



# PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS

PARCOURS ÉLECTIF S9  
UE Modules ouverts  
2017-2018



ÉCOLE  
**CENTRALE** LYON



## Sommaire

Acoustique Environnementale.....	12
Acoustique générale.....	49
Aérodynamique et Energétique des Turbomachines.....	8
Aerodynamique externe.....	40
Aléas et hétérogénéités dans les structures.....	36
Analyse des assemblages : géométrie et architecture.....	33
Automatique Avancée.....	28
Bruits d'origine aérodynamique.....	51
Caractérisation des surfaces et des nanostructures.....	52
Changements Climatiques et Géo-ingénierie.....	18
Combustion pour la propulsion.....	31
Comportement des matériaux.....	61
Défis informatiques du Big Data.....	17
Diagnostic et Sûreté de Fonctionnement.....	27
Durabilité des matériaux et des structures.....	43
Dynamique de l'Atmosphère et de l'Océan.....	45
Dynamique des structures.....	50
Dynamique des systèmes biologiques humains.....	46
Energie Nucléaire.....	58
Energie Stockage-Conversion.....	30
Extraction de Connaissances.....	48
Green Computing.....	29
Hydraulique Fluviale.....	55
Identification des systèmes et décomposition parcimonieuse des signaux.....	26
Ingénierie d'un objet de grande consommation.....	14
Interactions fluide-structure.....	53
Introduction aux vibrations non-linéaires.....	11
Les turbines pour la production d'énergie.....	20
Le système électrique.....	15
Matériaux de construction.....	38
Matière molle : nanosystèmes et interfaces biologiques.....	42
Mécanique des matériaux et structures composites.....	59
Méthodes numériques pour les EDP.....	63
Méthodes variationnelles pour les EDP.....	21
Microsystèmes Autonomes.....	44
MOD Parcours Entrepreneur 1.....	13
MOD Parcours Entrepreneur 2.....	16
Nanophotonique.....	9
Nanotechnologies.....	41

Physiologie humaine et biotechnologies.....	<b>35</b>
Physique des écoulements turbulents.....	<b>10</b>
Physique pour les technologies de l'information.....	<b>57</b>
Processus Stochastiques : modèles et méthodes numériques.....	<b>54</b>
Propagation des ondes élastiques.....	<b>23</b>
Recherche opérationnelle.....	<b>32</b>
Reconnaissance et comportement des sols.....	<b>22</b>
Représentation et manipulation de données structurées.....	<b>56</b>
Réseaux de télécommunications.....	<b>24</b>
Réseaux informatiques.....	<b>62</b>
Simulation numérique des écoulements.....	<b>7</b>
Stabilité des Systèmes Mécaniques.....	<b>60</b>
Statistique appliquée aux sciences de l'ingénieur.....	<b>19</b>
Systèmes de bases de données.....	<b>34</b>
Systèmes d'information en entreprise.....	<b>47</b>
Systèmes embarqués en environnement hostile.....	<b>25</b>
Traitement et analyse des données visuelles et sonores.....	<b>37</b>
Tribologie : principes et applications.....	<b>39</b>

## Le semestre 9 à l'École Centrale de Lyon

Au S9, les élèves suivent :

- ◇ l'UE métier (septembre-novembre)
- ◇ l'UE secteur (janvier-mars)
- ◇ l'UE Module « ouvert » (octobre-décembre)
- ◇ l'UE langue.

### L'UE « Module Ouverts Disciplinaires » (180h)

Dans cette UE, l'élève doit choisir 6 actions de formation parmi une cinquantaine de cours. En fonction des masters suivis, certaines AF peuvent remplacer un cours de master et vice et versa.

<b>Créneau 1 Lundi 8h-10h</b>	
MOD 1.1	Simulation numérique des écoulements
MOD 2.1	Défis informatiques du Big Data
MOD 3.1	Propagation des ondes élastiques
MOD 4.1	Green Computing
MOD 5.1	Physiologie humaine et biotechnologies
MOD 6.1	Nanotechnologies
MOD 7.1	Systèmes d'information en entreprise
MOD 8.1	Interactions fluide-structure
<b>Créneau 2 Lundi 10h15-12h15</b>	
MOD 1.2	Aérodynamique et Énergétique des Turbomachines
MOD 2.2	Changements Climatiques et Géo-ingénierie
MOD 3.2	Réseaux de télécommunications
MOD 4.2	Énergie Stockage-Conversion
MOD 5.2	Aléas et hétérogénéités dans les structures
MOD 6.2	Matière molle : nanosystèmes et interfaces biologiques
MOD 7.2	Extraction de Connaissances
MOD 8.2	Processus Stochastiques: modèles et méthodes numériques
MOD 9.2	Mécanique des matériaux et structures composites
<b>Créneau 3 Mardi 14h-16h</b>	
MOD 1.3	Nanophotonique
MOD 2.3	Statistique appliquée aux sciences de l'ingénieur
MOD 3.3	Systèmes embarqués en environnement hostile
MOD 4.3	Combustion pour la propulsion
MOD 5.3	Traitement et analyse des données visuelles et sonores
MOD 6.3	Durabilité des matériaux et des structures
MOD 7.3	Acoustique générale
MOD 8.3	Hydraulique fluviale
MOD 9.3	Stabilité des Systèmes Mécaniques
MOD 10.3	Le système électrique

MOD 11.3	MOD DOUBLE Parcours Entrepreneur
<b>Créneau 4</b>	<b>Mardi 16h15-18h15</b>
MOD 1.4	Physique des écoulements turbulents
MOD 2.4	Les turbines pour la production d'énergie
MOD 3.4	Identification des systèmes et décomposition parcimonieuse des signaux
MOD 4.4	Recherche opérationnelle
MOD 5.4	Matériaux de construction
MOD 6.4	Microsystèmes Autonomes
MOD 7.4	Dynamique des structures
MOD 8.4	Représentation et manipulation de données structurées
MOD 9.4	Comportement des matériaux
MOD 10.4	MOD DOUBLE Parcours Entrepreneur
<b>Créneau5</b>	<b>Vendredi 13h30-15h30</b>
MOD 1.5	Introduction aux vibrations non-linéaires
MOD 2.5	Méthodes variationnelles pour les EDP
MOD 3.5	Diagnostic et Sûreté de Fonctionnement
MOD 4.5	Analyse des assemblages : géométrie et architecture
MOD 5.5	Tribologie : principes et applications
MOD 6.5	Dynamique de l'atmosphère et de l'Océan
MOD 7.5	Bruits d'origine aérodynamique
MOD 8.5	Physique pour les technologies de l'information
MOD 9.5	Réseaux informatiques
MOD 10.5	Ingénierie d'un objet de grande consommation
<b>Créneau6</b>	<b>Vendredi 15h45-17h45</b>
MOD 1.6	Acoustique Environnementale
MOD 2.6	Reconnaissance et comportement des sols
MOD 3.6	Automatique Avancée
MOD 4.6	Systèmes de bases de données
MOD 5.6	Aérodynamique externe
MOD 6.6	Dynamique des systèmes biologiques humains
MOD 7.6	Caractérisation des surfaces et des nanostructures
MOD 8.6	Énergie Nucléaire
MOD 9.6	Méthodes numériques pour les EDP

### Évaluation de l'UE MOD

La note de l'UE MOD est la moyenne des notes des 6 actions de formations. L'UE est validée si chaque note est supérieure à 10.



## Simulation numérique des écoulements

*Numerical methods for computational fluid dynamics*

**Responsable(s) : Fabien GODEFERD, Christophe CORRE**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'objectif du cours est de donner les éléments de base sur les méthodes numériques de simulation en mécanique des fluides et leurs spécificités, et de fournir une première expérience pratique de programmation et d'utilisation de ces méthodes. Le cours devrait permettre aux étudiants de disposer d'un aperçu pour aborder le développement de codes de calcul ou exploiter les grands codes actuels déjà en place dans les grands organismes et entreprises, dans les secteurs tels que l'aéronautique, la propulsion, les transports, l'énergie, etc. Le cours contient notamment les bases indispensables à l'approfondissement des méthodes numériques dans les spécialisations de filière qui pourront être choisies par la suite.

**Mots-clés :** Simulation numérique, classification des équations, caractéristiques, méthodes spectrales, différences finies, volumes finis, éléments finis

#### Programme

L'accent est d'abord mis sur la classification des problèmes aux limites (systèmes d'équations aux dérivées partielles de type hyperbolique, parabolique ou elliptique). Le cours présente ensuite les diverses classes de méthodes numériques de résolution : méthodes des caractéristiques, différences finies, volumes finis, éléments finis, méthodes spectrales, et leurs spécificités comparées pour chacune des applications industrielles ou de recherche.

#### Compétences

- ◇ Connaître les principes des méthodes de simulation les plus utilisées en mécanique des fluides.
- ◇ Etablir les équations discrétisées et créer l'algorithme de résolution associé.
- ◇ Implémenter la méthode numérique dans un langage de programmation et s'assurer de la pertinence physique des résultats obtenus par le calcul.
- ◇ Appréhender les principes de fonctionnement d'un code existant de type commercial ou académique.

#### Activités / Autonomie

Bureaux d'étude : 3 x 4 heures

Ces BE abordent l'approche de façon pragmatique et exhaustive certaines des méthodes numériques vues d'un point de vue théorique en cours, illustrées au travers d'un cas-test de géométrie simple.

#### Masters affiliés

Master Acoustique  
Master Aéronautique et Espace  
Master Mécanique, Énergétique

#### Bibliographie

CHARLES HIRSCH. *Numerical Computation of Internal and External Flows*. ISBN: 978-0-7506-6594-0, 2007.

CLIVE A.J. FLETCHER. *Computational Techniques for Fluid Dynamics Vols. 1 & 2*. ISBN-13: 978-3540530589, 1997.

JOHN P. BOYD. *Chebyshev and Fourier Spectral Methods*. ISBN-13: 978-0486411835, 2000.

#### Contrôle des connaissances

Comptes rendus écrit pour chacun des trois BE : 3 x 20% de la note finale  
Examen écrit de 2 heures (+1 heure pour le master Recherche) : 40%



# Aérodynamique et Energétique des Turbomachines

## Fundamentals of turbomachines

Responsable(s) : Isabelle TREBINJAC

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Le cours a essentiellement pour but de familiariser l'étudiant avec le fonctionnement et le calcul de l'écoulement dans une turbomachine. À partir des notions d'aérodynamique et de thermodynamique appliquées aux turbomachines, on détaillera les principaux outils permettant de dessiner une turbomachine, et plus précisément de déterminer la géométrie d'un compresseur axial répondant à un objectif de performance précis.

Le travail pratique sur un banc d'essais de compresseur basse-vitesse permet de mesurer et d'analyser sur un cas concret les différents phénomènes étudiés en cours. Les bureaux d'études ont pour but de réaliser la conception d'un compresseur axial pour un cahier des charges donné.

Mots-clés : turbomachine, compresseur, turbine, aérodynamique, énergétique, compressible

#### Programme

Fonctions et domaine d'application des turbomachines  
Courbes caractéristiques et domaine d'utilisation (point nominal et plage de fonctionnement).  
Application des formes intégrales des équations de la mécanique des fluides aux turbomachines.  
Analyse aérothermodynamique mono-dimensionnelle : transformations réelles dans les turbomachines, quantification des pertes.  
Analyse bidimensionnelle dans le plan circonférentiel : triangles de vitesse, critères de charges en compresseurs, corrélations.  
Analyse bidimensionnelle dans le plan méridien : équation d'équilibre radial.  
Introduction aux phénomènes tridimensionnels et instationnaires.

#### Compétences

- ◇ Comprendre le fonctionnement des turbomachines.
- ◇ Savoir concevoir un compresseur axial.
- ◇ Maîtriser l'aérodynamique compressible.
- ◇ Savoir analyser l'écoulement interne aux turbomachines.

#### Activités / Autonomie

Concevoir un compresseur axial compressible subsonique (complément des BE).  
Ecrire le programme de conception aérodynamique du compresseur (matlab,...)

#### Masters affiliés

Master Aéronautique et Espace

#### Bibliographie

N. A. CUMPSTY. *Compressor aerodynamics*. Longman Scientific & Technical, 1989.  
DAVID JAPIKSE, N. C. BAINES. *Introduction to turbomachinery*. Concepts ETI, 1997.

#### Contrôle des connaissances

Examen final, compte-rendu des BEs et compte-rendu du TP





### Nanophotonique

*Nanophotonics*

**Responsable(s) : Emmanuel DROUARD, Christelle MONAT**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

La photonique a connu des développements importants dans l'émission de la lumière, son traitement, son transport et sa détection, appliqués dans de nombreux secteurs. Les progrès technologiques, notamment issus de la microélectronique, pour la réalisation de dispositifs micrométriques, ont permis la mise en oeuvre de nouveaux concepts d'optique intégrée pour le contrôle de la lumière, qui sont aujourd'hui couramment utilisés. Les recherches actuelles, très actives, sur les dispositifs submicrométriques, tels les cristaux photoniques, bénéficieront à des secteurs à fort potentiel : information et communications, biologie, énergie. Le but de ce cours est de donner les bases physiques communes à ces nouvelles technologies, afin de pouvoir aborder la littérature plus spécialisée.

**Mots-clés :** Biréfringence, Guide d'onde, Cristal Photonique, Optique non linéaire

#### Programme

Polarisation de la lumière  
Optique guidée planaire  
Optique intégrée & Fibre optiques  
Cristaux photoniques & Nanophotonique: principes et perspectives d'applications  
Optique non linéaire: effet Kerr optique, doublage de fréquence, conversion de longueur d'onde.  
Exemple d'applications: source accordable, interrupteur optique, peigne de fréquences...

Sujets de travaux pratiques possibles (2 séances): Simulations « Finite Difference Time Domain » de composants d'optique intégrée, Transmission d'un signal par modulation électro-optique, Laser à cristaux photoniques. Laser à fibre optique.  
BE d'Optique non linéaire sur de la conversion de longueur d'onde

#### Compétences

- ◇ Etre capable de décrire la propagation de la lumière dans un matériau biréfringent.
- ◇ Comprendre et utiliser les effets du profil d'indice et de la longueur d'onde sur les modes guidés.
- ◇ Comprendre et savoir utiliser les propriétés de dispersion des structures micro-nanophotoniques.
- ◇ Comprendre l'origine de phénomènes d'optique non linéaire et comment les appliquer à du traitement tout optique de l'information.

#### Activités / Autonomie

Maîtrise des compétences  
Rédaction de Compte Rendu de certains TP

#### Masters affiliés

Master NSE

#### Bibliographie

B.E. A. SALEH, M.C. TEICH. *Fundamental of Photonics*. Wiley, 2007.  
RIGNEAULT H., LOURTIOZ JM.. *La Nanophotonique*. Hermes science publ. Lavoisier, 2005.

#### Contrôle des connaissances

TP/ BE, test écrit final.  
70% savoir (test écrit final), 30% savoir faire (TP/BE)



### Physique des écoulements turbulents

*Physics of turbulent flows*

**Responsable(s) : Christophe BAILLY, Christophe BOGEY, Didier DRAGNA**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

La turbulence intervient dans de nombreuses applications technologiques des transports terrestres, de l'aéronautique et du spatial (aérodynamique interne et externe, combustion, aéroacoustique, vibroacoustique) et de l'énergie. Elle joue également un rôle déterminant dans le domaine de l'environnement (dispersion de polluants) et des écoulements géophysiques (météorologie, climat). Ce cours aborde les grandes problématiques de la turbulence, et présente la physique des phénomènes impliqués et leur modélisation. Le cours s'appuie sur de nombreux exemples de cas pratiques, ainsi que sur les résultats les plus récents obtenus par les simulations numériques et les techniques expérimentales. (cours pouvant d'être donné en anglais, supports de cours en anglais).

**Mots-clés :** turbulence, mécanique des fluides, aérodynamique, couche limite, modèle de turbulence, dynamique de la vorticité, turbulence homogène et isotrope, théorie de Kolmogorov, simulation numérique (DNS, LES, RANS), techniques expérimentales (HWA, LDA, PIV)

#### Programme

Quelques exemples d'écoulements turbulents  
Description statistique pour l'écoulement moyen  
 coulements de paroi et propriétés physiques de la couche limite turbulente  
Un exemple de modélisation de type RANS: le modèle k-epsilon (k-omega)  
Dynamique de la vorticité  
Turbulence homogène et isotrope, théorie de Kolmogorov  
Quelques illustrations sur l'état de l'art pour les simulations numériques et les techniques expérimentales

#### Compétences

-   Maitriser des principaux éléments physiques (production, couche limite, vorticité, Kolmogorov)
-   Connaissance générales des techniques numériques et expérimentales ( tat de l'art)
-   Savoir-faire dans la modélisation (modèles de turbulence)
-   Savoir-faire dans l'analyse des résultats (traitement du signal ou modélisation avec Matlab par exemple)

#### Activités / Autonomie

Exercices à résoudre de manière régulière par binôme (4 dans une liste d'une dizaine au choix) portant sur la modélisation, la résolution de problèmes sous Matlab, l'approfondissement d'un sujet via la bibliographie...

2 séances de travaux pratiques (caractérisation d'une turbulence de jet libre par fil chaud et modélisation numérique d'un écoulement de paroi) et un BE

#### Masters affiliés

Mécanique des fluides & énergie  
Acoustique  
Aéronautique

#### Bibliographie

BAILLY C. & COMTE-BELLOT G. *Turbulence*. Springer, 2015.  
DAVIDSON P. A. *Turbulence. An introduction for scientists and engineers*. Oxford University Press, 2004.  
POPE S.B. *Turbulent flows*. Cambridge University Press, 2000.

#### Contrôle des connaissances

Contrôle continu (4 exercices dans une liste), activités pratiques (2 TP, 1 BE). Savoir 40%, Savoir-faire 40%, Méthodologie 20%



### Introduction aux vibrations non-linéaires

*Introduction to nonlinear vibrations*

**Responsable(s) : Joël PERRET-LIAUDET, Fabrice THOUVEREZ**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Il s'agit de sensibiliser et familiariser les élèves aux principaux phénomènes liés aux problèmes des vibrations non linéaires. Les connaissances minimales et les règles utiles à l'ingénieur seront introduites en vue de diagnostiquer et traiter ces problèmes. De nombreux exemples issus de problèmes de l'ingénierie viendront illustrer le cours. On peut citer la dynamique des contacts frottants (crissements), des systèmes à jeux (cliquetis), des rotors et transmissions, des ponts soumis aux vents...

**Mots-clés :** vibrations non linéaires, dynamique des systèmes, stabilité, bifurcations, modes non linéaires, résonances principales, surharmoniques, sous harmoniques, vibrations auto entretenues, galop flottement

#### Programme

Généralités sur les problèmes vibratoires non linéaires en ingénierie, classification des sources  
Outil de description et d'analyse, Analyse modale non linéaire  
Perte de stabilité d'équilibre et vibrations auto entretenues (phénomènes de galop, crissement)  
Phénomènes de résonances non linéaires (principales et harmoniques)  
Notion de réponses complexes (chaos)  
Introduction aux méthodes spécifiques aux traitements des phénomènes non linéaires

#### Compétences

- ◇ Détecter et/ou diagnostiquer un phénomène de vibrations non linéaires.
- ◇ Caractériser les principaux types de réponses vibratoires.
- ◇ Identifier les principaux phénomènes qui conduisent à ces réponses.
- ◇ Modéliser certains problèmes non linéaires et les traiter par des méthodes spécifiques.

#### Activités / Autonomie

- 1 BE et 2 TP permettront d'illustrer
- les résonances non linéaires dans le cas de contacts sous sollicitations normales
  - les instabilités qui conduisent à des vibrations auto entretenues comme pour le crissement
  - de manipuler les principaux concepts et outils de description
  - quelques scénarios de route vers le chaos

#### Bibliographie

- A. H. NAYFEH, B. BALACHANDRAN. *Applied Nonlinear Dynamics: Analytical, Computational and Experimental Methods*. Wiley, 1995.  
VIDAL, BERGÉ, POMMEAU. *L'ordre dans le Chaos*. Hermann, 1984.  
P. MANNEVILLE. *Instabilités, chaos et turbulence*. Ed. Ecole Polytechnique, 2004.

#### Contrôle des connaissances

- 50 % savoir (test)  
50 % savoir faire (BE/TP)



### Acoustique Environnementale

*Environmental Acoustics*

**Responsable(s) : Daniel JUVE, Marie-Annick GALLAND**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Le bruit est considéré par le public comme une nuisance majeure. La prise en compte des aspects acoustiques dans l'environnement et le bâtiment est donc aujourd'hui un enjeu essentiel. L'objectif du cours est de présenter les connaissances de base en acoustique environnementale. On insistera sur les aspects de propagation dans les locaux ou à l'extérieur, sur les moyens de contrôle et de réduction passifs (matériaux absorbants, cloisons, écrans) ou actifs (anti-bruit), et sur les aspects subjectifs (audition, perception et qualité sonore) qui prennent une importance croissante.

**Mots-clés :** acoustique des salles, contrôle du bruit, perception, propagation dans l'atmosphère

#### Programme

- I. Eléments de modélisation
- II. Qualité acoustique : du déciBel à la perception sonore
- III. Acoustique des salles Théorie modale et approche énergétique
- IV. Réduction et contrôle du bruit
- V. Structures sandwich et matériaux absorbants
- VI. Propagation dans l'atmosphère

#### Compétences

- ◇ Mettre en œuvre une démarche de diagnostic en acoustique environnementale
- ◇ Construire un modèle simplifié du problème et le résoudre
- ◇ Evaluer la pertinence de la solution
- ◇ Be able to develop a coherent approach for dealing with problems in environmental acoustics

#### Activités / Autonomie

Acoustique des salles : mesures et simulations (logiciel commercial CATT-Acoustic).  
Protection par les écrans (simulation par le logiciel Comsol).  
BE : Contrôle du bruit

#### Masters affiliés

Ce cours constitue une UE du Master international d'Acoustique, <http://master-acoustics.ec-lyon.fr/>  
Le cours peut également être associé aux Masters Génie Civil, Mécanique et Aéronautique

#### Bibliographie

- A. PIERCE. *Acoustics, Introduction to its physical principles and applications*. Mc Graw -Hill, 1981.
- J. JOUHANEAU. *Acoustique des salles et sonorisation*. Techn. et Doc., 1997.
- H. KUTTRUF. *Acoustics, an introduction*. Taylor & Francis, 2007.

#### Contrôle des connaissances

Examen écrit (50%); Activités Pratiques (50%)



### MOD Parcours Entrepreneur 1

*Entrepreneurial coaching*

**Responsable(s) : Sylvie MIRA BONNARDEL**

| Cours : 0 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 0 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Accompagner les élèves porteurs de leur projet entrepreneurial à avancer sur la définition de leur modèle économique, la connaissance de leur marché et la caractérisation de leur offre. Des experts (droit, finance...) viendront apporter leur compétences.

**Mots-clés :** Modèle économique, définition de l'offre, création d'entreprise

#### Programme

Séances de coaching sur le projet entrepreneurial avec les ressources adéquates, telles que juriste, conseiller en propriété industrielle, investisseurs financiers...

#### Compétences

- ◇ Préciser les opportunités de marché
- ◇ Construire une offre différenciée
- ◇ Concevoir un business model complet et détaillé
- ◇ Savoir pitcher son projet

#### Activités / Autonomie

Travail sur projet entrepreneurial

#### Bibliographie

OSTERWALDER A., PIGNEUR Y.. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Willey, 2010.

RIES E. *The Lean Startup: How Constant Innovation Creates Radically Successful Businesses*. Penguin, 2011.

MASTERTSON AK.. *Business Model Generation: The Blueprints Every Entrepreneur in Every Industry Needs Today to Achieve Maximum Profits*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014.

#### Contrôle des connaissances

Pitch en milieu et fin de MOD



### Ingénierie d'un objet de grande consommation

Responsable(s) : Jose PENUELAS, Charles-Edmond BICHOT

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Montrer à des étudiants n'ayant pas suivi auparavant d'études scientifiques l'implication et l'imbrication des sciences et techniques de l'ingénieur à partir d'un objet connu : le CD. Ce module est l'occasion d'introduire l'approche multidisciplinaire propre à l'ingénieur généraliste en exposant les concepts et les outils de la physique, de la science des matériaux, de l'informatique, du traitement du signal et de l'automatique qui coexistent dans la conception et la réalisation d'un CD.

Mots-clés : Ingénierie , Matériaux , Physique , Traitement du signal , Informatique , Automatique , Conception

#### Programme

- 1 - Présentation générale
- 2 - Physique : le laser
- 3 - Les matériaux du CD
- 4 - Les fondamentaux de l'informatique
- 5 - Représentation de l'information
- 6 - Conception
- 7 - Traitement du signal : de l'analogique au numérique
- 8 - Automatique : les principes de base du contrôle / commande

#### Compétences

- ◇ Comprendre la nature multidisciplinaire de la conception des objets du quotidien
- ◇ Posséder quelques fondamentaux dans les disciplines impliquées
- ◇ Programmer un logiciel simple

#### Activités / Autonomie

6 séances de TD de 2h permettant de découvrir ,de manière accompagnée, la programmation informatique sur une série de petits cas concrets.

#### Bibliographie

T. GOUSSARD. *Java 8, les fondamentaux du langage Java avec exercices et corrigés*. ENI.

#### Contrôle des connaissances

Il prendra en compte le travail effectué lors des séances de bureau d'études (1/3) ainsi que la note de l'examen final (sans document = 2/3).



### Le système électrique

*Electric Power System*

**Responsable(s) : François BURET**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Le système électrique est une infrastructure majeure des sociétés modernes. La libéralisation du secteur ces dernières années a profondément modifié sa gestion dans un grand nombre de pays et notamment en Europe.

L'objectif du cours est donc d'une part de donner les bases techniques permettant de comprendre le fonctionnement du système électrique et d'autre part de présenter l'organisation de celui-ci à travers le rôle et les relations entre les différents acteurs: producteurs, gestionnaires de réseau de transport, responsables d'équilibre et consommateurs.

**Mots-clés :** production, transports, gestionnaire de réseau, équilibre production consommation, planification court et long terme

#### Programme

Introduction: le système électrique dans le contexte énergétique

Equilibre production/consommation

Plan de tension

Les différents acteurs du système électrique, leurs rôles et leurs relations dans le contexte de la libéralisation du marché.

La planification du réseau

Analyse de grands incidents

Fonctionnement d'une bourse de l'énergie électrique

#### Compétences

- ◇ Nommer les contraintes et avantages techniques ou économiques d'un système électrique étendu.
- ◇ Différencier le rôle des différents acteurs du système électrique.
- ◇ Définir les actions permettant de gérer le système électrique.
- ◇ Interpréter et expliquer des évolutions observées sur un réseau.

#### Activités / Autonomie

Analyse des problèmes de transport - Load flow

Visite du dispatching régional de Lyon (installation soumise à restriction d'accès - la visite n'a pu avoir lieu en 2016-2017)

Simulation du fonctionnement d'une bourse de l'énergie

#### Masters affiliés

EEEA : Electronique, Energie Electrique, Automatique

#### Bibliographie

P. BASTARD ET AL. *Voyage au coeur du système*. Eyrolles, 1999.

PERSOZ ET AL. *Planification des réseaux électriques*. Eyrolles, 1984.

#### Contrôle des connaissances

Savoir 70%

Savoir-faire 30%



### MOD Parcours Entrepreneur 2

*Entrepreneurial coaching*

**Responsable(s) : Sylvie MIRA BONNARDEL**

| Cours : 0 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 0 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Accompagner les élèves porteurs de leur projet entrepreneurial à avancer sur la définition de leur modèle économique, la connaissance de leur marché et la caractérisation de leur offre.

Des experts (droit, finance...) viendront apporter leur compétences

**Mots-clés :** Modèle économique, définition de l'offre, création d'entreprise

#### Programme

Séances de coaching sur le projet entrepreneuriale avec les ressources adéquates, telles que juriste, conseiller en PI, financiers...

#### Compétences

- ◇ Préciser les opportunités de marché
- ◇ Construire une offre différenciée
- ◇ Concevoir un business model complet et détaillé
- ◇ Savoir pitcher son projet

#### Activités / Autonomie

Travail sur projet entrepreneurial

#### Bibliographie

OSTERWALDER A., PIGNEUR Y. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Willey, 2010.

RIES E. *The Lean Startup: How Constant Innovation Creates Radically Successful Businesses*. Penguin, 2011.

MASTERTON AK. *Business Model Generation: The Blueprints Every Entrepreneur in Every Industry Needs Today to Achieve Maximum Profits*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014.

#### Contrôle des connaissances

Pitch en milieu et fin de MOD





### Défis informatiques du Big Data

*Big Data challenges*

**Responsable(s) : Stéphane DERRODE, Emmanuel DELLANDREA**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'explosion quantitative des données numériques est à l'origine de nouveaux ordres de grandeur qui impactent la capture, le stockage, l'analyse et la visualisation des données. Les perspectives du traitement des big data sont encore en partie insoupçonnées : analyse prospective (climatique, commercial...), gestion des risques (assuranciel, industriel, naturel) ou encore médical (génomique, épidémiologie) et sécurité (lutte contre la criminalité).

L'enseignement proposé permettra de découvrir les grandes problématiques soulevées par l'émergence de ces flots de données (stockage, interrogation, analyse et visualisation) et leur exploitation commerciale. Les questionnements d'ordre éthique et juridique que soulèvent la collecte et l'exploitation de ces données seront également examinés.

**Mots-clés :** Big Data, NoSQL, Hadoop, Open-data.

#### Programme

Introduction : les enjeux techniques/économiques/éthiques du big-data

Bases de données : NoSQL et MongoDB

Open data et données publiques

Big Data analytics

TP #1 : Map-Reduce avec Apache/Hadoop

TP #2 : Visualisation de données massives : OpenStreetMap

TP #3 : Web sémantique.

#### Compétences

- ◇ Comprendre les enjeux économiques, éthiques et techniques que soulèvent les big-data.
- ◇ Utiliser un algorithme map-reduce fonctionnant sous Hadoop.
- ◇ Avoir un esprit critique sur les nouveaux outils s'appuyant sur les données massives.
- ◇ Approfondir ses compétences big-data par lui-même.

#### Activités / Autonomie

Approfondir un sujet en rédigeant une note de synthèse par groupe de 4/5 (Ex. Big data et startup, les Data-Centers).

- Synthèse bibliographique de lectures
- Interview d'un acteur du big data

#### Masters affiliés

Master Informatique de Lyon

#### Bibliographie

PIRMIN LEMBERGER ET MARC BATTY. *Big Data et Machine Learning - Manuel du data scientist*. Dunod, 2015.

RUDI BRUCHEZ. *Les bases de données NoSQL et le Big Data : Comprendre et mettre en oeuvre*. Eyrolles, 2015.

JEAN-CHARLES COINTOT ET YVES EYCHENNE. *La Révolution Big data - Les données au coeur de la transformation de l'entreprise*. Dunod, 2014.

#### Contrôle des connaissances

L'enseignement sera évalué par un examen et par la synthèse bibliographique (travail en autonomie).



### Changements Climatiques et Géo-ingénierie

*Climate Change and Geo-engineering*

**Responsable(s) : Pietro SALIZZONI, Julian SCOTT, Richard PERKINS**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Anglais |

#### Objectifs de la formation

S'il y a maintenant un consensus que l'évolution de notre climat est en train d'accélérer, il manque toujours un accord sur les mesures à adopter pour le stabiliser et il est probablement trop tard pour qu'une réduction dans les émissions des gaz à effet de serre ait un impact significatif. Les changements climatiques vont impacter tous les aspects du métier de l'ingénieur, et il va falloir les prendre en compte dans chaque projet. Il sera probablement nécessaire également d'envisager d'intervenir directement sur le climat, et diverses stratégies ont déjà été proposées. L'objectif de ce cours est de fournir une compréhension générale des enjeux pour permettre aux futurs ingénieurs de participer à ce débat parce que beaucoup des problèmes sont clairement du domaine de l'ingénierie.

**Mots-clés :** Changement climatique, gaz à effet de serre, carbone, réchauffement, remonté des océans, atmosphère, météorologie, modélisation

#### Programme

Introduction : Définition du climat, les processus principaux, l'évidence du changement climatique  
Transferts radiatifs : Le rayonnement solaire, l'atmosphère comme filtre, les aérosols  
Circulation atmosphérique et océanique  
Modélisation du climat : Les hypothèses de modélisation, les données d'entrée, les résultats, sensibilité aux hypothèses et aux données  
Cycle de carbone : Mécanismes de transfert, captage et stockage de carbone  
Reconstruction du climat : Métrologie, l'histoire du climat  
Les scénarios possibles : Influence des différents processus, l'évolution du climat  
Impact : Météorologique, agricole, économique, sociologique et politique ; le rapport Stern  
Géo-ingénierie : Les approches, réversibilité, risques, conséquences, difficultés pratiques

#### Compétences

- ◇ Appréhender la notion du climat, et les processus physiques qui contribuent à sa définition.
- ◇ Appréhender de façon critique les éléments factuels disponibles concernant l'évolution du climat.
- ◇ Comprendre comment sont construits les modèles du climat, les hypothèses utilisées et les données nécessaires.
- ◇ Identifier les conséquences (physiques, économiques et politiques) possibles et probables du changement climatique.

#### Masters affiliés

Sciences de l'Océan, Atmosphère et Climat (SOAC)

#### Bibliographie

DESSLER, A. *An Introduction to Modern Climate Change*. Cambridge University Press, 2015.  
BURROUGHES, W.J. *Climate Change A Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press, 2007.  
COWIE, J. *Climate Change Biological and Human Aspects*. Cambridge University Press, 2009.

#### Contrôle des connaissances

Savoir : Examen (50%) Savoir faire : Comptes rendus des 3 BE (50%)



# Statistique appliquée aux sciences de l'ingénieur

Responsable(s) : Céline HELBERT

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

## Objectifs de la formation

L'objectif de ce cours est de fournir les outils classiques de la statistique mathématique qui permettent d'aborder le choix du modèle probabiliste, son estimation et son évaluation. Les notions abordées sont les suivantes : régression linéaire, l'ANOVA, les plans d'expériences et la régression logistique. Le but de ce cours est aussi d'assurer une formation à la manipulation de données et à la mise en oeuvre pratique des modèles étudiés. Pour cela, une partie conséquente du cours est orientée vers la mise en oeuvre des différents modèles à l'aide du logiciel R à travers l'étude d'un grand nombre d'exemples.

**Mots-clés** : Régression linéaire, sélection de modèle, ANOVA, plans d'expériences, régression logistique.

### Programme

Chap 1 : Régression linéaire : modèle, estimation, prédiction, évaluation, sélection de modèle.  
Chap 2 : Anova à un facteur et à deux facteurs croisés  
Chap 3 : Plans d'expériences  
Chap 4 : Régression logistique

### Compétences

- ◇ Savoir proposer un modèle probabiliste adapté à un contexte applicatif.
- ◇ Savoir estimer et prédire le modèle probabiliste proposé.
- ◇ Savoir évaluer la pertinence d'un modèle ajusté.
- ◇ Savoir mettre en oeuvre les techniques de régression, ANOVA, plans d'expériences sur le logiciel R

### Bibliographie

A. ANTONIADIS, J. BERRUYER, R. CARMONA. *Regression non linéaire et applications*. Economica, 1992.  
J.J. DROESBEKE, J. FINE, G. SAPORTA. *Plans d'expériences, application à l'entreprise*. Technip, 1997.

### Contrôle des connaissances

Examen final de 1h30.



### Les turbines pour la production d'énergie

Power plant turbine technology

Responsable(s) : Isabelle TREBINJAC

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

On s'intéressera dans ce cours aux différents types et assemblages de turbomachines utilisées pour la production d'énergie actuelle et future, en réseau ou locale. On analysera les différentes ressources, les types, géométries et dimensions de turbomachines associées et leur mode de fonctionnement.

L'extraction directe de l'énergie contenue dans le vent (les éoliennes), dans les cours d'eau (les hydrauliques) ou dans les chutes d'eau (les turbines hydrauliques) représente une part de cette production. Une autre partie provient d'assemblages de constituants (compresseurs, turbines et sources de chaleur) communément dénommés turbine à gaz ou turbine à vapeur, pouvant produire simultanément chaleur et énergie mécanique (ou électrique).

Mots-clés : Production d'énergie, Turbines hydrauliques, Éolienne, Turbine à gaz, Turbine à vapeur

#### Programme

- Turbines hydrauliques : géométries (turbines à action et à réaction, Francis, Kaplan, Pelton), échanges d'énergie (équation d'Euler), rendement, lois de similitude, phénomène de cavitation
- Éoliennes : géométrie, taille, nombre de pales, puissance récupérable (loi de Betz), régulation.
- Turbines à gaz : introduction à la production d'énergie à partir d'une source de chaleur, formes d'énergie échangée dans les différents composants (notions de travail utile et de variables d'arrêt), représentation graphique des transformations, description des composants.
- Turbines à vapeur : cycle de Rankine, cycle de Hirn et améliorations ( resurchauffe, soutirage).

#### Compétences

- ◇ Comprendre la génération d'énergie à partir d'une turbomachine.
- ◇ Savoir dimensionner une turbine hydraulique.
- ◇ Savoir dimensionner une éolienne.
- ◇ Savoir calculer un cycle de turbine à gaz et à vapeur.

#### Activités / Autonomie

Savoir expliquer le fonctionnement d'une turbine Pelton à partir du TP et illustrer l'analyse dimensionnelle

#### Contrôle des connaissances

Examen écrit + rapport de TP + rapport de BE



## Méthodes variationnelles pour les EDP

Variational methods for PDEs

Responsable(s) : Martine MARION

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Les méthodes variationnelles ou méthodes d'énergie sont fondamentales dans l'étude des équations aux dérivées partielles (ou EDP) linéaires et surtout non linéaires. Elles reposent sur des estimations des solutions dans des espaces fonctionnels adaptés et sur l'utilisation d'outils puissants d'analyse fonctionnelle.

Le but de ce cours est de présenter les notions fondamentales d'analyse à la base de ces méthodes ; montrer comment elle peuvent être utilisées pour étudier des EDP stationnaires (dites elliptiques) ainsi que des EDP d'évolution.

Ces notions seront notamment illustrées par l'étude de divers problèmes issus de la physique mathématique.

Pré-requis : il est recommandé d'avoir suivi le cours S8 'Analyse Fonctionnelle' (ou toute formation équivalente).

Mots-clés : Equations aux dérivées partielles, solutions faibles, problèmes linéaires et non linéaires, méthodes variationnelles

#### Programme

Chapitre 1. Problèmes elliptiques linéaires

- Espaces de Sobolev
- Méthodes variationnelles
- Problèmes aux valeurs propres

Chapitre 2. Problèmes elliptiques non linéaires

- Topologie faible
- Méthode de Galerkin

Chapitre 3. Problèmes d'évolution linéaires

- Fonctions à valeurs vectorielles
- Formulation variationnelles
- Existence et unicité de solutions dans le cas parabolique

Chapitre 4. Problèmes d'évolution non linéaires

- Formulations variationnelles
- Construction de solutions approchées
- Étude de certaines équations

#### Compétences

- ◇ Acquérir les notions d'analyse permettant l'étude des EDPs
- ◇ Savoir les appliquer à divers problèmes

#### Masters affiliés

Master mention "Mathématiques appliquées, statistiques", parcours "Maths en action"

#### Bibliographie

H. BRÉZIS. *Analyse fonctionnelle*. Dunod, 2005.

L. EVANS. *Partial Differential Equations*. AMS, 1998.

J.-L. LIONS. *Quelques méthodes de résolution des problèmes aux limites non linéaires*. Dunod et Gauthier-Villars, 1969.

#### Contrôle des connaissances

Examen de 2H (note de savoir 70%) - Compte-rendus de BE (note de savoir-faire 30%)



### Reconnaissance et comportement des sols

Responsable(s) : Eric VINCENS

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Tout aménagement est susceptible de perturber un équilibre naturel et ce risque doit pouvoir être évalué par une connaissance approfondie du site et des outils scientifiques adaptés.

Ce cours a donc pour objectifs :

- ◇ de donner aux étudiants les connaissances nécessaires pour définir et réaliser une campagne de reconnaissance des sols d'un site, cette reconnaissance sera complétée par des essais en laboratoire,
- ◇ de présenter les outils d'analyse permettant d'évaluer les risques d'instabilités de pentes naturelles ou construites par l'homme,
- ◇ d'introduire des outils plus sophistiqués de modélisation de comportement de sols utilisés dans les grands bureaux d'études géotechniques.

Mots-clés :

#### Programme

Reconnaissance des sols (essais in situ +laboratoire)Stabilité des pentes (statique +dynamique)  
Comportement expérimental des sols (argile +sables)  
Elastoplasticité appliquée au sol (modèle de Cam-Clay)

#### Compétences

- ◇ Maitriser les différents modèles géomécaniques et hydrauliques.
- ◇ Savoir analyser la stabilité des talus et pentes.
- ◇ Comprendre le comportement des sols selon leur nature.

#### Activités / Autonomie

TP : "Reconnaissance visuelle des sols" accompagné de "Reconnaissance des sols argileux"  
TP : "Essai de cisaillement sur sable" accompagné de "comportement des milieux saturés"  
Un compte-rendu est attendu à chaque fois  
BE : Analyse d'un cas d'étude (ouvrage hydraulique) avec mise ne application des modèles, essais et reconnaissances

#### Masters affiliés

Master Mécanique

#### Bibliographie

G. OLIVARI. *Mécanique des sols*. Polycopié ECL-SDEC.  
P. MESTAT. *De la rhéologie des sols à la modélisation des ouvrages géotechniques*. Magnis nostris frequentibus, 2000.

#### Contrôle des connaissances

- Micro-tests sous la base de QCM (sans documents)
  - TPs
  - Test de 2h sans documents
- note du MOD :  $2/3 \cdot \text{test} + 1/3 \cdot (\text{microtests} + \text{TPs})$



### Propagation des ondes élastiques

#### ELASTIC WAVE PROPAGATION

Responsable(s) : Louis JEZEQUEL, Sébastien BESSET

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Dans le domaine de la Vibro-acoustique, la maîtrise du comportement des structures se heurte à la difficulté d'utiliser la méthode des éléments finis. La vision ondulatoire apparaît alors indispensable et constitue la base de nombreuses méthodes d'analyse utilisées dans l'industrie. Sa mise en oeuvre dans le domaine des transports a permis d'optimiser le confort vibro-acoustique des véhicules. Dans le domaine du Génie Civil, le calcul du comportement vibro-acoustique des constructions a été rendu nécessaire par l'évolution de normes de sécurité et de confort. D'autre part, l'analyse ondulatoire des problèmes aéro-élastiques ou hydro-élastique met en évidence des phénomènes dynamiques majeurs comme les ondes de choc, le rayonnement et la transparence acoustique des structures.

**Mots-clés :** Propagation, vibro-acoustique, rayonnement, sismique, milieux stratifiés, couplage fluide-structure, couplage sol-structure

#### Programme

I - Introduction : Propagation d'un milieu mono-dimensionnel - Ondes harmoniques - Flux de puissance  
II - Analyse des ondes dans les solides : Propagation dans un espace fini - Propagation dans un demi-espace - Ondes dans les milieux stratifiés - Guide d'ondes - Cas des milieux périodiques  
III - Analyse vibro-acoustique : Comportement non-modal des structures - Formulation Intégrales des problèmes - Méthodes d'analyse énergétique - Analyse statique de problèmes dynamiques  
IV - Couplage sol-structure : Dynamique des fondations superficielles - Modélisation des fondations par pieux - Modèles de simulation numérique  
V - Couplage fluide-structure : Propagation dans les tuyauteries - Etude des coups de bélier - Transparence acoustique et rayonnement des parois

#### Compétences

- ◇ Comprendre les principaux phénomènes vibro-acoustiques.
- ◇ Maîtriser les échanges d'énergie vibratoire entre les milieux élastiques.
- ◇ S'initier aux outils de calculs vibro-acoustiques utilisés en conception mécanique.
- ◇ Comprendre les règles de dimensionnement parasismique.

#### Activités / Autonomie

Apprendre et approfondir une partie du cours via une analyse bibliographique et une réflexion sur un problème d'application.

#### Masters affiliés

Master Mécanique  
Master Génie Civil

#### Bibliographie

A. BEDFORD & D.S. DRUMHELLER. *Introduction to elastic wave propagation*.  
F.E. RICHARD, JR HALL & R.D. WOODS. *Vibrations of Soils and Foundation*.  
JAMES F. DOYLE. *Wave Propagation in Structures. Spectral Analysis using fast discrete Fourier transforms - Second Edition*.

#### Contrôle des connaissances

Bureaux d'étude  
Test



### Réseaux de télécommunications

Responsable(s) : Yves CAZÉ

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Ce module présente l'état de l'art dans le domaine des télécommunications et des réseaux d'entreprises, du point de vue de l'opérateur Orange Business Services.

Il traite les sujets suivants : les réseaux supports, la téléphonie traditionnelle et ToIP, les réseaux privés virtuels (VPN), la Virtualisation, la mobilité et les convergences associées.

Mots-clés : Réseaux, VPN, MPLS, IPSec, opérateur, ToIP, virtualisation

#### Programme

- 1 - Les besoins des entreprises en télécommunications
- 2 – Les réseaux support (xDSL, fibre...)
- 3 – Interconnexion de réseaux en télécommunications (VPN IPSec et MPLS)
- 4 – Nomadisme, IoT et réseaux mobiles (GSM, EDGE, 3G, 4G...)
- 5 – Virtualisation (Citrix, VMWare...)
- 6 – Téléphonie traditionnelle, VoIP/ToIP

#### Activités / Autonomie

Mise en application lors des BE : recherche de solutions VPN et Téléphonie pour répondre aux besoins d'une entreprise.

#### Masters affiliés

Master EEAP : parcours SI

#### Bibliographie

- D.BATTU. *Télécommunications*. Dunod, 2002.  
C. SERVIN. *Réseaux et Télécoms*. Dunod, 2009.

#### Contrôle des connaissances

50% savoir, 50% savoir-faire





# Systèmes embarqués en environnement hostile

**Responsable(s) : Sébastien LE BEUX**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

## Objectifs de la formation

Les objets connectés sont des systèmes embarqués dont la conception nécessite de prendre en compte plusieurs critères : autonomie, connectivité, mobilité, robustesse et sécurité.

Au travers de l'étude des réseaux de capteurs sans fils, nous nous intéressons aux architectures matérielles communément employées (microcontrôleur, DSP, FPGA), au logiciel enfoui et aux interfaces de communication (du matériel à la couche protocolaire). Les notions cryptographie seront introduites dans la partie du cours portant sur la sécurité des objets.

**Mots-clés :** Objets connectés, systèmes embarqués, conception

### Programme

BE : Programmation logicielle d'un système embarqué  
TPs : programmation d'un algorithme de contournement d'obstacle sur une base roulante autonome

### Compétences

- ◇ Comprendre les défis de conception des systèmes embarqués.
- ◇ Maîtriser les concepts logiciels et matériels nécessaires à la réalisation de systèmes embarqués.

### Masters affiliés

Master Electronique, Energie Electrique, Automatique (3EA)

### Contrôle des connaissances

70% savoir, 30% savoir-faire



### Identification des systèmes et décomposition parcimonieuse des signaux

*System identification and sparse decompositions*

Responsable(s) : Julien HUILLERY, Laurent BAKO

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

La compréhension des phénomènes de la physique couplée à l'avancée des technologies de l'observation, les besoins d'analyse, de diagnostic et de commande des systèmes d'ingénierie font de plus en plus appel à la modélisation expérimentale. Ce travail de modélisation est un préalable à la synthèse de lois de commande des systèmes dynamiques ou à l'analyse et au traitement des signaux. L'objectif de l'enseignement est de donner des principes et des méthodes avancées de modélisation des signaux et des systèmes. L'« identification de systèmes » vise à associer un modèle mathématique à un système dynamique sur la base de données bruitées issues de capteurs. La « décomposition parcimonieuse de signaux » vise à une modélisation compacte d'un signal via sa décomposition dans un dictionnaire.

**Mots-clés** : modélisation, identification de systèmes, estimation paramétrique, parcimonie, dictionnaire de signaux, représentations temps-fréquence, ondelettes, acquisition compressée, optimisation

#### Programme

Partie I : Identification de systèmes

Introduction à la modélisation des signaux et des systèmes : point de vue systèmes

Notion de structure de modèle : définition et exemples

Méthodes d'estimation basées sur la minimisation de l'erreur de prédiction

Éléments pour l'analyse : identifiabilité, persistance d'excitation, richesse fréquentielle d'un signal

Propriétés asymptotiques des estimateurs : consistance, convergence en distribution

Partie II : Décomposition parcimonieuse de signaux

Introduction à la modélisation des signaux et des systèmes : point de vue signal

Décompositions parcimonieuses des signaux : principe et algorithmes

Dictionnaires de représentation : temps-fréquence et ondelettes

Acquisition compressée : un nouveau paradigme pour la mesure

#### Compétences

- ◇ Comprendre les enjeux applicatifs de la modélisation des signaux et des systèmes
- ◇ Construire un modèle de système à partir de mesures expérimentales
- ◇ Connaître les bases usuelles de représentation des signaux
- ◇ Déterminer une représentation parcimonieuse d'un signal mesuré

#### Activités / Autonomie

Le cours magistral est suivi de 3 BEs de mise en œuvre sous Matlab/Simulink :

a - Mise en œuvre de méthodes d'identification sur un exemple.

b - Décompositions parcimonieuses de signaux.

c - Acquisition compressée.

#### Masters affiliés

Parcours "Génie des Systèmes Automatisés" (GSA) du Master EEEA

Parcours "Medical Imaging, Signals and Systems" (MISS) du Master IDS

#### Bibliographie

L. LJUNG. *System Identification: Theory for the User (2nd Edition)*. PTR Prentice Hall, 1999.

S. MALLAT. *A wavelet tour of signal processing, the sparse way*. Academic Press, 2009.

S. BOYD AND L. VANDENBERGHE. *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004.

#### Contrôle des connaissances

La note de l'AF est formée pour 50% de la note de savoir (examen écrit de 2h) et 50% de la note de savoir-faire (moyenne des notes obtenues aux 3 BEs)



### Diagnostic et Sûreté de Fonctionnement

*Diagnosis and Health Monitoring*

**Responsable(s) : Emmanuel BOUTLEUX**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Les systèmes innovants sont de plus en plus complexes. Dans le domaine de la mécatronique des véhicules automobiles, il est par exemple nécessaire de piloter des actionneurs par rapport à une stratégie de commande programmée dans un calculateur, qui réagit en fonction de mesures renvoyées par des capteurs. Dans le domaine aéronautique, on remplace, par exemple, les actionneurs hydrauliques par des actuateurs électriques avec une intelligence embarquée, afin d'obtenir des gains de poids et de flexibilité.

La complexité sans cesse croissante des systèmes ne doit pas nuire à leur fiabilité. Il est donc nécessaire de surveiller un système dans son ensemble pour diagnostiquer l'apparition de défaillances et garantir sa sûreté de fonctionnement.

**Mots-clés :** Diagnostic, sûreté de fonctionnement, automatique, identification, reconnaissance des formes, AMDEC, arbre de défaillance

#### Programme

Enjeux du diagnostic automatisé  
Méthodes fonctionnelles d'analyse de défaillance (arbres de défaillances, AMDEC, ...)  
Fiabilité  
Méthodes de diagnostic :

- à base de modèle
  - identification
  - analyse de résidus
- à base d'intelligence artificielle
  - reconnaissance des formes
  - classification
  - règles de décision

Perspectives

#### Compétences

- ◇ Comprendre l'intérêt et la complexité des approches fonctionnelles
- ◇ Saisir les enjeux et les difficultés de la sûreté de fonctionnement
- ◇ Etre capable d'appliquer des méthodes de diagnostic par reconnaissance des formes
- ◇ Savoir identifier un modèle physique et l'utiliser à des fins de diagnostic

#### Activités / Autonomie

3 séances de BE de 4h à l'aide du logiciel Matlab (la maîtrise de ce logiciel est indispensable)

#### Masters affiliés

GI  
GSA

#### Bibliographie

BERNARD DUBUISSON. *Diagnostic, intelligence artificielle et reconnaissance des formes*. Hermès Science Publications, Collection : ic2 prod, 2001.  
BERNARD DUBUISSON. *Diagnostic et reconnaissance des formes*. Traité des nouvelles technologies. Série diagnosti, 1990.  
ALAIN VILLEMEUR. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. Edition Eyrolles, 1988.

#### Contrôle des connaissances

50% moyenne des 3 comptes-rendus de BE (savoir-faire)  
50% examen final individuel (savoir)



## Automatique Avancée

Advanced Control

Responsable(s) : Anton KORNIENKO, Xavier BOMBOIS

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Les systèmes étant de plus en plus complexes, les cahiers des charges (CdC) serrés, la recherche du correcteur assurant le meilleur compromis entre des spécifications parfois contradictoires doit être vue comme un problème d'optimisation. La commande LQ/LQG est une solution efficace où le CdC est traduit sous la forme d'un critère représentant classiquement un compromis entre la performance dynamique et le coût pour l'atteindre. Supposant un modèle parfait du procédé, elle ne prend pas en compte les besoins actuels de robustesse. La commande  $H_{\infty}$ , généralisation de la commande fréquentielle classique, permet de pallier à cela. Ces 2 approches sont présentées ici en soulevant leurs points forts et faibles sur des exemples permettant de s'approprier les outils de mise en œuvre.

Mots-clés : Commande LQ/LQG, Commande  $H_2$ , Commande robuste, Commande  $H_{\infty}$ , Commande multivariable.

### Programme

Le cours commencera par un récapitulatif des méthodes classiques de commande et de leurs cahiers des charges. La méthode de synthèse LQ/LQG et sa généralisation (càd la commande  $H_2$ ) seront ensuite présentées. Nous nous intéresserons particulièrement aux spécifications additionnelles du cahier des charges qui peuvent être traitées avec cette méthode de commande ainsi qu'aux différentes manières de réaliser cette commande (approche entrée-sortie ou retour d'état avec observateur). Finalement, la deuxième méthode avancée de synthèse de correcteur (la commande  $H_{\infty}$ ) sera présentée. Cette méthode permet de considérer un cahier des charges similaire à la méthode LQ/LQG, mais peut également traiter les problèmes de robustesse liée à l'incertitude du modèle.

### Compétences

- ◇ Etre capable de spécifier un critère d'optimisation pour la commande LQ/LQG et la commande  $H_{\infty}$  à partir d'un cahier des charges.
- ◇ Etre capable de synthétiser un correcteur en utilisant une méthode de commande avancée.
- ◇ Etre capable d'analyser la boucle fermée obtenue et sa performance.

### Activités / Autonomie

3 séances de BEs :  
BE1 : Commande LQ/LQG  
BE2 : Commande  $H_{\infty}$   
BE3 : Synthèse LQ/LQG vs  $H_{\infty}$

### Masters affiliés

Master EEEA, Parcours Génie des Systèmes Automatisés (GSA)

### Bibliographie

- ALAZARD D., CUMER C., APKARIAN P., GAUVRIT M. ET F. *Robustesse et commande optimale*. Cépaduès editions, 1999.
- KWAKERNAAK H.  *$H_2$ -Optimization – Theory and Applications to Robust Control Design*. Annual Reviews in Control, 26 (1), pp. 45-56, 2002.
- SKOGESTAD S. AND POSTLETHWAITE I. *Multivariable Feedback Control, Analysis and Design*. John Wiley and Sons Chischester, 2005.

### Contrôle des connaissances

Examen final de 2h avec documents : 55%  
Évaluation BE1 & BE2 : 15 %  
Compte-rendu BE3 : 30%



### Green Computing

#### Green Computing

Responsable(s) : Sébastien LE BEUX, Ian O'CONNOR

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Ce cours vise à étudier l'exécution d'applications sur les architectures de calcul des points de vue de la fonctionnalité, des performances et de l'efficacité énergétique. Dans ce contexte seront abordés les architectures matérielles parallèles (processeurs multi-cœur, machines SIMD), les ressources matérielles de communications (bus et réseau) ainsi que le déploiement efficace d'applications sur ces ressources matérielles : placement des tâches, partitionnement matériel/logiciel et adéquation algorithme architecture. Les techniques d'estimation de la consommation énergétique seront présentées et permettront d'estimer le coût des accès mémoires, des calculs et des communications.

**Mots-clés :** Consommation énergétique dans les systèmes électroniques numériques, Techniques faible consommation, Architectures de calcul parallèles, Déploiement des applications, Adéquation algorithme architecture

#### Programme

Principes du partitionnement matériel / logiciel et du dimensionnement des processeurs  
Architectures multi-cœur et programmation  
Stratégies de déploiement de tâches et de réduction de la consommation  
Coût énergétique de la communication inter-cœur ou du calcul distribué  
Estimation énergétique multi-niveau d'abstraction de l'exécution logicielle

#### Compétences

- ◇ Comprendre les enjeux et les origines de la consommation dans les architectures de calcul.
- ◇ Etre capable d'évaluer la consommation énergétique dans les processeurs.
- ◇ Etre capable d'optimiser la programmation d'algorithmes sur processeurs pour minimiser la consommation énergétique.

#### Activités / Autonomie

BE : analyse des supercalculateurs économes en énergie (green500.org)  
TP (2 séances de 4h) : programmation d'un filtre numérique audio sur processeur, optimisation de la consommation énergétique

#### Masters affiliés

Master Electronique, Energie Electrique, Automatique (3EA)

#### Bibliographie

M.T. SCHMITZ ET AL. *System-Level Design Techniques for Energy-Efficient Embedded Systems*. Springer, 2004.  
T.D. BURD ET AL. *Energy-efficient microprocessor design*. Kluwer, 2002.

#### Contrôle des connaissances

50% savoir, 50% savoir-faire



### Energie Stockage-Conversion

Energy, Storage, Conversion

Responsable(s) : Guy STREMSDOERFER, Jean-Pierre CLOAREC

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'augmentation de la population mondiale, l'élargissement de la demande (2 milliards de personnes n'ont pas accès à l'électricité), ou l'augmentation de la demande (parc automobile passera de 400 millions à 1 milliard dès 2020), fait que la place et le rôle des énergies revêt une grande importance.

La matière " stocke différemment l'énergie". Cette réserve et densité énergétique disponible seront différentes selon les sources et interactions impliquées. Les cycles et procédés de la transformation permettant les conversions et échanges d'énergie seront étudiés en soulignant l'ingénierie liée aux énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolien, biomasse, géothermie). Ce module ouvert doit permettre d'avoir une meilleure vision des enjeux énergétique au regard des concepts scientifiques.

**Mots-clés :** Interaction nucléaire, électromagnétique, gravitationnelle ; densité énergétique ; procédés de transformation ; conversion et échange d'énergie ; techniques de stockage.

#### Programme

- 1 - Les diverses conversions et hiérarchie des énergies (2H) G.Stremsdoerfer, JP. Cloarec
- 2 - Transformation et stockage : Mécanique - Electrique (2H), F.Morel
- 3 - Transformation et stockage : Chimique - Thermique (2H) J.M. Vignon
- 4 - Transformation et stockage : Chimique - Electrique (2H) G. Stremsdoerfer
- 5 - Transformation et stockage : Electrique – Magnétique (2H) D. Voyer
- 6 - Transformation et stockage : Nucleaire Thermique (2H) Y.Robach
- 7 - Transformation: Rayonnement - Electrique, (2H) E. Drouard
- 8 - Transformation et stockage : Biochimique-Thermique (2H) E. Laurenceau

#### Compétences

- ◇ être capable de faire une analyse systémique d'un système énergétique
- ◇ comprendre et formuler le problème lié à une conversion énergétique
- ◇ identifier les interactions entre éléments (types de transformations, stockages, conversions)
- ◇ travailler en groupe et présenter des solutions pour un problème énergétique

#### Activités / Autonomie

BE: Le véhicule écologique : réalité ou utopie ? Etude d'un véhicule à air comprimé  
BE: Les différentes formes de Stockage et étude de dimensionnement d'un champ photovoltaïque  
3 BE : Restitution du travail à partir d'un choix de sujets ( 18-20 sujets proposés ou à proposer).  
Travail en autonomie par groupes de 2 ou 3.

#### Bibliographie

CEA. *Memento sur l'énergie « Energy handbook »*. CEA, 2015.

#### Contrôle des connaissances

2h de test (50%) + restitution travail en BE (50%)



### Combustion pour la propulsion

#### Combustion

Responsable(s) : Jean-Marc VIGNON, Mikhael GOROKHOVSKI

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Ce cours a pour objectif d'appréhender les phénomènes de combustion dans les milieux gazeux. Les domaines d'application vont de la production d'énergie à l'étude des risques d'incendie. Un point particulier est la pollution par les gaz de combustion. Ce cours s'appuie sur des connaissances de base en thermodynamique classique et chimique, qui seront complétées par les éléments nécessaires de cinétique chimique. Il constitue aussi une extension aux milieux réactifs des notions de mécanique des fluides, support des équations locales de conservation. Très globalement, l'étude de la combustion peut être abordée à différents niveaux, le minimum étant l'aspect énergétique global, indispensable pour appréhender l'énergétique industrielle. Les autres aspects sont très synthétiques.

Mots-clés : Combustion, Mécanique, Inflammation, Diffusion, Mélange, Sprays, Cinétique, Énergétique

#### Programme

- I - Thermodynamique chimique. Température adiabatique de flamme. Équilibres chimiques
- II - Taux de réaction chimique Mécanismes cinétiques de la combustion. Température d'inflammation et limites d'inflammabilité.
- III - Rappel des équations de conservation des systèmes réactifs : Diffusion, Énergie et Bilan dynamique dans le milieu fluide en mouvement.
- IV - Combustion en systèmes homogènes et explosions.
- V - Flamme de prémélange. Onde de détonation. Flamme laminaire
- VI - Flamme de diffusion. Modèles des flammes laminaires de diffusion. Flamme turbulente et stabilisation de la combustion.
- VIII - Combustion des sprays. Combustion d'une goutte. Milieu diphasique.
- IX - Nouvelles tendances dans la combustion industrielle. Oxy-combustion, Combustion « verte », Recirculation des gaz

#### Compétences

- ◇ Savoir faire les bilans massiques et énergétiques des combustions pratiques.
- ◇ Savoir exprimer les termes de cinétiques dans les équations de bilan locales de mécanique des fluides, et des hypothèses simplificatrices.
- ◇ Connaître les particularités des flammes turbulentes, de diffusion et de prémélange.

#### Masters affiliés

Master MEGA Thermique et énergétique  
Options Energie, Transport et Trafic, Aéronautique.

#### Bibliographie

- R. BORGHI ET M. DESTRIAU. *La combustion et les flammes*. Editions Technip, 1995.
- K.K. KUO. *Principles of Combustion*. Wiley-Interscience Publication, 2005.
- I. GLASSMAN & RA. YETTER. *Combustion*. Elsevier, 2008.

#### Contrôle des connaissances

Examen de deux heures en fin de module (savoir)  
Compte-rendus de bureau d'études (savoir faire)  
Note globale = 50% Savoir = 50 % Savoir faire



### Recherche opérationnelle

Operations Research

Responsable(s) : Abdelmalek ZINE, Alexandre SAIDI

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'objectif de ce cours est de donner aux élèves les méthodes et outils leur permettant à la fois de savoir poser mathématiquement un problème d'optimisation combinatoire à variables continues ou discrètes et de savoir identifier les outils adéquats pour sa résolution (algorithmes d'optimisation).

Ce cours sera illustré par de nombreux cas concrets issus de l'ingénierie.

Ainsi, notre but est de faire découvrir aux futurs ingénieurs l'attitude d'esprit qu'ils doivent adopter devant tout problème réel, donc complexe.

**Mots-clés :** Recherche opérationnelle, optimisation combinatoire, optimisation continue, optimisation discrète, aide à la décision, résolution de contraintes, théorie des graphes, complexité, problèmes NP-difficiles, algorithmes

#### Programme

Partie I : présentation de la recherche opérationnelle (C-E Bichot)  
Les problèmes d'Optimisation et de Recherche Opérationnelle  
Savoir poser un problème, le formaliser  
Théorie de la complexité, classes de complexité

Partie II : Résolution de problèmes à variable continues (A. Zine)  
Optimisation sans contraintes et algorithmes  
Optimisation avec contraintes et algorithmes  
Programmation linéaire et algorithme du simplexe

Partie III : Résolution de problèmes à variables discrètes (C-E Bichot et A. Saidi)  
Algorithmes polynomiaux, d'approximation  
Algorithmes de graphes (plus court chemin et flots maximums), programmation dynamique  
Heuristiques et métaheuristiques  
Ouverture sur la programmation par contraintes

#### Compétences

- ◇ Modéliser mathématiquement des problèmes d'optimisation
- ◇ Créer des algorithmes et résoudre numériquement des problèmes d'optimisation
- ◇ Maîtriser la complexité combinatoire des problèmes d'optimisation
- ◇ Choisir un algorithme de résolution approprié

#### Activités / Autonomie

Modélisation et résolution de problèmes d'optimisation par systèmes linéaires et par systèmes de satisfaction de contraintes (BEs). Prise en compte de la complexité des problèmes combinatoires.

#### Masters affiliés

Master GI  
Toutes les options sont concernées par ce cours

#### Bibliographie

CH-E. BICHOT ET P. SIARRY. *Partitionnement de graphe*. Hermes, 2010.  
P. VENKATARAMAN. *Applied Optimization with Matlab*. Wiley, 2009.  
A. BILLIONNET. *Optimisation discrète : De la modélisation à la résolution par des logiciels de programmation mathématique*. Dunod, 2006.

#### Contrôle des connaissances

Examen écrit de 2 heures et comptes rendus des BE





### Analyse des assemblages : géométrie et architecture

*Mechanical assembly: architecture and geometry analyses*

**Responsable(s) : Bertrand HOUX, Didier LACOUR**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Présenter les méthodes et outils d'analyse de la qualité géométrique des assemblages.

La maîtrise de l'architecture et de la géométrie des assemblages est un objectif industriel majeur. La qualité géométrique des pièces, l'architecture des assemblages peuvent avoir des répercussions directes sur la capacité d'assemblage du produit, mais aussi sur les prestations qu'il doit assurer.

Ce cours présente les méthodes modernes de simulation des assemblages en intégrant les défauts géométriques de leurs composants. Il identifie ainsi les concepts théoriques sur lesquelles ces méthodes se basent, afin de comprendre leurs domaines d'application et leurs limites.

**Mots-clés :** assemblage, architecture, spécifications géométriques, normes ISO GPS, tolérancement, métrologie, analyse d'influences, simulation assemblage, statistique

#### Programme

Quantification des spécifications et analyse de leurs influences sur l'assemblage (sensibilités) par torseurs de petits déplacements.  
Approches statistiques, Monte-Carlo.  
Méthodes de spécifications géométriques, matrice GPS (Geometrical Product Specification).  
Algorithmes utilisés en métrologie tridimensionnelle (méthodes numériques d'association).

#### Compétences

- ◇ connaître les méthodes et outils d'analyse de la qualité géométrique des assemblages.
- ◇ écrire et interpréter des spécifications géométriques normalisées.
- ◇ analyser les influences et contributions sur un modèle concret.
- ◇ établir et mettre en oeuvre une stratégie de contrôle tridimensionnelle.

#### Masters affiliés

Aéronautique et Espace

#### Bibliographie

ANSELMETTI B. *Tolérancement – Volumes 1 à 4*. Hermès - Lavoisier, 2010.  
CHARPENTIER F. *Mémento de spécification géométrique des produits – Les normes ISO-GPS*. AFNOR, 2015.  
BOURDET P. & MATHIEU L. *Tolérancement et métrologie dimensionnelle*. Cetim, 1999.

#### Contrôle des connaissances

Note finale = 0,6 x Note d'examen écrit de 2 heures (savoir) + 0,4 x Note de BE (savoir faire)



### Systèmes de bases de données

Database systems

Responsable(s) : Liming CHEN

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Les bases de données sont au cœur de tout système d'information aujourd'hui omniprésent dans notre vie quotidienne (travail, organisation, web, etc.). Ce cours a pour objectif d'étudier les principes de programmation de bases de données relationnelles et semi-structurées qui sont les fondements de toute application dans les divers systèmes d'information. Il aborde aussi des aspects d'implémentation de systèmes de bases de données comme le contrôle de concurrence ou encore l'optimisation de requêtes.

**Mots-clés :** bases de données, modélisation de données structurées ou non, stockage et accès de données, langages relationnels, contrôle de concurrence, optimisation de requêtes, contraintes d'intégrité

#### Programme

Introduction (Modèle relationnel, schémas, SQL, modèle semistructuré, XML)  
Modèles de données (entité/association, relationnel, objet)  
Langages relationnels (Algèbre relationnelle, SQL, Datalog)  
Programmation SQL (PL/SQL, Embedded SQL)  
Applications web et bases de données (JDBC, PHP)  
XML Xpath-Xquery-xslt  
Contrôle de concurrence  
Optimisation de requêtes  
- contraintes d'intégrité  
- Olap et Data-mining

#### Compétences

◇ Etre capable de comprendre les composantes majeures d'un système d'information.  
◇ Mettre en oeuvre des techniques fondamentales pour développer un système d'information et ses applications.

#### Activités / Autonomie

Trois BEs sont prévus pour mettre en place une base de données, extraire des données à travers SQL et développer un système d'information Web pour une application de gestion particulière.

#### Masters affiliés

Master d'Informatique

#### Bibliographie

H.GARCIA-MOLINA, J.D.ULLMAN, J.WIDOM. *Database systems: the complete book*. Pearson Prentice Hall, 2002.  
GEORGES GARDARIN. *Bases de données* ([http://georges.gardarin.free.fr/Livre\\_BD\\_Contentu/XX-TotalBD.pdf](http://georges.gardarin.free.fr/Livre_BD_Contentu/XX-TotalBD.pdf)). Eyrolles, 2003.

#### Contrôle des connaissances

40% savoir, 60% savoir faire



### Physiologie humaine et biotechnologies

*Human physiology and biotechnology*

**Responsable(s) : Emmanuelle LAURENCEAU**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

L'objectif est de mettre à niveau les connaissances de base en physiologie et de permettre la compréhension des mécanismes de communication et de régulation de l'organisme. L'intégration entre les différentes fonctions sera abordée à partir d'exemples concrets pour les applications biomédicales en s'appuyant sur l'étude de systèmes tels que les systèmes cardiovasculaire et respiratoire. Une seconde partie permettra d'approcher le fonctionnement d'une cellule vivante dans son milieu naturel et d'appréhender les potentialités des cellules et des biomolécules qui les composent dans les secteurs de la santé. L'accent sera mis sur le lien entre structure, environnement et aptitude à remplir une fonction biologique. Le cours sera illustré par les développements de la biologie moléculaire.

**Mots-clés :** Cellules, biologie moléculaire, systèmes respiratoire et cardiovasculaire, applications biomédicales

#### Programme

Organisation de la cellule vivante  
Organisation du corps humain : Systèmes respiratoire, cardio-vasculaire, immunitaire  
Mécanismes biologiques fondamentaux  
Les cellules dans leur environnement  
TP : Analyse de cellules par microscopie optique  
BE : Physiologie du sport  
BE : Analyse de la fonction cardiaque par imagerie

#### Compétences

- ◇ Connaître les bases en biologie cellulaire et moléculaire
- ◇ Comprendre le fonctionnement du corps humain et les relations structure-fonction biologique
- ◇ Appréhender les enjeux dans le secteur de la santé
- ◇ Appliquer les connaissances à la résolution d'une problématique

#### Activités / Autonomie

approfondir le cours sur le système cardio-vasculaire

#### Masters affiliés

Master Ingénierie de la Santé (IdS), parcours Conception et Optimisation des Produits de Santé (COPS) et parcours Medical Imaging Signal and System (MISS)

#### Bibliographie

ALBERTS BRUCE M. (COLLAB.) JOHNSON ALEXANDER (COLL. *Biologie moléculaire de la cellule*. Flammarion Médecine-Sciences, 2004.  
ÉTIENNE JACQUELINE. *Biochimie génétique, biologie moléculaire*. Masson, 2006.  
SILVERTHORN DEE UNGLAUB. *Physiologie humaine*. Pearson education, 2007.

#### Contrôle des connaissances

Evaluations TP et BE, examen final



### Aléas et hétérogénéités dans les structures

*Uncertainties and heterogeneities in real structures*

**Responsable(s) : Francesco FROIIO, Eric VINCENS**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Le TC de Mécanique des Solides envisage les matériaux constitutifs des structures comme des matériaux homogènes dont les caractéristiques mécaniques et physiques possèdent une valeur déterministe. Les actions ont été aussi envisagées comme étant des actions déterministes pour le dimensionnement des sections.

Or, les structures réelles sont souvent sujettes à des actions, qui par nature sont aléatoires, et fabriquées selon des procédés induisant une certaine variabilité des propriétés. Nous verrons dans ce cours comment prendre en compte cette réalité complexe dans une démarche de dimensionnement qui se doit de rester simple pour l'ingénieur.

**Mots-clés :** Dimensionnement des structures, méthode semi-probabiliste; Eurocodes, sections hétérogènes, béton armé

#### Programme

Lors de ce cours nous aborderons :

- la caractérisation statistique des sollicitations, des matériaux dans les modèles mécaniques, introduction à la fiabilité des structures, facteurs partiels de sécurité
- compléments de mécanique des structures
- sections hétérogènes et approche spécifique de leur dimensionnement, calcul à la rupture

#### Compétences

- ◇ Identifier les aléas de chargement et les incertitudes liées aux matériaux et aux modèles dans une structure réelle (ex. ossature de bâtiment)
- ◇ Appliquer la démarche générale prévue par les Eurocodes (approche semi-probabiliste)
- ◇ Appliquer les méthodes de calcul usuelles permettant l'évaluation des sollicitations dans une structure réelle
- ◇ Dimensionner un élément de structure ayant une section hétérogène, selon la méthode du calcul à la rupture

#### Activités / Autonomie

- BE1 : Calculs des actions climatiques sur une structure réelle
- BE2 : Calculs des sollicitations dans un plancher de bâtiment en béton armé
- BE3 : Dimensionnement d'un plancher de bâtiment en béton armé

#### Bibliographie

- J.-A. CALGARO. *Introduction aux Eurocodes : sécurité des constructions et bases de la théorie de la fiabilité*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussée, 1999.
- R. PARK, T. PAULAY. *Reinforced concrete structures*. John Wiley & Sons, 1975.
- Y. SIEFFERT. *Le béton armé selon les Eurocodes 2*. Dunod, 2010.

#### Contrôle des connaissances

- Elle sera faite sur la base de :
- un compte rendu du BE 1 (coefficient 1/3)
- un test final sans documents (coefficient 2/3)



### Traitement et analyse des données visuelles et sonores

*Processing and analysis of visual and audio data*

**Responsable(s) : Mohsen ARDABILIAN, Emmanuel DELLANDREA**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Les images et les données sonores font partie de notre quotidien, mais aussi produites en masse dans de nombreux secteurs industriels. Ces signaux particulièrement riches en information doivent être compris et maîtrisés par des algorithmes d'analyse pour en définir les parties utiles. Cette tâche d'analyse peut être aussi simple que la lecture des barre-codes ou aussi sophistiquée que l'identification d'une personne et de son affect à partir de son visage ou de sa voix. Ce cours présente les algorithmes et les outils d'analyse permettant l'extraction d'informations sémantiques et utiles, exploitées dans des applications réelles. Cette démarche est utilisée dans de nombreux domaines comme robotique, médecine, sécurité, vision industrielle, internet, audiovisuel, véhicule intelligent etc

**Mots-clés :** Analyse d'image, analyse de vidéo, analyse audio, caractéristique, descripteur, forme, couleur, texture, classification, reconnaissance, fusion tardive, fusion précoce, représentation parsemé, traitement d'image, super résolution, big data

#### Programme

Recherche d'image et de son par le contenu  
Evaluation des approches d'analyse et de traitements d'images et de son  
Algorithmes de traitement d'images, super résolution  
Algorithme de traitement audio  
Algorithmes d'analyse d'images et de son, de bout en bout  
Applications traitées :

- Reconnaissance d'objets, de personne
- Structuration de la vidéo
- Reconnaissance d'image
- Reconnaissance sonore

#### Compétences

- ◇ Etre capable d'appliquer les algorithmes de traitement adéquats à un contexte donné.
- ◇ Etre capable d'appliquer les algorithmes d'analyse adéquats à un contexte donné.
- ◇ Evaluer des algorithmes ou des systèmes de traitement et d'analyse.
- ◇ Connaître des algorithmes de traitement et analyse de l'état de l'art, ainsi que leurs principes.

#### Masters affiliés

Master 2 de recherche Informatique de Lyon

#### Bibliographie

- A. DIVAKARAN. *Multimedia Content Analysis: Theory and Applications*. Springer, 2008.  
R. SZELISKI. *Computer Vision - Algorithms and Applications*. Springer, 2010.  
R. O. DUDA, P. E. HART & D. G. STORK. *Pattern Classification*. Wiley Interscience, 2004.

#### Contrôle des connaissances

Test final et note de BE



### Matériaux de construction

*Construction materials*

**Responsable(s) : Eric VINCENS**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'objectif de ce cours est de présenter les matériaux essentiels de construction, leur mode de fabrication ou de production, ainsi que leur caractérisation. Nous expliciterons leur comportement mécanique justifiant leur domaine d'emploi et donnerons à chaque fois des critères de choix en lien avec des problèmes de durabilité.

**Mots-clés :** granulat, bitumes, ciment, béton, bois, acier, terre, pierre

#### Programme

Nous aborderons tour à tour les matériaux suivants :

- Granulats
- Produits noirs : bitume, émulsions de bitumes...
- Liants hydrauliques : ciments, plâtre, chaux
- Bétons : normaux, hautes ou très hautes performances, fibrés, autoplaçants...
- Bois
- Acier de construction
- Matériaux premiers : terre et pierre sèche

L'emploi de ces matériaux sera replacé dans son contexte industriel et normatif, on insistera sur l'action de l'environnement qui tend à altérer ou modifier leurs propriétés tant physiques que mécaniques.

#### Compétences

- ◇ Savoir identifier et caractériser les matériaux.
- ◇ Connaître les problèmes de durabilité des matériaux dans leur environnement.

#### Activités / Autonomie

- TP de 2\*2h :
- réalisation d'une courbe granulométrique par tamisage et sédimentométrie
  - activité des sols en remblai : essai au Bleu de Méthylène.

#### Bibliographie

- G. DREUX. *Nouveau guide du béton et de ses constituants*. Eyrolles, 1998.  
H. DI BENEDETTO. *Matériaux routiers bitumeux 1 : Description et propriétés des constituants*. Lavoisier, 2004.  
JP. OLLIVIER, JM. TORRENTI, M. CARCASSÈS. *Propriétés physiques du béton et de ses constituants*. Lavoisier, 2012.

#### Contrôle des connaissances

- Microtests (QCM) sans documents
  - TPs
  - Test final sous forme de QCM sans documents
- Note finale = 2/3 test final + 1/3 activités de (microtests+TP)



### Tribologie : principes et applications

Tribology

Responsable(s) : Denis MAZUYER

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Bien que présente depuis longtemps dans notre vie quotidienne, la tribologie est une discipline scientifique récente traitant du frottement, de l'usure et de la lubrification. Si les structures sont souvent bien dimensionnées, les surfaces constituent une butée technologique dans la prédiction de leur endommagement. La prise en compte des phénomènes tribologiques devient un passage obligé dans de nombreux secteurs industriels pour répondre aux enjeux technologiques et économiques (production et maîtrise de l'énergie, fiabilisation des produits). Grâce à une approche interdisciplinaire couplant mécanique, science des matériaux et des surfaces, ce cours donne les principes généraux de la tribologie et leurs applications pour le diagnostic et la résolution de problèmes concrets.

Mots-clés : Frottement, Lubrification, Usure, Adhésion, Surfaces, Contact

#### Programme

La mécanique du contact statique

- Mécanique du contact lisse et rugueux
- Effet des couches minces

Les lois macroscopiques de frottement et d'usure

- Frottements statique et dynamique
- Les mécanismes physiques de l'usure

Les lubrifiants et les surfaces

- Adhésion entre surfaces et mécanique du contact adhésif
- Structure, propriétés des lubrifiants et additifs de lubrification

La lubrification fluide

- La lubrification hydrodynamique : principes physiques, notion de portance
- La lubrification élastohydrodynamique : formation des films lubrifiants sous haute pression

La lubrification limite

- Le contrôle du frottement et la réduction de l'usure
- La lubrification moléculaire et nanotribologie

#### Compétences

- ◇ Mise en oeuvre de méthodes d'expertises et de résolution de problèmes tribologiques
- ◇ Compréhension fondamentale des phénomènes de contact impliquant des surfaces en mouvement.

#### Activités / Autonomie

2 TP : démarche expérimentale en tribologie, caractérisation d'un contact élastohydrodynamique avec une approche expérimentale et numérique  
1 BE : Simulation numérique des contacts soumis à des sollicitations tribologiques : application au contact came/poussoir

#### Masters affiliés

Master OIV  
Master mécanique - parcours Tribologie et Ingénierie des Surfaces

#### Bibliographie

G.W. STACHOWIAK AND A. BATCHELOR. *Engineering Tribology*. Butterworth-Heinemann, 2013.  
F.P. BOWDEN AND D. TABOR. *Friction and Lubrication of Solids*. Oxford University Press, 1954.  
J.M. GEORGES. *Frottement, Usure et Lubrification*. CNRS Editions, Eyrolles, 2000.

#### Contrôle des connaissances

Examen écrit de 2 heures (Coeff. 2/3)  
Evaluation des comptes-rendus de TP et BE (Coeff. 1/3)



### Aerodynamique externe

External aerodynamics

Responsable(s) : Julian SCOTT, Jérôme BOUDET

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Anglais |

### Objectifs de la formation

Comprendre et décrire les forces (portance et traînée) induites par un écoulement sur un corps.

Identifier les paramètres de conception associés.

Formuler et appliquer des modèles d'écoulement utilisables en aérodynamique.

Estimer la précision de la prédiction issue des modèles, du point de vue d'un concepteur.

Mots-clés : Aérodynamique, Portance, Traînée, Aéronautique, Aéronefs, Surfaces portantes.

#### Programme

1. Dynamique du vol. Pilotage et surfaces de contrôle. Équilibre longitudinal. Stabilité du vol.
2. Conception bidimensionnelle d'une aile. Éléments essentiels de la théorie du profil d'aile. Cas particulier d'un profil mince. Modèles : méthodes potentielle, des panneaux.
3. Portance et effets 3D. Lien portance / circulation et ses conséquences pour les écoulements 3D. Cas particulier de l'aile elliptique et généralisation. Modèles : théories de la surface et de la ligne portantes.
4. Contrôle de la traînée. Couches limites laminaires et turbulentes. Paramètres d'influence sur la transition. Composantes de traînée sur un aéronef.
5. Effets de la compressibilité. Nombre de Mach, ondes de choc. Profils transoniques et supersoniques. Modèles : théories de Prandtl-Glauert et d'Ackeret.

#### Compétences

- ◇ Comprendre les principes élémentaires du vol d'un aéronef.
- ◇ Exploiter les modèles de base de l'aérodynamique.
- ◇ Pré-dimensionner une surface portante en aérodynamique.

#### Activités / Autonomie

TP : étude en soufflerie d'un profil d'aile, et comparaison à des simulations.

BE : modélisations élémentaires d'un avion : illustrations.

BE : conception géométrique d'un profil d'aile répondant à un cahier des charges donné.

#### Masters affiliés

Master Aéronautique et Espace.

Master Mécanique (parcours mécanique des fluides et énergétique).

#### Bibliographie

E.L. HOUGHTON, P.W. CARPENTER. *Aerodynamics for Engineering Student*. Butterworth-Heinemann, 2003.

D.P. RAYMER. *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. AIAA, 2012.

B.W. McCORMICK. *Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics*. Wiley, 1994.

#### Contrôle des connaissances

Contrôle écrit (55%, savoir).

Participation et comptes-rendus des séances BE et TP (45%, savoir faire).





### Nanotechnologies

#### Nanotechnologies

**Responsable(s) : Magali PHANER-GOUTORBE, Yves ROBACH**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Les nanosciences et nanotechnologies traitent de la compréhension des propriétés spécifiques de structures à l'échelle nanométrique, ainsi que de l'élaboration et de la caractérisation de ces nanostructures. Les nanotechnologies permettent de repousser les limites de la miniaturisation et d'engendrer de nouvelles applications et de nouvelles fonctionnalités en micro- et optoélectronique, en science des matériaux, en biologie et en médecine. Ce cours présentera les propriétés spécifiques des nanostructures et nanomatériaux, ainsi que les outils d'observation et d'élaboration à l'échelle nanométrique. Il mettra l'accent sur les réalisations technologiques déjà existantes ou susceptibles d'émerger dans un avenir proche.

**Mots-clés :** Physique des systèmes de faible dimensionnalité, Microscopies champ proche, Nanolithographie, Nanomatériaux, Nanoélectronique, Nanobiotechnologies.

#### Programme

Introduction aux nanosciences et nanotechnologies.  
Techniques d'observation et de caractérisation des nanostructures.  
Procédés de nanolithographie.  
Nanomatériaux, nanocristaux et nanoparticules.  
Nanoélectronique, électronique moléculaire, transistor à un électron.  
Nanobiotechnologies : biopuces à ADN et à protéines, auto-assemblage et biologie, structures biomimétiques.

#### Compétences

- ◇ Maîtriser les enjeux des nanotechnologies dans les domaines des technologies de l'information, des matériaux, de la médecine et de la biologie.
- ◇ Comprendre les phénomènes physiques des structures de faible dimensionnalité.

#### Activités / Autonomie

Approfondissement d'une partie du cours  
Études, exposés.

#### Bibliographie

- M. LAHMANI, C. BRECHIGNAC, P. HOUDY. *Les nanosciences. Tome 1: Nanotechnologies et nanophysique*. Editions Belin, 2004.
- M. LAHMANI, C. BRECHIGNAC, P. HOUDY. *Les nanosciences. Tome 2: Nanomatériaux et nanochimie*. Editions Belin, 2006.
- M. LAHMANI, C. BRECHIGNAC, P. HOUDY. *Les nanosciences. Tome 3: Nanobiotechnologies et nanobiologie*. Editions Belin, 2007.

#### Contrôle des connaissances

Évaluation de l'activité pratique.  
Évaluation en BE.  
Examen final écrit de 2H.



### Matière molle : nanosystèmes et interfaces biologiques

Responsable(s) : Denis MAZUYER

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

De nombreux systèmes moléculaires complexes sont utilisés, en très faible concentration pour contrôler les fonctionnalités des produits (cristaux liquides, cosmétiques, peintures, aliments) en donnant une réponse très forte à un signal de commande très faible. Ces technologies font appel à un fort état de division de la matière qui conduit à la création de grandes interfaces. À ces échelles, les équilibres des forces prévalant au niveau macroscopique sont bouleversés et les forces de surface interviennent directement dans la physique des nano-systèmes. Le but est ici de présenter les processus fondamentaux régissant la dynamique de cet état particulier de la matière et d'identifier le comportement d'objets courants (savons, polymères...) en vue de leur utilisation/conception/fabrication.

Mots-clés : Mouillage, capillarité, adhésion, rhéologie, colloïdes, biotechnologies

#### Programme

1. L'état colloïdal  
Définition, classification et propriétés physico-chimiques des systèmes colloïdaux  
Systèmes moléculaires organisés (de l'agrégat micellaire aux cristaux liquides ordonnés) et stabilité  
Capillarité et mouillage : ménisques et dynamique d'étalement de gouttes
2. Solutions de polymères  
Configurations des polymères dissous  
Polymères aux interfaces : Adsorption, greffage, stabilisation stérique
3. Transports des milieux colloïdaux  
Introduction à la rhéologie expérimentale  
Écoulement des solutions concentrées et interactions colloïdales  
Rhéologie des suspensions
4. Dispersions colloïdales et applications bio-médicales  
Les biofluides et les tissus biologiques  
Colloïdes en diagnostic et biotechnologie.

#### Bibliographie

- P.-G. DE GENNES, F. BROCHARD, D. QUÉRÉ. *Gouttes, perles et ondes*. Belin, 2001.  
P. COUSSOT, Ph. ANCEY. *Rhéophysique des pâtes et des suspensions*. EDP Sciences, 2000.  
D. TABOR. *Gases, Liquids and Solids and Other States of Matter*. Third edition, Cambridge University Press, 1991.

#### Contrôle des connaissances

- Analyse critique d'un article scientifique : restitution orale et écrite (coeff. 2/3)  
Comptes rendus des activités pratiques (coeff. 1/3)



### Durabilité des matériaux et des structures

*Durability of materials and structures*

Responsable(s) : Bruno BERTHEL, Michelle SALVIA

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

La recherche de systèmes performants, fiables et à sécurité accrue, passe par une bonne prise en compte des mécanismes d'endommagement des matériaux et des structures. Ce cours vise à fournir les outils permettant d'estimer la durée de vie de pièces sous sollicitation mécanique avec prise en compte de l'environnement, essentiellement appliqués au domaine des transports. Chaque famille de matériaux (métaux, polymères, composites...) possédant des modes de ruines différents, nous aborderons pour chacune d'elle leurs propres mécanismes d'endommagement en lien avec leurs modélisations. Nous aborderons des aspects théorique (mécanique de la rupture, critères de fatigue...) mais aussi pratique (fractographie, émission acoustique...).

Mots-clés : Fatigue, Mécanique de la rupture, Eléments finis, Fractographie, Emission acoustique.

#### Programme

Mécanique de la rupture : aspects matériaux, description d'un champ de contrainte autour d'une fissure et critères énergétiques.  
Fatigue des matériaux : les différents domaines de durée de vie, paramètres influençant la tenue en fatigue, règles de dimensionnement et loi de propagation de fissure.  
Fatigue multiaxiale : définition et les différentes familles de critères multiaxiaux.  
Spécificités des matériaux polymères et composites.  
BE d'analyse fractographique : analyse morphologique des faciès de rupture de plusieurs pièces rompues en fonctionnement et reconstruction du scénario qui a engendré la rupture.  
TP sur l'utilisation de l'émission acoustique pour la protection de structures composites.  
TP sur l'utilisation dans un code de calcul par éléments finis de critères de rupture.

#### Compétences

- ◇ Identifier les différents modes d'endommagement et de rupture des matériaux utilisés dans le domaine des transports et savoir analyser un faciès de rupture.
- ◇ Maîtriser les bases de la mécanique de la rupture et de la fatigue des matériaux. Savoir utiliser les outils prédictifs de durée de vie en fatigue multiaxiale.
- ◇ Connaître les spécificités des matériaux composites et avoir des notions sur la surveillance de l'état des structures (notamment en l'émission acoustique).
- ◇ Utiliser des connaissances acquises pour analyser un problème de recherche et en faire une analyse critique.

#### Activités / Autonomie

L'autonomie permet aux élèves de préparer les enseignements pratiques, rédiger le rapport et d'analyser un article scientifique  
Travail en groupe. Lecture d'articles scientifiques.

#### Bibliographie

- D. HULL. *Fractography: Observing, Measuring and Interpreting Fracture Surface Topography*. Cambridge University Press, 1999.  
P. C. POWELL. *Engineering with polymers*. Chapman & Hall, 1992.  
C. BATHIAS, A. PINEAU. *Fatigue des matériaux et des structures (Volumes 1 à 4)*. Lavoisier, 2009.

#### Contrôle des connaissances

Travaux pratiques (50%) + présentation orale (50%)



### Microsystèmes Autonomes

*Autonomous microsystems*

**Responsable(s) : Ian O'CONNOR, Pedro ROJO-ROMEO**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Les avancées spectaculaires dans les micro-nano-technologies permettent l'intégration de fonctionnalités très diverses dans un volume inférieur au mm<sup>3</sup>. Les microsystèmes autonomes, s'appuyant sur cette intégration et à la base de l'émergence de l'internet des objets, ne nécessitent pas d'apport externe énergétique, sont capables de communiquer sans fil et intègrent des capteurs/actuateurs ainsi que des circuits de traitement de l'information. Leurs applications sont nombreuses : automobile, génie civil, santé, chaînes de production ...

L'objectif de cette AF est d'étudier les principes de conception et de fabrication des microsystèmes autonomes : technologies micro-nano-électroniques, capteurs / actuateurs, récupération d'énergie, conception faible consommation.

**Mots-clés :** technologies micro-nano-électroniques, capteurs / actuateurs, récupération d'énergie, conception faible consommation

#### Programme

Introduction aux principes des technologies microélectroniques  
Description des technologies spécifiques des capteurs / actuateurs intégrés, applications  
Récupération d'énergie ambiante  
Conditionnement électronique du signal  
Contraintes liées à l'intégration nanométrique (thermique, mécanique, bruit, ...)

#### Compétences

- ◇ Comprendre les enjeux et les principes des microsystèmes autonomes, les sites.
- ◇ Connaître les techniques de fabrication et les principes de fonctionnement des microcapteurs intégrés.
- ◇ Être capable d'analyser un circuit intégré de conditionnement du signal issu d'un capteur.
- ◇ Connaître les techniques de récupération d'énergie (mécanique, thermique, photovoltaïque) à l'échelle intégrée.

#### Activités / Autonomie

TP : Introduction aux micro-nanotechnologies en salle blanche  
TP : Conception d'un bloc d'amplification CMOS faible bruit, faible consommation, faible tension  
BE : synthèse d'un microsystème autonome

#### Masters affiliés

Master Electronique, Energie Electrique, Automatique (3EA)

#### Bibliographie

S. SENTURIA. *Microsystem Design*. Springer, 2000.  
N. MALUF. *An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*. Artech, 2004.

#### Contrôle des connaissances

50% savoir, 50% savoir-faire



### Dynamique de l'Atmosphère et de l'Océan

*Atmosphere and Ocean Dynamics*

**Responsable(s) : Richard PERKINS, Lionel SOULHAC**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Anglais |

#### Objectifs de la formation

Le but de ce cours est de fournir une compréhension physique des circulations atmosphériques et océaniques à grande échelle, et les conséquences pratiques de tels systèmes. Le vent est le résultat de l'interaction entre des déséquilibres thermodynamiques – poussés notamment par le rayonnement solaire – et la rotation de la Terre. Grâce à la différence entre la capacité calorifique de l'eau et de l'air, l'océan agit comme un réservoir de chaleur qui peut stabiliser ou déstabiliser l'atmosphère. L'interaction entre les mouvements atmosphériques et océaniques assure le transport de chaleur de l'équateur vers les pôles. Dans ce cours on étudie donc les processus d'échange de chaleur dans l'atmosphère, les effets de la rotation de la Terre, et l'interaction entre ces deux.

**Mots-clés :** Atmosphère, Océan, Chaleur, Humidité, Rotation, Rayonnement, Coriolis, Rossby, Ekman, Richardson, Géostrophique, Nuages, Courants, Ondes internes

#### Programme

Introduction : Les propriétés physico-chimiques de l'atmosphère et de l'océan  
La thermodynamique de l'atmosphère : Les échanges radiatifs, stratification et stabilité  
L'eau dans l'atmosphère : L'atmosphère humide, les nuages  
Les ondes dans un fluide stratifié : Discontinuité de masse volumique, stratification continue  
Les effets de rotation : L'équation de mouvement dans un système en rotation, les vents géostrophiques et quasi-géostrophiques, le vent thermique  
Les mouvements forcés : La couche d'Ekman, le pompage d'Ekman  
Les ondes dans un système en rotation : L'approximation du plan  $\beta$ , les ondes de Rossby, le problème d'ajustement vers l'équilibre  
Mouvements à grande échelle : La circulation générale

#### Compétences

- ◇ Calculer l'évolution des propriétés d'une masse d'air lors de son déplacement dans l'atmosphère.
- ◇ Appréhender les différentes formes d'ondes internes dans l'atmosphère et l'océan
- ◇ Calculer un vent géostrophique ou quasi-géostrophique, en fonction du gradient de pression dans l'atmosphère.
- ◇ Expliquer les phénomènes principaux sur une carte météorologique.

#### Activités / Autonomie

Renforcer les notions du cours en travaillant les exemples.  
Approfondir certains éléments du cours à travers les sujets des BE.  
Des questions sur chaque partie du cours seront fournies, avec les solutions, pour permettre à l'élève de vérifier son travail et sa compréhension du cours.

#### Masters affiliés

Sciences de l'Océan, Atmosphère et Climat (SOAC) ; Mécanique

#### Bibliographie

GILL, A.E. *Atmosphere-ocean dynamics*. Academic Press, 1982.  
FLEAGLE, R.G. & BUSINGER, J.A. *An introduction to atmospheric physics*. Academic Press, 1980.  
HOLTON, J.R. & HAKIM, G.J. *An introduction to dynamic meteorology*. Academic Press, 2012.

#### Contrôle des connaissances

Savoir: Examen en fin de cours (40%) Savoir faire : Comptes rendus des trois BE (60%)



### Dynamique des systèmes biologiques humains

*Dynamics of biological human systems*

Responsable(s) : Laurent BLANC, Didier DRAGNA

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

En conception classique, le produit est décliné par rapport à l'homme. Dans l'approche proposée ici, l'homme est lui-même le produit. L'objectif pour l'ingénieur est l'amélioration de ce produit (par des prothèses et des dispositifs d'aide). L'homme est donc considéré comme un système dont on étudie le cycle de vie. La démarche est matricielle, couplant l'organique au fonctionnel : pour chaque fonction du corps humain différents modèles sont déclinés pour rendre compte des phénomènes dynamiques essentiels. Une attention particulière est portée aux moyens d'observation et de surveillance des systèmes décrits.

Mots-clés :

#### Programme

1. Cycle de vie  
Marche, vibrations, choc, crash, quantification du confort, maîtrise du risque.
2. Analyse organique
  - 2.1 Modèles mécaniques : le système musculo-squelettique  
Résistance des matériaux, systèmes multicorps rigides et flexibles, biomatériaux...
  - 2.2 Modèles multi-physiques : le système cardiovasculaire  
Hydraulique, interaction fluides-structures.
  - 2.3 Modèles nano et micro-mécaniques : les systèmes bio-moléculaires
3. Auscultation, imagerie  
Tomographie, acoustique, ultrasons, problèmes inverses, contrôle non destructif.

#### Compétences

- ◇ Faire le lien entre votre formation pluri-disciplinaire fondamentale et le génie biomédical.
- ◇ Acquérir des connaissances fondamentales en génie biomédical pour maîtriser les applications récentes et futures
- ◇ Etre capable de dialoguer avec des professionnels de santé sur les sujets du programme.

#### Activités / Autonomie

1. Simulation du mouvement sportif. Animation des mouvements d'un mannequin à partir d'un modèle CAO fourni. Logiciel: SimMechanics (dynamique multicorps).
2. Simulation d'un ventricule cardiaque. Construction d'un modèle multiphysique reliant le mécanisme de contraction à la dynamique sanguine. Logiciel : Matlab.
3. Compte-rendu de lecture d'un article de recherche.

#### Masters affiliés

Ingénierie de la santé.  
Biomécanique.

#### Bibliographie

- D. A. NEUMANN. *Kinesiology of the musculoskeletal system. Foundations for physical rehabilitation.* McGraw-Hill, 2002.
- L. WAITE. *Biofluid mechanics in cardiovascular systems.* McGraw-Hill, 2006.
- C. GUY ET D. FFYTCH. *Introduction to the principles of medical imaging.* Imperial College Press, 2005.

#### Contrôle des connaissances

examen + comptes-rendus de BE + un exposé relatif à une lecture d'article (50%+25%+25%)



## Systèmes d'information en entreprise

Enterprise Information Systems

Responsable(s) : Romain VUILLEMOT

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Anglais |

### Objectifs de la formation

Les systèmes d'information se positionnent dans les organisations modernes comme des acteurs incontournables car ils mettent en œuvre les processus opérationnels de l'organisation et permettent la circulation de l'information. La bonne santé des organisations, de la multinationale à la petite entreprise, dépend de plus en plus de la performance de leur système d'information. Il est donc crucial pour les ingénieurs et futurs responsables de comprendre le fonctionnement et l'organisation des systèmes d'information quand bien même ils n'y travailleraient pas directement.

**Mots-clés** : Systèmes d'information, processus, urbanisation, architecture orientée services, analytics, KPI, cloud computing, big data, management des organisations, ERP, progiciel de gestion intégré, CRM, progiciel de gestion client.

#### Programme

Chapitre 1 : Introduction  
Chapitre 2 : Architectures techniques  
Chapitre 3 : Les grandes constituantes du SI en entreprise  
Chapitre 4 : La place du SI dans l'entreprise  
Chapitre 5 : Projets et coûts dans le SI  
Chapitre 6 : Les problématiques auxquelles sont confrontées les SI en entreprise  
Chapitre 7 : L'urbanisation du SI  
Chapitre 8 : L'architecture orientée service  
Chapitre 9 : L'informatique dans les nuages (le cloud computing)  
Chapitre 10 : Normes et bonnes pratiques

#### Compétences

- ◇ Connaître les composantes d'un système d'information en entreprise
- ◇ Mettre en oeuvre une démarche d'urbanisation du système d'information
- ◇ Mettre en oeuvre les bonnes pratiques des systèmes d'information en entreprise
- ◇ Connaître les problématiques auxquelles sont confrontées les systèmes d'information et savoir les résoudre

#### Activités / Autonomie

Bureaux d'étude autour d'un problème d'urbanisation du système d'information.  
Utilisation d'un ERP pour la mise en place et pilotage du SI d'une entreprise  
Rédaction d'une note de synthèse sur un sujet d'approfondissement, au choix, lié aux systèmes d'information (ex: développement durable, etc.)

#### Bibliographie

CHRISTOPHE LONGÉPÉ. *Le projet d'urbanisation du SI*. Lavoisier, 2009.  
YVES CASEAUT, GÉRARD ROUCAIROL. *Urbanisation, SOA et BPM : Le point de vue d'un DSI*. Broché, 2008.  
JACQUES PRINTZ, YVES CASEAU. *Architecture logicielle : Concevoir des applications simples, sûres et adaptables*. Dunod, 2009.

#### Contrôle des connaissances

Contrôle du savoir par examen (60%) et du savoir-faire par l'évaluation de la note de synthèse (40%)



### Extraction de Connaissances

*Data Mining and Machine Learning*

**Responsable(s) : Alexandre SAIDI**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'extraction de Connaissances (EC, dite « fouille de données » ou "datamining") est un domaine de Reconnaissance de Formes et de l'apprentissage automatique. Il connaît une expansion fulgurante et les entreprises prennent conscience de la sous-exploitation des données qu'elles collectent et archivent.

Un exemple de connaissances extraites est : "Quand j'ai les propriétés A et B souvent satisfaites dans mes données alors j'observe aussi la propriété C". De telles règles peuvent être utilisées en marketing, en gestion d'alarmes, en épidémiologie, etc.

Il s'agit d'un domaine d'aide à la décision et de la prédiction posant des problèmes techniques difficiles. Ce cours dans lequel les Statistique jouent un rôle central traite divers domaines d'application d'EC (BD, texte, Web,...)

**Mots-clés :** Reconnaissance de Formes, Big Data, Data Mining, Prédiction et décision, Classification, Apprentissage automatique (et artificiel, Machine Learning).

#### Programme

- La problématique scientifique de la fouille de données (data mining)
- Quelques applications typiques (spécification et discussion des cycles de vies)
- Règles de classification et règles d'association (application à la fouille de textes)
- Arbres de décisions (application au marketing)
- Formalisation et fondements algorithmiques
- Méthodes statistiques (Bayes, SVM, Méthodes à base de noyaux)
- Méthodes et indicateurs d'évaluation statistiques
- Méthodes de Classification (Clustering)
- Méthodes importantes de pré et post-traitement des données

#### Compétences

- ◇ Familiariser les élèves avec les enjeux de l'extraction de connaissances
- ◇ Apprendre à utiliser les algorithmes d'apprentissage automatique
- ◇ Apprendre à utiliser les outils d'apprentissage automatique
- ◇ Sensibiliser les élèves aux problèmes d'optimisation de ces outils

#### Activités / Autonomie

3 BES

#### Masters affiliés

Master Informatique

#### Bibliographie

U.M. FAYYAD & AL.. *From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases*. 1996.  
STAN MATWIN & AL.. *Challenges in Computational Statistics and Data Mining*. Jan Mielniczuk, 2016.  
I.H. WITTEN, E. FRANK. *Data Mining - practical ML Tools & Techniques*. 2005.

#### Contrôle des connaissances

25% BEs, 75% test écrit (qui comporte également des questions sur les BEs)





### Acoustique générale

*Fundamentals of acoustics*

Responsable(s) : Gilles ROBERT, Daniel JUVE

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

C'est un premier cours d'acoustique de niveau Master 2 dont l'objectif est de donner aux étudiants une vision globale de la discipline. Le cours expose les équations de base de l'acoustique, décrit les grandes méthodes de résolution associées et présente des applications à des problèmes concrets comme le rayonnement des structures, la propagation en conduite et l'acoustique des salles.

**Mots-clés :** Onde, équation d'onde, impédance, intensité, champ proche et champ lointain, directivité, modes, fonction de Green, rayonnement de structure, acoustique des salles, propagation en conduites.

#### Programme

De la mécanique des milieux continus à l'équation d'onde  
Propriétés des ondes acoustiques : intensité, impédance spécifique, décibels,  
Les conditions aux limites : réflexion, transmission, notion d'impédance, condition de Sommerfeld.  
Solutions élémentaires de l'équation d'onde : ondes planes, ondes sphériques  
Les sources, l'équation d'onde inhomogène : monopôle, dipôle, sources réparties  
Les frontières, la formulation intégrale  
La propagation en conduit : notion de modes et de fréquences de coupure  
Introduction au rayonnement des structures  
Introduction à l'acoustique des salles  
Éléments de traitement des signaux acoustiques

#### Compétences

- ◇ Dialoguer avec un spécialiste en acoustique.
- ◇ Poser un problème d'acoustique et proposer un ou plusieurs scénarios de résolution.
- ◇ Aborder un domaine spécialisé de l'acoustique.

#### Activités / Autonomie

Les activités pratiques sont composées de deux travaux pratiques et d'un bureau d'étude. Les deux TP proposés permettent de mettre en œuvre des techniques de mesure spécifiques et d'appréhender les mécanismes physiques du rayonnement acoustique. La séance de bureau d'étude est présentée par un industriel partenaire.

#### Masters affiliés

Ce cours constitue une UE du Master international d'Acoustique, <http://master-acoustics.ec-lyon.fr/>  
Le cours peut également être associé aux Masters Génie Civil ou Génie Mécanique

#### Bibliographie

S. TEMKIN. *Elements of acoustics*. John Wiley & Sons, 1981.  
MICHEL BRUNEAU. *Manuel d'acoustique fondamentale*. Hermès, 1998.  
MALCOLM J. CROCKER & AL. *Handbook of Acoustics*. John Wiley & Sons, 1998.

#### Contrôle des connaissances

Savoir : contrôle écrit de connaissances individuelles (60%)  
Savoir-faire : contrôle des connaissances Activités Pratiques (40%)



### Dynamique des structures

#### Structural dynamics

Responsable(s) : Olivier DESSOMBZ, Louis JEZEQUEL

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'analyse dynamique des structures à l'aide des méthodes de synthèse modale et d'éléments finis a trouvé un grand nombre d'applications industrielles (aéronautique, automobile, construction navale, ferroviaire, génie civil). Le but principal de ce cours est de présenter ces méthodes dans un cadre général en menant en parallèle et en interaction une approche numérique et une approche expérimentale basée sur des essais vibratoires. La correction des modèles et l'influence de l'amortissement sont aussi abordées.

**Mots-clés** : Éléments finis - modélisation - méthodes numériques - analyse modale numérique - sous-structuration - synthèse modale - amortissement

#### Programme

##### PARTIE 1 : MODÈLES ÉLÉMENTS FINIS

- Introduction
- Discrétisation par éléments finis
- Modification de la formulation matricielle globale
- Problèmes conservatifs standard
- Problème spectral
- Intégration temporelle du problème transitoire
- Cas des machines tournantes

##### PARTIE 2 : OPTIMISATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE

- Origine de dissipation
- Modélisation de l'amortissement
- Introduction de matériaux amortissants
- Identification des matrices d'amortissement
- Synthèse modale
- Perturbation des modèles dynamiques
- Lien avec les procédés de conception

#### Compétences

- ◇ Modéliser une structure par éléments finis
- ◇ Utiliser un code de calcul industriel par éléments finis généraliste
- ◇ Appréhender les fondements des méthodes par éléments finis

#### Activités / Autonomie

Activités pratique : 2 TP de 4h (expérimental) + 4h BE sur logiciel

#### Masters affiliés

Master Mécanique

#### Bibliographie

- J.-F. IMBERT. *Analyse des structures par éléments finis (3ème ed)*. Cepadues, 1995.  
M. GERARDIN, D. RIXEN. *Théorie des vibrations*. Masson, 1996.  
L. MEIROVITCH. *Computational methods in structural dynamics*. Sijthoff Nordhoff, 1980.

#### Contrôle des connaissances

50% savoir (Test)  
50% savoir faire (TP1 1/4, TP2 1/4, BE 1/2)



### Bruits d'origine aérodynamique

*Aerodynamically generated sound*

**Responsable(s) : Michel ROGER**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Le but est de former les étudiants à l'aéroacoustique, science des bruits d'origine aérodynamique, par opposition aux bruits d'origine vibratoire. Ceci inclut la compréhension des phénomènes physiques, leur illustration expérimentale et leur modélisation, principalement analytique (des simulations numériques sont néanmoins citées). Les étudiants seront amenés au niveau requis pour aborder les problèmes industriels modernes, d'une part, et la littérature scientifique internationale, d'autre part. Des notions de base en aérodynamique et en acoustique seront rappelées succinctement. Les applications concernent les transports aéronautique et terrestre, la ventilation et le conditionnement d'air, les instruments à vents...

**Mots-clés :** aéroacoustique, aérodynamique instationnaire, modélisation analytique, turbomachines

#### Programme

- Petites oscillations dans un gaz et mécanismes du bruit d'origine aérodynamique
- Les analogies acoustiques et l'équation des ondes
- Propriétés générales des sources sonores en mouvement (effet Doppler, convection)
- Bruit des jets turbulents libres (aéronautique)
- Mécanismes d'oscillations auto-entretenues (instruments à vent)
- Bruit du vent sur les structures (câbles, antennes, exo-structures)
- Aérodynamique instationnaire et bruit des profils d'ailes
- Matériaux absorbants acoustiques sous écoulement
- Sources sonores en rotation et bruit de raies des rotors (hélices, ventilateurs...)
- Bruit des turbomachines carénées (turboréacteurs)
- Essais en soufflerie anéchoïde

#### Compétences

- ◇ Réaliser une analyse critique d'une publication scientifique
- ◇ Conduire des essais en soufflerie anéchoïde
- ◇ Modéliser un problème d'aéroacoustique industriel

#### Activités / Autonomie

BE : optimisation acoustique d'un étage rotor-stator (par la modélisation, CR)  
TP1 : bruit d'impact de turbulence sur un profil (manipulation en chambre sourde+CR)  
TP2 : sifflements d'une cavité en conduit (manipulation +CR)

#### Masters affiliés

Master d'Acoustique, Ecole Doctorale MEGA

#### Bibliographie

GOLDSTEIN. *Aeroacoustics*. McGraw-Hill, 1976.

#### Contrôle des connaissances

Test de 2 heures (note de savoir 40%)  
Comptes-rendus de TP (note de savoir-faire 30%)  
Compte-rendu de BE (note de méthodologie 30%)



### Caractérisation des surfaces et des nanostructures

*Characterization of surfaces and nanostructures*

**Responsable(s) : Fabrice DASSENOY, Maria-Isabel DE BARROS**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Les nanotechnologies sont concernées par un état très divisé de la matière et un rôle exacerbé des surfaces par rapport au volume. La physicochimie et la chimie des surfaces exposées sont très importantes au regard des applications. Les premières couches atomiques présentes sur les solides sont particulièrement réactives dans de nombreux procédés. Ce cours propose l'étude des principales techniques de caractérisation des surfaces et des structures de faible dimensionnalité. Elle sera illustrée par des applications spécifiques dans le domaine des nanotechnologies et de la biologie.

**Mots-clés :** Surfaces, Interfaces, Nanostructures, Analyses de surface, Microscopie, Spectroscopies électroniques

#### Programme

I – Analyse chimique de la surface des solides.

Les spectroscopies électroniques (photoélectron, Auger), spectroscopie ionique (ToF-SIMS)

Informations sur les liaisons chimiques en surface.

II- Analyse morphologique de la surface à l'échelle subnanométrique

Les microscopies champ proche (microscopie à effet tunnel, microscopie à force atomique,

microscopie champ proche optique) spectroscopie tunnel, mesure des forces d'interaction.

Illustrations : (reconstruction de surfaces, molécule unique, cristaux photoniques...)

III – Caractérisation des interfaces

Microscopie électronique à transmission analytique, diffraction électronique, analyses par rayons

X et pertes d'énergie des électrons transmis. Exemples concrets d'applications (couches minces, colloïdes...)

#### Compétences

◇ Savoir se référer aux bonnes techniques de caractérisation pour l'étude et l'analyse des surfaces et des nanostructures.

◇ Connaître le principe de base des principales techniques de caractérisation des surfaces et des nanostructures.

#### Bibliographie

R. W. CAHN. *Materials science and technology : a comprehensive treatment*. VCH, 1994.

#### Contrôle des connaissances

Test écrit de 2h.



## AF MOD 8.1

### Interactions fluide-structure

#### Fluid-Structure Interactions

Responsable(s) : Mohammed ICHCHOU, Gilles ROBERT

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Ce cours est un cours d'introduction aux phénomènes de rayonnement et de couplage fluide-structure. Il a deux objectifs principaux. Le premier objectif de ce cours vise à donner à l'étudiant une méthode cohérente pour formuler un problème de couplage entre structures et fluides. Le second objectif vise une présentation non exhaustive des phénomènes d'interaction fondamentaux rencontrés dans les domaines d'applications pré-cités. Le rayonnement des structures est ainsi étayé par cet angle. Différentes approches analytiques et numériques permettant d'appréhender ce mécanisme de couplage sont explicitées.

**Mots-clés** : couplage fluide-solide; fluide compressible; fluide incompressible, masse ajoutée; modes couplés fluide-structures; rayonnement acoustique; accrochage; chargement pariétal.

#### Programme

- I - Couplage fluide-structure classification
- II - Mise en équation, mécanismes de couplages
- III - Couplage inertiel, couplage fort
- IV - Couplage dissipatif, rayonnement acoustique
- V - Rayonnement de structures simples (cas non borné et borné)
- VI - Interprétation physique et description modal, indicateurs de rayonnement, formulations numériques, opérateur d'impédance de rayonnement, mise en œuvre.
- VII - Eléments de couplage fluide-structure avec convection.

#### Compétences

- ◇ Savoir classer les interactions fluides-structures.
- ◇ Savoir formuler analytiquement quelques interactions fluides-structures.
- ◇ Savoir traiter numériquement quelques interactions fluides-structures.
- ◇ Savoir caractériser un chargement pariétal.

#### Activités / Autonomie

Analyse d'article en parallèle avec les activités pratiques  
Calcul numérique par le code ANSYS de quelques situations

#### Masters affiliés

Master Acoustiques  
Master Aéronautique et Espace

#### Bibliographie

H. J.-P. MORAND & R. OHAYON. *Fluid-Structure Interaction*. Wiley, 1995.  
E. DE LANGRE. *Fluides et solides*. Editions de l'Ecole Polytechnique, 2002.

#### Contrôle des connaissances

Savoir : Contrôle écrit de connaissance individuel pour 50%  
Savoir-faire : Contrôle des connaissances TP/BE pour 50%



### Processus Stochastiques : modèles et méthodes numériques

*Stochastic Processes*

Responsable(s) : **Christophette BLANCHET, Elisabeth MIRONESCU**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Ce cours est un complément du cours de théorie des probabilités, orienté vers la modélisation des phénomènes aléatoires dépendant du temps. Son but est de présenter d'une part les outils théoriques de la modélisation par processus de Markov et d'autre part les algorithmes classiques de simulation de ces processus. Il est plus particulièrement destiné aux élèves des options et masters d'Ingénierie Mathématiques, de Sciences Actuarielle et Financière et Ingénierie du Risque, ainsi qu'à ceux qui ont suivi le cours de Théorie des probabilités et introduction aux processus aléatoires de 2A.

**Mots-clés :** Mouvement Brownien, Martingales, Calcul d'Itô, Simulation, Méthodes de Monte Carlo par Chaînes de Markov

#### Programme

0. Rappels de théorie des probabilités (en autonomie)
1. Généralité sur les processus, mouvement brownien
2. Martingales
3. Intégrale stochastique
4. Equations différentielles stochastiques
5. Approximation et simulation de diffusion
6. (BE) Méthodes de Monte Carlo par Chaînes de Markov pour la simulation
7. (master IM et GRAF) Diffusions et équations aux dérivées partielles

#### Compétences

- ◇ Savoir modéliser un phénomène à l'aide de processus de Markov
- ◇ Savoir appliquer le calcul différentiel d'Itô
- ◇ Savoir simuler et/ou discrétiser une diffusion
- ◇ Savoir implémenter une méthode du recuit simulé ou de l'algorithme de Gibbs

#### Activités / Autonomie

Préparation des BE

#### Masters affiliés

Master Econométrie et Statistiques Parcours GRAF  
Master Mathématiques Appliquées, Statistique, Parcours Math en Actions

#### Bibliographie

FRANCIS COMETS ET THIERRY MEYRE. *Calcul stochastique et modèles de diffusions*. Série Mathématiques pour le Master/SMAI, Dunod, 2006.

NICOLE EL KAROUI ET EMMANUEL GOBET : *Les outils stochastiques des marchés financiers*. Editions de l'Ecole Polytechnique, 2011.

BERNARD BERCU ET DJALIL CHAFAÏ. *Modélisation stochastique et simulation*. Série Mathématiques pour le Master/SMAI, Dunod, 2007.

#### Contrôle des connaissances

Tous : Test de deux heures. Master Math en action et GRAF : Test de 1h supplémentaire



### Hydraulique Fluviale

River Hydraulics

Responsable(s) : Richard PERKINS, Pierre BRUN

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Anglais |

#### Objectifs de la formation

Depuis les origines de la civilisation humaine, l'homme a exploité les fleuves et les rivières pour ses différents besoins – l'eau potable, l'irrigation, transport, énergie – ainsi pour l'évacuation des déchets, industriels et domestiques. En parallèle, l'homme a dû apprendre à coexister avec les fleuves et les rivières, et avec ses variations saisonnières, parce qu'un fleuve ou une rivière est une entité vivante, toujours en train d'évoluer. Le but de ce cours est de fournir aux élèves une compréhension complète des processus fondamentaux en ingénierie hydraulique, à travers le développement de modèles et concepts adaptés, mais simples. Les deux BE et le TP permettront aux élèves de mettre en pratique les éléments théoriques rencontrés dans les cours.

**Mots-clés :** Fleuve, Rivière, Surface libre, Ondes, Crues, Barrage, Transport Solide, Transport des sédiments, Erosion, Charge spécifique, Fluvial, Torrentiel, Ressaut, Impulsion, Chézy, Manning, Strickler, Froude, Shields

#### Programme

Introduction : Cycle de l'eau, les systèmes fluviaux  
Les écoulements uniformes dans les canaux découverts : La profondeur critique, la charge spécifique et la force spécifique, le ressaut  
Les écoulements graduellement variés : Résistance à l'écoulement, l'écoulement uniforme et la profondeur normale, les régimes et les formes de la surface de l'eau  
Les écoulements non-permanents dans les canaux découverts : Les variations lentes, la méthode des caractéristiques, la rupture d'un barrage, la propagation des ondes de crue  
Les ouvrages hydrauliques  
Le transport des sédiments : le mouvement des particules solides, les rides, dunes et antidunes, le seuil d'érosion, transport par charriage et par suspension, les sédiments cohésifs

#### Compétences

- ◇ Identifier le régime d'un écoulement en fonction du débit et de la profondeur.
- ◇ Calculer la réponse d'un écoulement à surface libre à un changement de section.
- ◇ Calculer la propagation d'une onde en réponse à un changement de débit ou de profondeur dans le canal.
- ◇ Calculer la stabilité des sédiments sur le lit et les berges d'un canal.

#### Activités / Autonomie

Renforcer les notions du cours en travaillant les exemples  
Approfondir certains éléments du cours à travers le TP et les BE.  
Des questions sur chaque partie du cours seront fournies, avec les solutions, pour permettre à l'élève de vérifier son travail et sa compréhension du cours.

#### Masters affiliés

Mécanique

#### Bibliographie

CHANSON, H. *The Hydraulics of Open Channel Flow: an Introduction*. Elsevier, 2004.  
VIOLLET, P.-L., CHABARD, J.-P, ESPOSITO, P & LAURE. *Mécanique des Fluides Appliquée*. Presses de l'ENPC, 1999.  
RAUDKIVI, A.J. *Loose Boundary Hydraulics*. Balkema, 1998.

#### Contrôle des connaissances

Savoir : Examen (60%) Savoir faire : Comptes rendus des TP (40%)



# Représentation et manipulation de données structurées

**Responsable(s) : Daniel MULLER**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

## Objectifs de la formation

Quelle que soit la technologie sous-jacente, les systèmes d'information s'appuient sur un certain nombre de paradigmes incontournables : structuration des données, usage de méta données, vérifications d'intégrité, réutilisation par transformation plutôt que par duplication, échange d'informations structurées entre applications ou modules...Ce cours s'attache à montrer comment les standards basés sur XML favorisent ou même induisent certains fondamentaux comme l'intégrité des données, l'interopérabilité des applications, voire leur internationalisation, et comment les nombreuses applications qui en découlent s'inscrivent dans cette dynamique au sein de systèmes dont la complexité va croissant.

**Mots-clés :** XML, DTD, XML Schema, Xpath, XSLT, Webservices

### Programme

Introduction à la problématique des systèmes d'information  
Structuration des données – XML  
Intégrité des informations – validation, DTD, schémas  
Interopérabilité – espaces de nommage  
Recherche d'information – Xpath, XQuery  
Transformations – XSLT  
Échange d'informations, Services Web – XML-RPC  
Exemples d'applications – SVG, XSL-FO

### Compétences

- ◇ Appréhender les potentialités et le fonctionnement de l'écosystème XML.
- ◇ Maîtriser la notion de document bien formé.
- ◇ Savoir invoquer l'outil adéquat face à un problème concret.

### Activités / Autonomie

BE 1 - Conception d'un document XML  
BE 2 - Transformations avec XSLT  
BE 3 - Focus sur une application (SVG, XSL-FO, ...)

### Bibliographie

E. R. HAROLD, W. SCOTT MEANS. *XML in a Nutshell*. 3rd Edition - O'Reilly, 2004.  
E. VAN DER VLIST. *XML Schema, the W3C's Object-Oriented Descriptions for XML*. O'Reilly, 2002.  
J. E. SIMPSON. *XPath and XPointer, Locating Content in XML Documents*. O'Reilly, 2002.

### Contrôle des connaissances

50% savoir (QCM), 50% savoir-faire (moyenne des BEs)





### Physique pour les technologies de l'information

*Physics for Information technology*

**Responsable(s) : Ségolène CALLARD**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Dans les technologies de l'information, les fonctions, de transmission, de traitement, de stockage et d'affichage de l'information sont assurées par des composants dont le fonctionnement repose en grande partie sur les propriétés quantiques, électriques, optiques, et magnétiques des matériaux. Ce cours a pour ambition de donner une vue d'ensemble des principes physiques importants pour ces applications. L'accent sera mis dans la mesure du possible sur les limites qu'imposent les lois de la physique aux différentes technologies.

**Mots-clés :** Q-bit, spin, photon, cryptographie quantique, composant logique, semi-conducteur, transistor, fibre optique, modulation optique, mémoires magnétiques.

#### Programme

Chapitre I : Introduction Générale, Contexte des TIC, Propriétés de l'information.  
Chapitre II : Information quantique : Cryptographie quantique, téléportation.  
Chapitre III : Composants de base pour les circuits logiques (MOSFET, CMOS)  
Chapitre IV : Nouveaux composants : Composant à effet tunnel, transistor à un électron.  
Chapitre V : Les fibres optiques  
Chapitre VI : Les matériaux photo-réfractifs  
Chapitre VII : Fondamentaux du magnétisme  
Chapitre VIII : Mémoires Magnétiques

#### Compétences

- ◇ Développer une vision globale sur le domaine des technologies de l'information.
- ◇ Identifier les principes physiques à la base d'une technologie de l'information.
- ◇ Mobiliser des connaissances et des savoir-faire pour comprendre et expliquer le fonctionnement d'une technologie de l'information.
- ◇ Connaître les limites physiques d'une technologie donnée.

#### Activités / Autonomie

Appréhender de façon approfondie plusieurs technologies de l'information.  
2 TP : utilisation du photon dans les technologies de l'information.  
un travail de recherche sur une technologie au choix avec restitution orale en binôme.

#### Bibliographie

RAINER WASER (ED.). *Nanoelectronics and information technology*. Wiley (Germany), 2012.  
SALEH, TEICH. *Fundamentals of photonics*. Wiley-Interscience, 2007.  
CHARLES KITTEL. *Introduction to Solid State Physics*. Wiley, 2005.

#### Contrôle des connaissances

Examen 2h sans document (70%), Exposé oral ( 30%)



### Energie Nucléaire

Nuclear Energy

Responsable(s) : Yves ROBACH, Ségolène CALLARD

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

L'énergie nucléaire représente un domaine technologique et économique important qui recouvre des compétences multidisciplinaires et des métiers variés (conduite de projets, ingénierie, sûreté,...). Ce module, à caractère très industriel, a pour objectif de donner aux élèves une formation à la fois scientifique et technologique dans les différents domaines de l'énergie nucléaire. Une large part sera consacrée à l'étude des filières actuelles de réacteurs nucléaires. Ce module permettra aussi d'appréhender l'ensemble des solutions aux questions de sûreté des installations et de protection des personnes.

Mots-clés : Réacteurs nucléaires, filières nucléaires, sûreté nucléaire.

#### Programme

Éléments de physique nucléaire : rappels.  
Éléments de neutronique  
Cinétique des réacteurs.  
Filières actuelles de réacteurs nucléaires : Fonctionnement et pilotage.  
Sûreté nucléaire.  
Cycle du combustible.  
Matériaux pour le nucléaire.

#### Compétences

- ◇ Comprendre les enjeux scientifiques, économiques et environnementaux du nucléaire.
- ◇ Comprendre les spécificités de l'industrie nucléaire
- ◇ Situer l'énergie nucléaire par rapport aux autres énergies.

#### Activités / Autonomie

Étude sur les réacteurs nucléaires de future génération.  
Études, exposés

#### Bibliographie

JACQUES LIGOU. *Introduction au génie nucléaire*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 1997.  
JOHN R. LAMARSH. *Introduction to nuclear engineering*. Addison Wesley Publishing company, 2013.  
PAUL BONCHE. *Le nucléaire expliqué par des physiciens*. EDP Sciences, 2002.

#### Contrôle des connaissances

Examen écrit de 2H.  
Évaluation sur les travaux effectués en bureaux d'étude.



### Mécanique des matériaux et structures composites

*Mechanics of Composite Materials and Structures*

**Responsable(s) : Michelle SALVIA, Olivier BAREILLE, Mohammed ICHCHOU**

| Cours : 12 h | TD : 0 h | TP : 8 h | Autonomie : 0 h | BE : 4 h | Projet : 0 h | langue du cours Anglais |

#### Objectifs de la formation

L'objectif de ce module est de fournir une description détaillée des matériaux et structures composites. Ces matériaux sont en effet de plus en plus employés dans de nombreux secteurs industriels et offrent de nombreux avantages qu'il convient de maîtriser. Le module discutera ainsi des modèles des structures composites souvent utilisées. Il abordera également le comportement dynamique de ces structures. Enfin, les mécanismes d'endommagements seront exposés.

**Mots-clés :** anisotropie - les laminés - les structures sandwichs - homogenisation - comportement dynamique - endommagements et défauts.

#### Programme

Matériaux et structures composites (2)  
Modèles structuraux (2)  
Modèles tridimensionnels (2)  
Théorie des Laminées (2)  
Structures Sandwich (2)  
Homogenisation (2)  
Comportement dynamique (2)  
Endommagements (2)

#### Compétences

- ◇ Connaître les types de composites - connaître les modèles.
- ◇ Théorie de l'homogénéisation - mécanismes d'endommagements.

#### Activités / Autonomie

Analyse d'un article récent de la littérature

#### Masters affiliés

Aéronautique et Espace

#### Bibliographie

CARL T. HERAKOVICH. *Mechanics of Fibrous Composites*. John Wiley & Sons, 2004.  
J.N. REDDY. *Mechanics of laminated composite plates*. CRC Press, 1997.  
D GAY, S V HOA, S W TSAI. *Composite Materials: Design And Applications*. CRC Press.

#### Contrôle des connaissances

Contrôle continu pendant les séances de TP/BE (33%)  
Test écrit (33%)  
Travail personnel en autonomie (33%)



### Stabilité des Systèmes Mécaniques

*Stability of mechanical systems*

Responsable(s) : Louis JEZEQUEL, Jean-Jacques SINOUE

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Lors de la conception des structures et des systèmes mécaniques, il est impératif de maîtriser les risques d'instabilité provenant de nombreux phénomènes. On peut citer en particulier les divers couplages de nature non-conservative liés à l'existence de frottements ou de contacts entre une structure élastique en mouvement et un fluide ou un solide. Par ailleurs, les phénomènes de flambement et de cloquage sont de plus en plus dimensionnants compte tenu de l'allègement des structures associé à l'utilisation de nouveaux matériaux. Dans les domaines du transport, du Génie Civil et de l'énergie, on peut citer : les bruits de freins, la résistance aux crashes, les instabilités de machines tournantes, le risque d'effondrement des bâtiments, stabilité des systèmes de forage...

**Mots-clés** : Stabilité, crissement de freins, fluide-structure, machines tournantes, couplage aéroélastique, couplage hydro-élastique

#### Programme

- I. Analyse générale de la stabilité
- II. Flambement des structures élastiques
- III. Structures élastiques non conservatives
- IV. Stabilité des systèmes gyroscopiques
- V. Application aux structures frottantes
- VI. Applications aux structures couplées avec un écoulement

#### Compétences

- ◇ Développer une vision synthétique des risques d'instabilités des systèmes mécaniques en phase de conception.
- ◇ S'initier aux outils de calcul permettant de prévoir les risques d'instabilités.
- ◇ Comprendre les phénomènes de couplage à l'origine des instabilités.

#### Activités / Autonomie

Apprendre et approfondir une partie du cours.  
Analyse bibliographique et réflexion sur un problème d'application.

#### Masters affiliés

Master Mécanique

#### Bibliographie

WANDA SZEMPLINSKA-STUPNICKA. *The behavior of Nonlinear Vibrating systems Vol. 1. Fundamental concepts and methods : applications to single-Degree of freedom Systems*. Ed. Dunod.  
ROBERT D. BLEVINS. *Flow-Induced vibration*. Ed. Lavoisier.  
ROLAND BIGRET. *Stabilité des machines tournantes et des systèmes*. Magnis nostris frequentibus.

#### Contrôle des connaissances

Bureaux d'étude  
Test



### Comportement des matériaux

Responsable(s) : Thierry HOC, Vincent FRIDRICI

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 4 h | Autonomie : 0 h | BE : 8 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

#### Objectifs de la formation

Les exigences de performance et de fiabilité ainsi que la nécessité d'une optimisation toujours meilleure des organes mécaniques et des procédés exigent une connaissance et une modélisation fine du comportement des matériaux sous diverses sollicitations mécaniques ou thermo-mécaniques. En parallèle, les outils de calculs modernes autorisent l'utilisation de lois de comportement sophistiquées que l'ingénieur doit savoir choisir, identifier et utiliser à bon escient. Ce cours vise à dégager la structure hiérarchique de ces modèles de comportement, leurs principes de base et principaux champs d'application. On attachera une importance particulière à leur identification et aux essais nécessaires ainsi qu'à la liaison entre les mécanismes microscopiques et leurs manifestations macroscopiques.

Mots-clés :

#### Programme

Introduction à la rhéologie: modèles rhéologiques, cadre thermodynamique  
Visco-élasticité. Fonction de fluage et relaxation. Spectre, Sollicitations harmoniques  
Visco-plasticité. Fluages primaire et secondaire. Norton-Hoff et Bingham  
Plasticité : Comportement indépendant des vitesses. onction seuil et lois d'évolution  
Ecrouissage: Modèles standard généralisés, écrouissage isotrope et cinématique  
Rupture et Endommagement: rupture fragile, endommagement continu  
Passage micro-macro: Moyennes et localisation. Voigt et Reuss  
Anisotropie: Elasticité, Plasticité, Rupture ou Thermo-mécanique

#### Activités / Autonomie

1 TP : Essai de traction avec visualisation in situ  
1 BE : Construction et identification de modèles de comportement pour diverses applications  
(Tôles minces pour l'emboutissage, Métaux à chaud)  
1 BE : Fatigue des matériaux: approche phénoménologique, amorçage et propagation des fissures, prise en compte de la fatigue dans le comportement des matériaux

#### Bibliographie

J. LEMAÎTRE, J.-L. CHABOCHE, A. BENALLAL, R. DESMO. *Mécanique des matériaux solides*. Ed. Dunod.  
D. FRANÇOIS, A. PINEAU, A. ZAOUÏ. *Comportement mécanique des matériaux : volumes 1 et 2*. Ed. Lavoisier.

#### Contrôle des connaissances

Test final de 2 heures (50%) + étude bibliographique (50%)



## Réseaux informatiques

Computer networks

Responsable(s) : René CHALON

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Ce cours expose les principes et les protocoles de base des réseaux informatiques en mettant l'accent sur les protocoles TCP/IP. Les caractéristiques et les architectures des réseaux locaux, moyens et hauts débits ainsi que les protocoles d'Internet sont détaillés de manière systématique et méthodique. Cette approche à la fois conceptuelle et pratique permet à chacun de mieux comprendre l'offre actuelle, l'évolution et les perspectives des réseaux informatiques actuels et futurs.

Mots-clés : réseaux, modèle OSI, Ethernet, Internet, IP, Wi-Fi, Internet, IP, TCP, UDP, DNS, HTTP

#### Programme

Cours :

- 1- Introduction : concepts généraux, modèles OSI et architecture TCP/IP
- 2- Couche physique : support et transmission des données
- 3- Réseaux locaux : topologies, Ethernet, WiFi
- 4- Couche Réseau : notion d'internet, protocole IP, adressage, routage, IPv6
- 5- Couche transport : TCP, UDP, SCTP
- 6- Couche application : modèle client/serveur, DNS, messagerie électronique, FTP, World Wide Web

Bureaux d'étude :

- 1- Etude détaillée d'Ethernet avec un simulateur réseau
- 2- Etude détaillée d'IP avec un simulateur réseau
- 3- Etude du protocole HTTP

#### Compétences

- ◇ Connaître les principes des réseaux informatiques
- ◇ Analyser et concevoir des réseaux locaux Ethernet
- ◇ Analyser et concevoir des réseaux basés sur les protocoles TCP/IP

#### Activités / Autonomie

Chaque élève reçoit une licence individuelle du simulateur réseau lui permettant d'effectuer les BE et de concevoir ses propres architectures de réseaux.

#### Bibliographie

- G. PUJOLLE, O. SALVATORI. *Les réseaux*. Eyrolles, 2014.  
D. COMER. *TCP/IP : architecture, protocoles et applications*. Pearson Education, 2009.  
C. SERVIN. *Réseaux et Télécoms*. Dunod, 2013.

#### Contrôle des connaissances

50 % savoir : Examen écrit sans documents de 2h.  
50 % savoir-faire : Evaluation des bureaux d'étude (1/3 chacun)



## Méthodes numériques pour les EDP

*Numerical methods for PDEs*

**Responsable(s) : Grégory VIAL, Laurent SEPPECHER**

| Cours : 16 h | TD : 0 h | TP : 0 h | Autonomie : 0 h | BE : 12 h | Projet : 0 h | langue du cours Français |

### Objectifs de la formation

Le but du cours est de présenter les principales approches actuelles pour la résolution numérique des équations aux dérivées partielles (EDP). Il s'agit moins de proposer une liste exhaustive des techniques effectivement utilisées dans les codes professionnels, que de donner les repères mathématiques et numériques pour la construction et l'analyse des méthodes les plus courantes. La programmation effective de certaines méthodes lors de séances de BE permettra aux élèves de se sensibiliser aux aspects pratiques de mise en œuvre. D'autres BE seront consacrés à l'utilisation de logiciels de recherche, illustrant la résolution complète de problèmes plus complexes.

**Mots-clés :** Méthodes numériques. Calcul scientifique. Équations aux dérivées partielles.

#### Programme

Chapitre 1. Rappels sur les EDP linéaires et les méthodes aux différences finies  
Chapitre 2. Méthodes d'éléments finis  
Chapitre 3. Approximation numérique pour les lois de conservation scalaires

#### Compétences

- ◇ Savoir reconnaître la nature d'une EDP et les enjeux de son approximation numérique
- ◇ Connaître les principes des principales familles de méthodes d'approximation des EDP
- ◇ Reconnaître les comportements des méthodes dans leurs limites d'utilisation

#### Activités / Autonomie

Implémenter les méthodes numériques sur des exemples simples, mais représentatifs.  
Les trois BE permettent de commencer le travail, qui est terminé en autonomie.

#### Bibliographie

- A. ERN, J.-L. GUERMOND. *Éléments finis : théorie, applications, mise en œuvre. Mathématiques et applications*. Springer, 2002.
- B. DESPRÉS, F. DUBOIS. *Systèmes hyperboliques de lois de conservation : Application à la dynamique des gaz*. École Polytechnique, 2005.

#### Contrôle des connaissances

Savoir (60%) : examen de 2H  
Savoir-faire (40%) : compte-rendus de BE



36 av. Guy de Collongue  
69134 Écully cedex  
T + 33 (0)4 72 18 60 00

[www.ec-lyon.fr](http://www.ec-lyon.fr)

SIRET 196 901 870 000 10 - APE 8542Z

Membre de

