la technique de la terre armée. Gilles Escadeillas (INSA) : Vieillessement des matériaux (sur la base de son intervention dans une école d'été) Rachid Ababou (ENSEEIH) : Impact dû au percement d'un tunnel dans un milieu faillé : pressions, contraintes, débit de fuite (aspects hydromécaniques). Yannick Hoarau (IMFS) : Couplage fluide structure. Fatigue de matériaux due à une excitation prolongée ou intense. Stephane Multon (INSA) : Durabilité des structures – vieillissement des bétons et impact sur la tenue mécanique d'un barrage par exemple (sur la base de la thèse de Stephane Multon)

### Volume horaire

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## IMPA : Impacts des aménagements industriels sur l'environnement

### 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.

### Programme

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

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## TELE : Initiation à la télédétection aérospatiale

### Objectifs

Cette formation a pour principal objectif de faire découvrir de nouveaux outils de gestion de l'espace et de l'environnement (télédétection satellitale, photographie aérienne, agriculture de précision, . . .) à travers une large présentation des outils et leurs applications concrètes.

### Programme

Principe de la télédétection et domaines d'utilisation, Photo-interprétation de scènes (zones tempérées, arides, tropicales . . .), Principe physique : le rayonnement électromagnétique, les signatures spectrales, Les vecteurs et les capteurs, la couleur, Les traitements d'images (prétraitements, manipulation d'histogrammes, étalement de dynamique, calcul d'indices (végétation, brillance), Analyse en Composantes Principales, génération de masques, corrections géométriques et géographiques, mosaïques d'images, classifications dirigées et non dirigées, filtres morphologiques, analyse topographique (représentation 3D, extraction de paramètres topographiques), Les produits images et logiciels.

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## SIGE : Système d'information géographique

### Objectifs

Montrer aux ingénieurs l'utilisation des nouveaux outils de positionnement géographique et les possibilités de croisement par couche d'information.

### Programme

Définition du SIG et utilisation en outil d'aide à la décision Application à l'utilisation de logiciels (IDRISI)

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## RISQ : Risques et prévention

### Objectifs

### Programme

### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 10 Option Génie de l'Environnement (GE)

### 10.1 Sciences humaines sociales et juridiques (6 ECTS)

## ELV1 : Anglais

### Objectifs

Permettre aux élèves, par groupes de niveaux de 15 à 20, d'acquérir des compétences linguistiques afin d'être opérationnels dans leur métier. L'apprentissage se fait sur 3 ans, chaque année dans 3 domaines : anglais de communication, anglais professionnel, anglais scientifique pour chacune des spécialités de l'école.

### **Programme**

Aspects de la culture et de la civilisation anglophone. Faits langagiers et compétences de communication spécifiques à la vie professionnelle. Etude de problèmes d'éthique de l'ingénieur. Aspects des derniers développements technologiques et des futures applications. Techniques de communications : candidature à un stage, téléphoner, conduite de réunion, initiation aux affaires, comprendre l'anglais scientifique, s'exprimer efficacement, aspects du style scientifique.

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **SOUT : Soutenance de stage de fin de deuxième année**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **DSEE : Droit, sociologie et économie de l'environnement**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **SMER : Système de management environnemental et risques**

### **Objectifs**

### **Programme**

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **APS3 : Activités Physiques et Sportives**

### **Objectifs**

### **Programme**

Réservé aux étudiants de GE

### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 10.2 Harmonisation (3 ECTS)

### Harmonisation pour les ENSEEIHT

#### CHIS : Chimie des solutions

##### Objectifs

##### Programme

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### AGRE : Agro-écosystèmes

##### Objectifs

##### Programme

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### Harmonisation pour les ENSIACET

#### HYDR : Hydraulique en charge et à surface libre

##### Objectifs

Hydraulique en charge : Présenter les bases de l'hydraulique classique pour les appliquer aux écoulements en conduites en charge, aux calculs de réseaux sous pression. Hydraulique à surface libre : L'étude des écoulements à surface libre en canal ou en rivière est certainement un des aspect les plus complexes de l'hydraulique. Ce module présente les concepts de base des écoulements unidirectionnels (approche filaire) à surface libre en régime permanent ou transitoire. L'utilisation de codes de calculs pour les écoulements à surface libre permet une approche plus réaliste des situations industrielles et des écoulements en rivière. OBJECTIF : Former des ingénieurs capables d'aborder des problèmes d'hydraulique fluviale, de réseaux d'irrigation, de réseaux d'assainissement,...

##### Programme

Hydraulique en charge : Ecoulements en conduite en charge. Cas des écoulements unidirectionnels, approche filaire. Coefficient universel de perte de charge - Ecoulements permanents graduellement et rapidement varié - Pertes de charge singulières - Réseaux ramifiés et réseaux maillés Bases théoriques pour des situations d'hydraulique en régime permanent ou transitoire : coup de bélier. - Théorie des caractéristiques Utilisation de codes de calculs pour les écoulements en conduites. Application aux situations industrielles : distribution d'eau potable : logiciel PORTEAU

TP : Pertes de charge en conduite

Hydraulique à surface libre : Caractéristiques des écoulements à surface libre : profils de vitesses, frottement au fond, coefficient de Strickler. Ecoulements uniformes, définitions : hauteurs de référence (normale et critique), nombre de Froude, régimes (fluvial ou torrentiel). Ecoulements permanents variés (remous, ressaut), applications à travers des exemples : modélisation d'un écoulement naturel, calage d'une ligne d'eau sur la base de cas concrets. Présentation des écoulements non permanents (équation de Barré de Saint Venant, modèles de crues). Les problèmes posés par la modélisation numérique 1D sont abordés par l'utilisation de logiciels (SIC, MAGE).

TP : Vanne de fond et déversoir

## **Volume horaire**

CM : 15 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

## **AGRE : Agro-écosystèmes**

### **Objectifs**

### **Programme**

## **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **Harmonisation pour les ENSAT**

## **HYDR : Hydraulique en charge et à surface libre**

### **Objectifs**

Hydraulique en charge : Présenter les bases de l'hydraulique classique pour les appliquer aux écoulements en conduites en charge, aux calculs de réseaux sous pression. Hydraulique à surface libre : L'étude des écoulements à surface libre en canal ou en rivière est certainement un des aspect les plus complexes de l'hydraulique. Ce module présente les concepts de base des écoulements unidirectionnels (approche filaire) à surface libre en régime permanent ou transitoire. L'utilisation de codes de calculs pour les écoulements à surface libre permet une approche plus réaliste des situations industrielles et des écoulements en rivière. **OBJECTIF** : Former des ingénieurs capables d'aborder des problèmes d'hydraulique fluviale, de réseaux d'irrigation, de réseaux d'assainissement,...

### **Programme**

Hydraulique en charge : Ecoulements en conduite en charge. Cas des écoulements unidirectionnels, approche filaire. Coefficient universel de perte de charge - Ecoulements permanents graduellement et rapidement varié - Pertes de charge singulières - Réseaux ramifiés et réseaux maillés Bases théoriques pour des situations d'hydraulique en régime permanent ou transitoire : coup de bélier. - Théorie des caractéristiques Utilisation de codes de calculs pour les écoulements en conduites. Application aux situations industrielles : distribution d'eau potable : logiciel PORTEAU

TP : Pertes de charge en conduite

Hydraulique à surface libre : Caractéristiques des écoulements à surface libre : profils de vitesses, frottement au fond, coefficient de Strickler. Ecoulements uniformes, définitions : hauteurs de référence (normale et critique), nombre de Froude, régimes (fluvial ou torrentiel). Ecoulements permanents variés (remous, ressaut), applications à travers des exemples : modélisation d'un écoulement naturel, calage d'une ligne d'eau sur la base de cas concrets. Présentation des écoulements non permanents (équation de Barré de Saint Venant, modèles de crues). Les problèmes posés par la modélisation numérique 1D sont abordés par l'utilisation de logiciels (SIC, MAGE).

TP : Vanne de fond et déversoir

## **Volume horaire**

CM : 15 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 1 séances de 4h

## **CHIS : Chimie des solutions**

### **Objectifs**

### **Programme**



**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**10.3 Fonctionnement et analyse du milieu naturel (5,5 ECTS)****CYCL : Cycle de l'eau et bassins versants****Objectifs**

Ce cours d'hydrologie générale pour l'ingénieur a pour objectifs l'étude des aspects physiques de l'hydrologie, et la familiarisation avec une large gamme de méthodes d'analyses en hydrologie appliquée.

**Programme**

Ce cours généraliste est organisé autour des aspects physiques du cycle de l'eau en hydrologie de surface : bilan énergétique et radiatif d'une surface, évapotranspiration, précipitation, infiltration, ruissellement, écoulement en rivières, en bassins, en réseaux hydrographiques. Voici quelques uns des thèmes abordés en cours et en bureau d'étude : évaporation de nappes d'eau ; caractéristiques morphologiques et topographiques des bassins versants et des réseaux hydrographiques ; modélisation hydrologique ; relations pluie-débit

**Volume horaire**

CM : 6 séances de 1h45 | TD : 4 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**PHYS : Physico-chimie des eaux****Objectifs****Programme****Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**TRAR : Transport réactif****Objectifs****Programme****Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**POLU : Pollution atmosphérique****Objectifs**

Connaître les problématiques liées à la qualité de l'air

**Programme**

L'atmosphère

Les émissions anthropiques et biotiques

Notions de photochimie

Principales problématiques liées à l'atmosphère Effet de serre Ozone troposphérique Pollution acide Pollution particulaire Impact des processus chimiques troposphériques sur la stratosphère

Caractérisation (qualitative et quantitative) des émissions des principaux polluants atmosphériques

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **10.4 Ingénierie et traitement des eaux (6 ECTS)**

#### **TRAI : Traitement des eaux : eaux potables et eaux usées**

##### **Objectifs**

Par une approche combinant le Génie des Procédés et la Mécanique des Fluides, faire connaître les techniques de traitement classiques dans la production de l'eau potable, du traitement des eaux usées et des boues

##### **Programme**

- Traitement de l'eau potable : traitements classiques : pré-oxydation, coagulation-floculation, décantation, désinfection... ;  
- Assainissement : implantation des stations, caractérisation des effluents urbains ; pré-traitements : stockage, dégrillage, tamisage ; traitements primaires ; traitement secondaire. - Traitement et valorisation des boues : Épaississement ; digestion aérobie et anaérobie des boues ; déshydratation

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### **EURB : L'eau en milieu urbain**

##### **Objectifs**

Former des ingénieurs à même d'aborder l'hydrologie urbaine, l'assainissement, de gérer au mieux les eaux pluviales et/ou usées.

##### **Programme**

Cet enseignement consacré au cycle de l'eau en milieu urbain traite successivement de l'assainissement et de la modélisation du transfert des eaux pluviales du bassin versant à l'exutoire. L'étude des schémas d'assainissement fait une large part aux techniques modernes. Les principales approches de la modélisation des divers processus urbains communément identifiés font l'objet des dernières conférences. Exemples de thèmes abordés en cours et en bureau d'étude : Origine, enjeux et perspectives de l'assainissement urbain ; Techniques alternatives ; Méthodes de dimensionnement d'un réseau d'eaux assainissement ; Méthodes de dimensionnement des bassins de retenus ...

#### **Volume horaire**

CM : 5 séances de 1h45 | TD : 5 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### **INPP : Ingénierie des procédés propres**

##### **Objectifs**

##### **Programme**

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**DEPO : Procédés de dépollution****Objectifs****Programme****Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**10.5 Module optionnel (5 ECTS)****Approfondissement en hydrologie****GEOM : Géomatique : SIG et télédétection****Objectifs****Programme****Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**TSMO : Transport sédimentaire et morphodynamique****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

**Programme**

1. Introduction. 2. Caractéristiques physiques des sédiments. 3. Mise en mouvement (sédiments non-cohésifs) : équilibre d'une particule, seuil de mise en mouvement, diagramme de Shields, effet de la pente du fond, limites de validité. 4. Estimation des flux sédimentaires (sédiments non-cohésifs) : typologie des modes de transport – estimation des flux transportés par charriage – estimation des flux transportés en suspension. 5. Cas des sédiments cohésifs. 6. Morphodynamique : équation d'évolution du fond, instabilités.

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

**HSOU : Hydrologie souterraine****Objectifs**

Ce cours a pour objectif de présenter une approche quantitative des circulations d'eaux souterraines, leur interaction avec l'hydrologie de surface et cotière (nappe-rivière, intrusion saline...), et les problèmes d'exploitation des ressources en eau souterraines (pompages).

## **Programme**

On utilise les lois d'écoulements en milieux poreux, en particulier les équations des nappes souterraines en écoulements saturés, confinés ou à surface libre (autres outils : théorie de l'infiltration en sols non saturés). Partant de la loi de Darcy, on développe les équations spécifiques à certains types écoulements souterrains : conditions aux surfaces libres et aux interfaces hydrologiques ; équations des écoulements plans de nappes intégrées sur la verticale ; drainance à travers les couches semi-perméables, pompages. On se penche ensuite sur des études de cas.

## **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **Approfondissement en physico-chimie**

### **GEOM : Géomatique : SIG et télédétection**

#### **Objectifs**

#### **Programme**

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **PHCA : Physico-chimie atmosphérique**

#### **Objectifs**

#### **Programme**

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### **FRID : Friches industrielles et déchets**

#### **Objectifs**

#### **Programme**

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **Approfondissement en écologie**

### **ECOT : Ecotoxicologie**

#### **Objectifs**

#### **Programme**

#### **Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **ESPA : Espaces aquatiques**

**Objectifs**

**Programme**

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## **VALD : Valorisation des déchets**

**Objectifs**

**Programme**

**Volume horaire**

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 0 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

## 11 SEMESTRE F : Le projet long et le stage final

### 11.1 Projet long optionnel (8 ECTS)

#### BEIP : BEI Energétique et procédés

##### 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 procédés : Aérodynamique (avions et autos), domaine spatial (refroidissement des satellites), domaine pétrolier (hydraulique et gisement), génie des procédés (réacteur, colonnes à bulles), transformation de l'énergie (combustion, changement de phase).

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 petit algorithmes (Matlab, fortran) permettant de résoudre la modélisation appropriée pour l'étude.

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

##### Programme

- 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 avec les 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 devant un jury avec les industriels invités.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 26 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

#### BEIR : BEI énergies renouvelables et environnement

##### Objectifs

Réaliser un projet d'envergure représentatif du métier d'ingénieur. Utiliser toutes les connaissances acquises durant la formation. Participer à un travail d'équipe.

##### Programme

Le choix et la définition des projets de groupe et de binôme est laissé à l'initiative des étudiants en respectant des contraintes thématiques et organisationnelles. Les projets de groupe intègrent et fédèrent les projets de plusieurs binômes. Chaque groupe invite un intervenant extérieur pour une conférence générale et une expertise sur le projet. Présentation du travail sur un support informatique gérant des fichiers hypertexte (Netscape et html) afin de créer une véritable dynamique de groupe tout au long de l'enseignement. Soutenance finale des projets avec présentation à un large public.

##### Volume horaire

CM : 0 séances de 1h45 | TD : 26 séances de 1h45 | TP : 0 séances de 4h

### 11.2 Projet de Fin d'Études (22 ECTS)

Cinq mois minimum. Soutenances à la fin du mois de septembre.