



APPRO - Approfondissements - S7



ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

POWER ELECTRONICS

Responsable(s): Loris PACE, Arnaud BREARD

| Cours : 16 | TD : 10 | TP : 6.0 | Autonomie : 12 | BE : 4 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

- Comprendre l'intérêt et le rôle de l'électronique de puissance ;
- Connaître : les concepts fondamentaux qui gouvernent cette discipline, les principales structures de convertisseurs ;
- Etre capables de tracer les allures des courants et des tensions dans un convertisseur à partir d'un schéma de principe ;
- Etre capables de choisir les interrupteurs électroniques de puissance pour un convertisseur et un cahier des charges donnés ;

Mots-clés : Electronique de puissance, conversion statique de l'énergie électrique, efficacité énergétique des systèmes, composants électroniques passifs et actifs, CEM

Programme

Introduction générale, notions de sources et d'interrupteurs, structures de convertisseur.

Composants passifs en électronique de puissance : Rôles et importance

- Composants inductifs : Technologie, Dimensionnement
- Composants capacitifs : Technologies, Critères de choix

Problèmes thermiques en électronique de puissance : Pertes

Détermination et mise en oeuvre d'asservissements en électronique de puissance :

- Commande rapprochée des interrupteurs, Modulations de largeur d'impulsions

Compatibilité électromagnétique (CEM) : Introduction et généralités, CEM en électronique de puissance, Perturbations conduites / rayonnées

Compétences

- Comprendre l'intérêt et le rôle de l'électronique de puissance
- Connaître les concepts fondamentaux qui gouvernent cette discipline

Travail en autonomie

Objectifs : Le travail en autonomie consiste à dimensionner un système à partir d'un cahier des charges et d'établir un modèle qui validera ce dimensionnement. Le système sera étudié en binôme avec un élève suivant le module de conversion électromécanique. Il s'agira d'une association convertisseur - actionneur électromécanique. Chaque élève pourra donc mettre à profit les enseignements

Méthodes : Dimensionner un dispositif par une approche analytique
Construction d'un modèle et vérification de la pertinence des éléments de dimensionnement

Bibliographie

J.-P. Ferrieux, F. Forest, *ALIMENTATIONS À DÉCOUPAGE, CONVERTISSEURS À RÉSONANCE*, Masson

J.-L. Cocquerelle *CEM ET ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE*, Technip

R. W. Erickson, D. Maksimovic *FONDAMENTALS OF POWER ELECTRONICS*, Kluwer Academic Publishers

Contrôle des connaissances

Note = 75% savoir + 25% savoir-faire

Note de savoir = 100% examen terminal + 0% contrôle continu

Note de savoir-faire = 50% TP + 50% autonomie



CONVERSION ÉLECTROMÉCANIQUE

ELECTROMECHANICAL CONVERSION

Responsable(s): Eric VAGNON

| Cours : 14.0 | TD : 14.0 | TP : 6.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif de ce cours est de présenter les phénomènes électromagnétiques avec leurs aspects énergétiques et de montrer comment passer, à partir des concepts fondamentaux de l'électromagnétisme, à la conception d'une machine électrique. Cette démarche est présentée sur l'exemple de la machine synchrone et illustrée par les différentes utilisations de cette machine. Cette démarche sera généralisée aux autres types de moteurs électriques afin de concevoir des modèles électriques exploitables pour la variation de vitesse.

Mots-clés : Énergie électromagnétique, force et puissance, actionneur, structures de conversion, fréquence-puissance, machine synchrone, alternateur, réseau, moteur, modèles de comportement électrique, contrôle- commande

Programme

- Introduction : aspects historiques et contexte de la conception des convertisseurs.
- Effort et puissance mécanique dans les systèmes électromagnétiques
- Les structures de conversion
- Constitution d'une machine synchrone
- Aspects technologiques
- Modèles électriques
- Contrôle et commande dans les principales utilisations.

Compétences

- Traduire les concepts fondamentaux de l'électromagnétisme en terme de conception d'une machine électrique.
- Adapter cette démarche à la machine synchrone.
- Créer des modèles électromagnétiques de différents niveaux à partir de données constructives.
- Analyser un modèle électrique d'un convertisseur électromécanique en vue de son contrôle et ou de sa commande.

Travail en autonomie

Objectifs : Dimensionner un système à partir d'un cahier des charges et établir un modèle qui validera ce dimensionnement en binôme avec un élève suivant le module Électronique de Puissance. L'évaluation consistera en un échange avec un enseignant afin de démontrer la pertinence du dimensionnement réalisé et de la modélisation.

Méthodes : Dimensionner un dispositif par une approche analytique. Construction d'un modèle et vérification de la pertinence des éléments de dimensionnement.

Bibliographie

Marcel JUFER, *ELECTROMÉCANIQUE*, raité d'électricité de l'EPFL - vol XIV, 1995
Ernest MATAGNE *ELECTROMÉCANIQUE - CONVERTISSEURS D'ÉNERGIE ET ACTIONNEURS*, DUNOD, 2009

Contrôle des connaissances

Note = 70 % savoir + 30 % savoir-faire
Note savoir = 100 % examen terminal
Note savoir-faire = 50 % examen terminal + 50 % contrôle continu



AUTOMATIQUE ET PHÉNOMÈNES NON-LINÉAIRES

AUTOMATIC CONTROL WITH NONLINEAR PHENOMENA

Responsable(s): Gérard SCORLETTI, Giacomo CASADEI

| Cours : 12.0 | TD : 18.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Les exigences de performance dans les systèmes technologiques ont entraîné la généralisation de correcteurs par réaction et l'apparition de phénomènes non-linéaires. Or les correcteurs les plus utilisés sont basés sur la linéarité. Le cours présente le comportement des systèmes non-linéaires et des méthodes permettant de prévoir l'apparition de ce comportement pour des systèmes en boucle fermée conçus sous l'hypothèse de linéarité, et la modification du correcteur pour éviter ces phénomènes. Le cours présente ensuite la conception d'un correcteur pour un système à commander représenté par un modèle non-linéaire. (Prérequis Master "Génie des Systèmes Automatisés" et base les options "Aéronautique" et "Transport Terrestre").

Mots-clés : Automatique, Systèmes non linéaires, commande, analyse

Programme

- Introduction générale sur la problématique.
- Analyse des systèmes en boucle fermée en présence d'une non-linéarité.
- Analyse des systèmes non-linéaires : approche générale.
- Commande des systèmes non-linéaires.

Compétences

- Analyser le comportement dynamique d'un système bouclé en présence de non linéarités.
- Commander les systèmes non linéaires.
- Traiter une application industrielle présentant des non-linéarités.

Travail en autonomie

Objectifs : Mettre en place une démarche d'ingénierie en mobilisant savoir et savoir-faire acquis au cours de l'AF.

Méthodes : Résoudre un problème pratique et original de commande en présence de non linéarités en appliquant les méthodes et outils numériques acquis au cours de l'AF.

Bibliographie

- G. Casadei et G. Scorletti, *AUTOMATIQUE & PHÉNOMÈNES NON LINÉAIRES*, Document de cours ECS a 3, 2021
G. Scorletti *COMMANDE MULTI-ACTIONNEURS MULTI-CAPTEURS.*, Document de cours ECS a 4, 189 pages, 2018
H. Khalil *NONLINEAR SYSTEMS 3D EDITION*, Prentice Hall, 2002

Contrôle des connaissances

Note = 200/3% savoir + 100/3% savoir-faire
Note de savoir = 100% examen terminal
Note de savoir-faire = 100% examen terminal



COMMANDE MULTI-ACTIONNEURS MULTI-CAPTEURS MULTI-SENSOR, MULTI-ACTIVATOR CONTROL

Responsable(s): Gérard SCORLETTI, Catherine MUSY, Eric BLANCO

| Cours : 12.0 | TD : 18.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'exigence de performance dans les systèmes technologiques entraîne l'extension de l'utilisation des correcteurs, autrefois réservés aux systèmes de haute technologie (aérospatial...) vers les systèmes du quotidien (automobiles, métros, habitat...). Les enjeux industriels actuels se traduisent par des cahiers des charges serrés, de procédés de plus en plus complexes, avec des temps de développement courts. Un enjeu majeur est de concevoir efficacement les correcteurs pour des procédés à plusieurs actionneurs et plusieurs capteurs, appelés aussi systèmes multivariables (pilotage d'avions, lanceurs spatiaux...). Prérequis pour le Master "Génie des Systèmes Automatisés" et base pour les options "Aéronautique" et "Transport Terrestre".

Mots-clés : Automatique, Représentation d'état, Commande par retour d'état, commande multivariable, observateurs

Programme

- Analyser le comportement dynamique d'un système.
- Concevoir une Commande modale.
- Concevoir une Commande multivariable en performance.
- Concevoir un observateur par approche modale.

Compétences

- Analyser le comportement dynamique et statique d'un système.
- Concevoir une Commande modale.
- Concevoir une Commande multivariable en performance.
- Concevoir un observateur par approche modale.

Travail en autonomie

Objectifs : Mettre en place une démarche d'ingénierie en mobilisant savoir et savoir-faire acquis au cours de l'AF.

Méthodes : Résoudre un problème pratique et original de commande en appliquant les méthodes et outils numériques acquis au cours de l'AF.

Bibliographie

G. SCORLETTI, *COMMANDE MULTI-ACTIONNEURS MULTI-CAPTEURS*, Polycop ECL, 2014
R.C. DORF and R.H. BISHOP *MODERN CONTROL SYSTEMS*, Pearson Prentice Hall, 2005
G. F. FRANKLIN, J. D. POWELL and A. EMAMI-NAENI *FEEDBACK CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS*, AddisonWesley, 1986

Contrôle des connaissances

Test final écrit individuel 2 heures (savoir) et évaluation orale individuelle de l'autonomie (savoir-faire).
Note AF = $2/3 * S + 1/3 * SF$.



INSTABILITÉ DES ÉCOULEMENTS ET INTRODUCTION À LA TURBULENCE

STABILITY OF FLOW AND INTRODUCTION TO TURBULENCE

Responsable(s): **Christophe BAILLY, Andrea MAFFIOLI**

| Cours : 20.0 | TD : 16.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 12.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'état turbulent est rencontré dans les procédés industriels, dans l'atmosphère et l'océan pour les écoulements géophysiques, ainsi que dans les fluides biologiques pour ne citer que quelques exemples. Le premier objectif de ce cours est de présenter les outils d'analyse permettant d'étudier la perte de stabilité de l'état laminaire en considérant des petites perturbations autour d'un écoulement de base. La seconde partie est une introduction à la turbulence pour les écoulements cisailés libres comme les couches de mélanges, les jets et les sillages (intermittence, entraînement, écoulement pleinement développé).

Mots-clés : Écoulement laminaire, stabilité linéaire, approches non visqueuse (Rayleigh) et visqueuse (Orr-Sommerfeld), signaux turbulents, intermittence, entraînement, écoulements cisailés libres

Programme

Introduction générale - Stabilité des écoulements - notions et outils de base. Instabilités locales et globales. Seuils d'instabilité et paramètres adimensionnels. Linéarisation. écoulements plans parallèles. Equation d'Orr- Sommerfeld. Instabilités non visqueuses: équation de Rayleigh. Profils linéaires par morceaux. Profils monotones et modes neutres. Effets de faibles non linéarités. - Écoulements turbulents - transition vers la turbulence, analyse des signaux des écoulements turbulents, équations générales des écoulements turbulents; écoulements turbulents à bords libres: intermittence, entraînement, identification des structures turbulentes

Compétences

- Maîtriser les concepts de l'analyse de stabilité linéaire des écoulements
- Savoir caractériser des signaux turbulents
- Être plus familier avec la phénoménologie des écoulements turbulents
- Savoir exploiter physiquement les résultats d'une analyse de stabilité

Travail en autonomie

Objectifs : Le travail à réaliser en autonomie permet d'illustrer le cours en s'appuyant sur des études de cas, et d'approfondir certains aspects du cours.

Méthodes : Résolution analytique de cas simples pour la stabilité des écoulements
Résolution de l'équation de Rayleigh sur ordinateur pour la couche de mélange
Analyse de signaux turbulents mesurés (statistiques, intermittence)

Bibliographie

GODRÈCHE C., MANNEVILLE P., *HYDRODYNAMIC AND NON LINEAR INSTABILITIES*, Cambridge University Press, 1998
SCHMID, P.J., HENNINGSON, D.S. *STABILITY AND TRANSITION IN SHEAR FLOWS*, Springer, 2001
BAILLY, C., COMTE-BELLOT, G. *TURBULENCE*, Springer, 2015

Contrôle des connaissances

Note = 50% savoir + 50% savoir-faire
Note de savoir = 50% examen terminal + 50% contrôle continue
Note de savoir-faire = 50% examen terminal + 50% contrôle continue



ACOUSTIQUE ET ONDES DANS LES FLUIDES

ACOUSTICS AND WAVES IN FLUIDS

Responsable(s): **Didier DRAGNA, Gilles ROBERT**

| Cours : 20.0 | TD : 24.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

De nombreux types d'ondes se propagent dans les fluides. Parmi celles-ci, les ondes acoustiques jouent un rôle particulier dans la vie quotidienne. Elles sont un vecteur de la communication humaine et sont le support de la musique. Le cours est constitué de deux parties. La première a pour objectif de donner des connaissances de base en acoustique. La seconde partie élargit l'étude à d'autres types d'ondes dans les fluides (ondes de gravité de surface et interne). Elle vise à appréhender les phénomènes de dispersion et de propagation en milieu inhomogène.

Mots-clés : Acoustique, Son, Bruit, Ondes, Relations de dispersion, Vitesses de phase et de groupe.

Programme

Eléments de formalisation et de résolution d'un problème d'acoustique (équation d'onde, conditions aux limites, fonction de Green, ...). Caractérisation de champs acoustiques (champs proche et lointain, source compact, directivité, rayonnement de structure).

Ondes dans les fluides : notion de dispersion, vitesse de groupe et de phase à travers l'exemple des ondes de gravité de surface. Propagation en milieu inhomogène et approximation géométrique.

TP sur les matériaux acoustiques. BE sur le dimensionnement d'un silencieux.

Compétences

- Calculs simples d'acoustique (niveaux sonore, puissance de source, dB, ..)
- Maîtrise des sources élémentaires (planes, sphériques)
- Posséder des notions sur les échelles de décibels, la caractérisation des nuisances sonores et leur perception
- Maîtriser les techniques générales d'analyse de la propagation linéaire d'ondes dans les fluides : relations de dispersion, approximation haute fréquence

Travail en autonomie

Objectifs : Développement de l'autonomie des étudiants au cours de son apprentissage.
Etude de cas en BE : analyse et dimensionnement d'un silencieux.

Méthodes : Une partie des TD se fait en autonomie à partir d'une fiche de cadrage et d'un enseignant en ressource. Dans l'étude de cas, on demande aux étudiants de réaliser une analyse du problème pour formaliser un cahier des charges, de proposer une solution et enfin de discuter de perspectives d'amélioration.

Bibliographie

S. Temkin, *ELEMENTS OF ACOUSTICS*, John Wiley & Sons, 1981
J. Lighthill *WAVES IN FLUIDS*, Cambridge University Press, 1978
M. J. Crocker et al. *HANDBOOK OF ACOUSTICS*, John Wiley & Sons, 1998

Contrôle des connaissances

Note = 0.6* savoir + 0.4*savoir-faire
Note de savoir = examen terminal
Note de savoir-faire = contrôle continu



ÉCOULEMENTS SUPERSONIQUES

SUPERSONIC FLOW

Responsable(s): **Didier DRAGNA, Marc JACOB**

| Cours : 16.0 | TD : 16.0 | TP : 2.0 | Autonomie : 10.0 | BE : 4 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Ce cours est consacré aux écoulements compressibles à haute vitesse et à l'étude de la propagation des ondes de pression, ondes de détente et ondes de choc. Il est un prolongement du cours de Fluides et Énergie du tronc commun en proposant un approfondissement des connaissances en dynamique des gaz. Les applications traitées concernent essentiellement l'aérodynamique externe autour des engins à grande vitesse.

Mots-clés : Écoulements compressibles, Écoulements supersoniques, Onde de choc, Onde de détente

Programme

- Introduction.
- Équations de conservation.
- Écoulements quasi-unidimensionnels.
- Ondes de choc normales.
- Écoulements bi-dimensionnels.
- Ondes de choc obliques et ondes de détente.
- Interactions et ondes instationnaires.
- Écoulements linéarisés.

Compétences

- Déterminer le comportement d'un fluide compressible soumis à des sollicitations thermiques ou mécaniques.
- Dimensionner une tuyère convergente-divergente sous différentes conditions aval.
- Calculer les structures d'écoulement se développant autour d'un obstacle immergé dans un écoulement supersonique.
- Réaliser une analyse comparée et critique de résultats expérimentaux, numériques et analytiques.

Travail en autonomie

Objectifs : Mettre en application les notions théoriques de cours et confronter des résultats analytiques, numériques et expérimentaux.

Méthodes : Méthode 1 : dimensionner un statoréacteur et réaliser l'étude paramétrique des ses performances.
Méthode 2 : analyser et comparer les structures d'écoulement supersonique autour d'un profil en losange (essai réalisé dans une soufflerie supersonique).

Bibliographie

J. D. Anderson, *MODERN COMPRESSIBLE FLOW*, McGraw Hill, 2021
A. H. Shapiro *THE DYNAMICS AND THERMODYNAMICS OF COMPRESSIBLE FLUID FLOW*, Ronald Press Company, 1953

Contrôle des connaissances

Note = 0.65*savoir + 0.35*savoir-faire
Note de savoir = examen terminal
Note de savoir-faire = contrôle continu



THERMIQUE ET COMBUSTION

THERMICS AND COMBUSTION

Responsable(s): Mathieu CREYSSELS, Andrea MAFFIOLI, Mikhail GOROKHOVSKI

| Cours : 20.0 | TD : 18.0 | TP : 10.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Décrire et quantifier les phénomènes de transfert d'énergie, en particulier les transferts thermiques, qui sont essentiels à la fois à la production d'énergie (turbines, moteurs, turboréacteurs) et à la limitation de la consommation d'énergie en vue d'un développement plus durable (moteurs plus efficaces et bâtiments basse consommation ou à énergie positive). Le cours fournit des connaissances et des compétences essentielles pour les applications industrielles ou environnementales mettant en jeu des phénomènes thermiques tels que : l'échange d'énergie en environnement calme, les incendies, les explosions, les brûleurs, les moteurs ou turboréacteurs.

Mots-clés : Energie, transferts thermiques, convection, rayonnement, échangeurs de chaleur, combustion, flammes, moteurs, développement plus durable

Programme

Transfert thermique :

- 1) Description des modes de transfert thermique (conduction / convections naturelle, forcée et mixte / rayonnement)
- 2) Formulation des équations couplées dynamique et thermique.
- 3) Les coefficients de transfert thermique et les nombres sans dimension.
- 3) Transferts thermiques par conduction en régime stationnaire et non-stationnaire.
- 4) La convection forcée en régimes laminaire et turbulent.
- 5) Les échangeurs de chaleur. Calcul des efficacités thermiques.

Compétences

- Connaître les différents modes de transfert thermique (conduction, convection, rayonnement).
- Décrire le phénomène de combustion et la physique des flammes.
- Savoir estimer et calculer numériquement un transfert thermique (utilisation des outils Matlab ou python).
- Utiliser l'outil de simulation Fluent afin de modéliser numériquement un écoulement avec transfert thermique.

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

Jean Taine, Franck Enguehard, Estelle lacona, *TRANSFERTS THERMIQUES*, Dunod, 2021
Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. DeWitt *FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER*, Wiley, 2019
Irvin Glassman, Richard A. Yetter, Nick G. Glumac *COMBUSTION*, Elsevier, 2014

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



SYSTÈMES MÉCANIQUES POLYARTICULÉS

MULTI-BODY MECHANICAL SYSTEMS

Responsable(s): Emmanuel RIGAUD, Bertrand HOUX

| Cours : 12.0 | TD : 12.0 | TP : 14 | Autonomie : 10 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Les systèmes mécaniques polyarticulés représentent un large spectre d'applications pratiques depuis les systèmes ouverts, catégorie à laquelle se rattachent les robots industriels, jusqu'aux systèmes fermés omniprésents dans de nombreux mécanismes (bielle-manivelle, suspension automobile, essuie vitre, caténaire, etc.). Le cours et les TDs présentent et mettent en œuvre les méthodes générales de description, de modélisation et d'analyse, puis les outils de conception, de dimensionnement et de synthèse de ces systèmes. Les activités de bureaux d'études permettent de simuler intégralement et de visualiser le comportement d'un robot industriel et d'un système d'essuie-vitre automobile.

Mots-clés : Robots, mécanismes, modèles géométriques, modèles cinématiques, modèles dynamiques

Programme

- Architecture générale d'un système mécanique articulé et éléments de construction (actionneurs, organes de transmission, capteurs).
- Modélisation de la structure mécanique articulée chaînes cinématiques ouvertes : cas de la robotique (modèles géométriques, cinématiques et dynamiques).
- Chaînes cinématiques fermées : cas des mécanismes.
- Bureau d'études robot + bureau d'études essuie-vitre de véhicule automobile.
- À partir d'un cahier des charges, analyser les performances d'un système dont l'architecture est imposée ou dimensionner le système mécanique sur une application mettant en évidence la problématique de la synthèse (solutions sous contraintes).

Compétences

- Connaître les éléments technologiques et les règles de construction des systèmes mécaniques.
- Maîtriser les méthodes de modélisation géométriques et cinématiques des systèmes mécaniques polyarticulés.
- Modèle dynamique : appliquer les approches énergétiques pour calculer les efforts nécessaires à la mise en action des systèmes mécaniques polyarticulés.
- Mettre en œuvre les outils permettant la simulation intégrale et la visualisation du comportement des systèmes mécaniques polyarticulés.

Travail en autonomie

Objectifs : Mettre en œuvre les outils de la simulation intégrale et la visualisation du comportement des systèmes mécaniques polyarticulés.

Méthodes : Exploitation des modèles dans l'environnement numérique dédié, afin d'évaluer et de faire une synthèse des performances des systèmes mécaniques modélisés sous la forme d'un compte-rendu illustré.

Bibliographie

KHALIL W., DOMBRE E., *MODÉLISATION, IDENTIFICATION ET COMMANDE DES ROBOTS* .. Hermès, 1999

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



INGÉNIERIE MÉCANIQUE

MECHANICAL ENGINEERING

Responsable(s): **Olivier DESSOMBZ, Jean-Jacques SINOU**

| Cours : 4.0 | TD : 4.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 16.0 | BE : 24.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Étudier le dimensionnement de systèmes et structures mécaniques présents dans divers domaines d'application (génie civil, aéronautique, automobile...) en liant les aspects technologique, statique et dynamique.

Mots-clés : Dimensionnement, méthodologie et modélisation

Programme

Cours / TD :

- Introduction à la problématique du dimensionnement.
- Dimensionnement dynamique.

Études de Synthèse :

- Deux études permettent de montrer les liens existants entre les différents aspects du dimensionnement d'un système ou d'une structure mécanique.
- Exemples de thèmes abordés : dimensionnement d'un pont, dimensionnement d'une pince de levage, dimensionnement d'un embrayage automobile, dimensionnement d'une

Compétences

- Connaître les bases du dimensionnement des structures mécaniques et les mettre en œuvre lors de BE s'appuyant sur des problèmes concrets.
- Travailler en groupe et savoir restituer lors des séances de BE.
- Savoir coupler les connaissances acquises dans plusieurs domaines de la mécanique.
- Savoir analyser et mettre en forme une problématique mécanique pour proposer un dimensionnement et en faire une synthèse.

Travail en autonomie

Objectifs : Travail sur les BE, mise en forme des résultats et rédaction.

Méthodes : Étude des systèmes proposés en BE, préparation des exposés d'évaluation.

Bibliographie

Georges Spinnler, *CONCEPTION DES MACHINES, TOMES 1, 2 & 3*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1997
Daniel Gay & Jacques Gambelin *DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES, UNE INTRODUCTION*, Hermès science publications, 1999
Claude Chèze *DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES*, Ellipses, 2012

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



ENDOMMAGEMENT ET RUINE DES MATÉRIAUX

DAMAGE AND RUIN OF MATERIALS

Responsable(s): Vincent FRIDRICI, Bruno BERTHEL

| Cours : 22 | TD : 14 | TP : 0.0 | Autonomie : 12.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

La sécurité des structures, la nouvelle approche liée aux cindyniques (science des risques) et les concepts d'économie circulaire (prenant en compte le développement durable) maintiennent au plus haut niveau les exigences liées à la durabilité des structures. La prise en compte des fonctions essentielles de la structure doit intervenir dès les 1ères étapes de la conception. L'ingénieur doit être capable de prendre du recul afin de faire des choix appropriés de matériaux, en se basant sur les sollicitations soumises. Les objectifs de ce module sont donc de donner, dans la continuité des modules de tronc commun de l'UE IDM (et en partie des UE GM et MSS), des connaissances approfondies sur l'endommagement des matériaux dans les structures mécaniques.

Mots-clés : Endommagement des matériaux, mécanique de la rupture, fatigue, corrosion, tribologie

Programme

- Les grandes étapes de la vie d'une structure (2h).
- Déformation plastique et endommagement (2h).
- Mécanique de la rupture (4h).
- Endommagement par fatigue (6h).
- Éléments d'expertise des ruptures (2h).
- Tribologie et usure des contacts (4h).
- Corrosion (4h).
- Éléments de contrôle non destructif (2h).
- Conférences industrielles (nucléaire, transport ...) (4h).

Compétences

- Comprendre des enjeux industriels majeurs liés au risque de ruine des structures.
- Appréhender les différents mécanismes d'endommagement des matériaux.
- Formaliser des outils prédictifs et mettre en place des solutions palliatives.

Travail en autonomie

Objectifs : Ce travail vise à comprendre les différents types d'endommagements et à en appréhender les enjeux dans un secteur industriel précis ou pour un matériau donné.

Méthodes : Étude bibliographique en binômes et si possible application des concepts vus en cours sur le sujet étudié. Ce travail est accompagné d'une présentation du choix du sujet au début et d'un bilan à mi-parcours auprès d'un enseignant de l'AF.

Bibliographie

JP. BAILON, JM DORLOT, *DES MATÉRIAUX*, Presses internationales Polytechnique, 2000
C. BATHIAS, J.-P. BAILON *LA FATIGUE DES MATÉRIAUX ET DES STRUCTURES*, Hermès - Lavoisier, 1997
J.-M. GEORGESFROTTEMENT, *USURE ET LUBRIFICATION*, Eyrolles, 2000

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



MATÉRIAUX ET TRAITEMENTS DE SURFACE INNOVANTS

MATERIALS AND INNOVATIVE SURFACE TREATMENTS

Responsable(s): **Stephane BENAYOUN, Stéphane VALETTE**

| Cours : 16.0 | TD : 16.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 12 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Mots-clés :

Programme

Compétences

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

Contrôle des connaissances



MATÉRIAUX AMORPHES POUR STRUCTURES FONCTIONNELLES INNOVANTES

AMORPHOUS MATERIALS FOR INNOVATIVE FUNCTIONAL STRUCTURES

Responsable(s): Maria-Isabel DE BARROS BOUCHET, Frédéric DUBREUIL

| Cours : 12.0 | TD : 14.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Les matériaux amorphes sont des matériaux de synthèse ou naturels utilisés dans un grand nombre d'applications. Pour ces matériaux, l'essor industriel et technologique a souvent précédé les préoccupations scientifiques en termes de caractérisation, de relation structures-propriétés et de modélisation du comportement et du cycle de vie. Actuellement, la science des verres est un domaine riche d'évolutions, aux multiples retombées technologiques dans des secteurs industriels divers (transports, génie civil, médical, agro-alimentaires)... Ce cours propose un approfondissement des connaissances centrées sur les particularités de ces matériaux et sur leurs applications. Intervenant extérieurs et visite d'un centre de recyclage.

Mots-clés : Verre, état vitreux, oxydes, polymères, élastomères, transition vitreuse, semi-cristallinité, comportement rhéologique, recyclage

Programme

- L'état amorphe de la matière : origines de l'ordre et du désordre.
- Procédés de fabrication.
- Réseaux et phénomènes de cristallisation.
- Méthodes de caractérisation : analyses thermiques, rayon X, Infrarouge.
- Structure et comportement rhéologique.
- Propriétés fonctionnelles : optiques, mémoire de forme, amortissement, isolation thermique, conduction électrique et applications innovantes dans différents secteurs industriels.
- Cycle de vie, caractérisation et recyclabilité d'un emballage (ex : bouteille de soda).

Compétences

- Acquérir des connaissances sur la structure et les techniques de caractérisation des matériaux amorphes dans l'objectif de mieux comprendre leurs propriétés.
- Définir les techniques de caractérisation et d'identification à mettre en œuvre en fonction du matériau à analyser.
- Avoir des notions concernant le recyclage des matériaux amorphes.
- Utiliser des connaissances acquises pour analyser la problématique de leur cycle de vie et en faire une analyse critique.

Travail en autonomie

Objectifs : Maîtrise de toutes les étapes de la vie d'une pièce en matériau amorphe depuis sa mise en œuvre jusqu'à son devenir après usage.

Méthodes : L'autonomie consiste à préparer les enseignements pratiques, rédiger les comptes-rendus et réaliser un projet bibliographique ayant trait à une problématique liée à la recyclabilité de ces matériaux. L'ensemble de ces activités se fait en groupe.

Bibliographie

Powell, Peter C, *ENGINEERING WITH POLYMERS*, Chapman & Hall, 1992
Jerzy, Zarzycki *GLASSES AND THE VITREOUS STATE*, Cambridge University Press, 1991
Duval, Claude *PRÉSENTATION MATIÈRES PLASTIQUES ET ENVIRONNEMENT - RECYCLAGE, VALORISATION, BIODÉGRADABILITÉ, ÉCO-CONCEPTION*, Dunod, 2009

Contrôle des connaissances

0.5 : savoir (100% examen terminal : QCM + exercices); 0.5 : savoir-faire (50% exposé oral du projet+50% compte-rendu TP)



BIOMÉCANIQUE DES TISSUS VIVANTS ET BIOMATÉRIAUX PROTHÉTIQUES

BIOMECHANICS OF LIVING TISSUE AND PROSTHETIC BIOMATERIALS

Responsable(s): Clotilde MINFRAY, Thierry HOC, Vincent FRIDRICI

| Cours : 20.0 | TD : 4.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 18.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Dans la problématique de développement de dispositifs prothétiques pour le biomédical et notamment en chirurgie orthopédique, il est nécessaire de connaître les propriétés des matériaux vivants pour choisir des substituts et les utiliser à bon escient. Ce module propose une étude détaillée des propriétés mécaniques de différents tissus vivants (os, peau, cellule, organe...). Le choix de matériaux bio-compatibles pour des prothèses sera ensuite abordé en discutant les problèmes engendrés par les sollicitations mécaniques et le milieu environnant (endommagement, biocompatibilité...). Le but est d'utiliser des notions de mécanique et science des matériaux pour justifier les choix faits de nos jours en terme de prothèses et de reconstruction osseuse.

Mots-clés : Biomécanique, Biomatériaux, Tissus vivants (os), prothèses articulaires

Programme

- Biomécanique.
- L'os : un matériau anisotrope vivant.
- Les tissus mous.
- De la cellule à l'organe.
- Biomatériaux.
- Les grandes classes de matériaux de substitutions (céramiques, métaux et polymères).
- Les propriétés des biomatériaux : biocompatibilité, frottement et usure, fatigue.
- BE : Synthèse d'un article scientifique concernant les biomatériaux.

Compétences

- Identifier les lois de comportement mécanique des tissus vivants (modèle rhéologique).
- Savoir expliquer le processus de repousse osseuse.
- Être capable d'appréhender les notions de biocompatibilité des matériaux.
- Connaître les grandes familles de matériaux utilisés dans les prothèses orthopédiques.

Travail en autonomie

Objectifs : Étude de cas dont le but est d'approfondir un sujet au choix.

Méthodes : Travail à faire en autonomie par groupe de 2 avec rapport écrit et présentation orale.

Bibliographie

B.D. Ratner , *BIOMATERIALS SCIENCE - THIRD EDITION. ACADEMIC PRESS, 2013*

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire.
Note de savoir = 100 % examen terminal.
Note de savoir-faire = 80 % examen terminal + 20 % contrôle continu.



MULTIMÉDIA : CONCEPTS ET TECHNOLOGIES

MULTIMEDIA : CONCEPTS AND TECHNOLOGIES

Responsable(s): Emmanuel DELLANDREA, Mohsen ARDABILIAN

| Cours : 16.0 | TD : 0.0 | TP : 18.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Familiarisation avec les concepts fondamentaux du multimédia et les différentes technologies, systèmes et méthodes d'analyse multimédia. La communication est l'un des facteurs du développement de l'industrie et de l'individu dans les sociétés modernes. Le changement rapide des sociétés et des technologies émergentes témoigne de l'évolution croissante de la nature des supports et environnements, aussi bien que des messages véhiculés. Il est plus facile aujourd'hui de transmettre une idée par une combinaison de textes, images ou et vidéo que par un simple document texte. Un document multimédia suit ainsi un cycle de vie et subit au passage des transformations. Ce cours décrit les concepts fondamentaux en les situant dans un panorama global.

Mots-clés : Interactivité, Information, Média, Numérique, Vidéo, Audio, Texte, Audiovisuel, Système, Contenu, Analyse par le contenu, Compression, Standard, Norme

Programme

- 1) Les terminologies et concepts de base : La perception visuelle et auditive. L'échantillonnage et quantification. L'acquisition du son, image et vidéo. Les systèmes d'acquisition.
- 2) Analyse multimédia et ses applications : Analyse multimodale par le contenu (modalité visuelle, modalité auditive, modalité temporelle). Les principes de codage et de compression. Indexation automatique. Structuration automatique (résumé, chapitrage, etc.)
- 3) Présentation des standards et normes de description, compression et synchronisation : H.26x, JPEGs, MPEGs, SMIL et autres.

Compétences

- Appréhender le principe général des différents procédés de codage et compression appliqués aux images, audio et vidéo.
- Être capable d'identifier les techniques de codage et de compression les plus adaptées en fonction de la nature des données multimédia.
- Comprendre le principe des méthodes d'analyse multimédia.
- Savoir mettre en œuvre des méthodes d'analyse audio/vidéo (segmentation, classification).

Travail en autonomie

Objectifs : Permettre aux étudiants d'assimiler les notions et les concepts vus en cours et en BE.

Méthodes : Séances d'encadrement et de questions réponses avec les enseignants.

Bibliographie

- P. Bellaïche, , *LES SECRETS DE L'IMAGE VIDÉO.*, Eyrolles., 2002
T. Vaughan. *MULTIMEDIA-MAKING IT WORK (5ÈME ÉDITION)*, McGraw-Hill., 2002
N. Chapman & J. Chapman. *DIGITAL MULTIMEDIA.*, Wiley,, 2000

Contrôle des connaissances

Note = 63 % savoir + 37 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



STRATÉGIES DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES

PROBLEM RESOLUTION STRATEGIES

Responsable(s): Alexandre SAIDI

| Cours : 8.0 | TD : 0.0 | TP : 28.0 | Autonomie : 12.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Approfondir les connaissances des élèves en analyse, algorithmes, méthodes de résolution, performantes et programmation. Parmi les objectifs de cours, il est important de donner aux élèves les connaissances et les méthodes et outils pratiques nécessaires à la mise en œuvre de l'activité de modélisation de solutions et/ou de conception d'algorithmes et de leur programmation. L'étude d'exemples de problèmes réputés complexes et les solutions proposées en informatique compléteront ce cours.

Mots-clés : Algorithme, Analyse d'algorithme, Complexité, Graphe, Résolution, Stratégie de résolution

Programme

- Analyse et calcul de complexité des algorithmes récursivité (cf. CAML).
- Introduction courte aux TDAs et les types de données remarquables stratégies de résolution algorithmique.
- Stratégie Diviser et Régner, Programmation Dynamique.
- Approche Greedy (approche Gloutonne / gradient).
- Algorithmes à essais successifs, Back Tracking (AES et BT).
- Branch and Bound (B & B).
- Résolution de l'équation caractéristique pour le calcul de complexité.
- Exemples de calcul de complexité.

Compétences

- La résolution des problèmes non triviaux en Informatique nécessite une démarche Mathématique rigoureuse. Une fois le problème posé, les phases de recherche d'un modèle, l'étude algorithmique de la solution et le calcul de sa complexité sont les éléments importants de cette démarche. La phase de preuve (et de justesse de la solution proposée) qui complète cette démarche n'est pas détaillé dans ce cours même si des références en seront données. Prouver la justesse de ce qui est écrit est néanmoins abordé.
 - Dans un souci de rapport théorique / pratique équilibré, l'objectif de ce cours est de

Travail en autonomie

Objectifs : Travail sur les mini-projets (BEs).

Méthodes : Travail sur les mini-projets (BEs).

Bibliographie

D.E. Knuth , *THE ART OF PROGRAMMING (RÉÉDITION)*, Addison Wesley, 2000
R. Neapolitan, K. Naimipour *FOUNDATIONS OF ALGORITHMS*, Health & Company,, 1996
P. Dohornoy (SMAI) *COMPLEXITÉ ET DÉCIDABILITÉ*, Springer-Verlag, 1993

Contrôle des connaissances

Note des BEs (mini-projets) et test écrit (pondération 50 % - 50 %)



APPLICATIONS CONCURRENTES, MOBILES ET RÉPARTIES EN JAVA

SOFTWARE ENGINEERING: MODEL AND PROCESS BASED SOFTWARE DEVELOPMENT

Responsable(s): Stéphane DERRODE, Alexandre SAIDI

| Cours : 16 | TD : 0.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 10 | BE : 22 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Cet enseignement vise à poursuivre l'apprentissage de la programmation objet en langage Java grâce aux interfaces Homme-Machine (IHM) les interfaces homme-machine, ou comment concevoir des interfaces ergonomes ; la concurrence, ou comment utiliser plusieurs cœurs d'un microprocesseur pour faire un calcul en parallèle ; la programmation répartie, ou comment faire travailler ensemble des ordinateurs distants sur un réseau (un des principes du fonctionnement du cloud computing) ; la programmation mobile, ou comment programmer sous Android.

Mots-clés : Informatique, Java, Android, concurrence, parallélisme, programmation répartie, IHM, interface utilisateur.

Programme

- Le langage Java
- Programmation par événement (interfaces homme-machine, IHM)
- Programmation concurrente (processus, parallélisme du calcul)
- Programmation distribuée (Java RMI)
- Programmation des appareils informatique mobile (Android / Android Studio)

Compétences

- Savoir programmer en Java une application répartie sur plusieurs ordinateurs reliés par un réseau.
- Savoir développer une application concurrente utilisant plusieurs processeurs.
- Savoir programmer une interface utilisateur (IHM) ergonomique et fluide.
- Savoir développer une application Android.

Travail en autonomie

Objectifs : Réaliser plusieurs travaux de groupe visant à produire une application fonctionnelle en s'appuyant sur les concepts étudiés en cours.

Méthodes : Projets par groupe de 2 élèves, à réaliser en séances et en autonomie.

Bibliographie

Luigi Zaffalon, *PROGRAMMATION CONCURRENTE ET TEMPS RÉEL AVEC JAVA*, Presses Polytechniques Romandes, 2007
Reto Meier *DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS AVANCÉES*, Pearson France, 2012
Serge Ungar, Nazim Benbourahla *DES FONDAMENTAUX DU DÉVELOPPEMENT JAVA À LA MISE EN PRATIQUE D'UNE APPLICATION SOUS ANDROID*, ENI, 2012

Contrôle des connaissances

Note = 50% savoir + 50% savoir-faire
Note de savoir = 100% examen terminal
Note de savoir-faire = 100% contrôle continu



ANALYSE DE DONNÉES ET RECONNAISSANCE DES FORMES

DATA ANALYSIS AND PATTERN RECOGNITION

Responsable(s): Emmanuel DELLANDREA

| Cours : 14.0 | TD : 20.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : MI

Objectifs de la formation

L'analyse de données et la reconnaissance des formes ont pour but d'analyser et d'explicitier les concepts contenus dans des quantités importantes de données, issues de nombreuses sources. Ces méthodes ont des retombées applicatives sans cesse croissantes dans des domaines aussi divers que la vision par ordinateur, l'analyse du signal, la robotique, la médecine, la finance, le commerce électronique ou des applications militaires. Cet enseignement a donc pour objectif d'introduire les principes et techniques fondamentaux de l'analyse de données et de la reconnaissance de formes, et en particulier les approches descriptives (description automatique des concepts contenus dans les données), ainsi que les approches prédictives.

Mots-clés : Analyse de données, Reconnaissance de formes, apprentissage automatique, classification, régression, réseaux de neurones

Programme

- Analyses factorielles (ACP, AFC, ACM)
- Analyses discriminantes (LDA)
- Modèles linéaires pour la régression
- Régression logistique pour la classification
- Problème de sur-apprentissage et la régularisation
- Réseaux de neurones: représentation et apprentissage
- Conseils et pratiques pour appliquer l'apprentissage automatique
- Conception de systèmes d'apprentissage automatique

Compétences

- Comprendre le principe des principales méthodes d'analyse de données et de reconnaissance de formes.
- Savoir choisir la méthode d'analyse de données ou de reconnaissance de formes à mettre en œuvre en fonction des données et des objectifs de l'étude.
- Savoir mettre en œuvre les principales méthodes d'analyse de données et de reconnaissance de formes, et exploiter leurs résultats.
- Appréhender les principes de l'apprentissage statistique pour la régression et classification.

Travail en autonomie

Objectifs : Comprendre et assimiler les notions de cours mises en œuvre dans les TD.

Méthodes : Séances de questions/réponses avec les enseignants faisant suite aux TD pour aider à la réalisation des devoirs à rendre.

Bibliographie

Christopher M.Bishop, *PATTERN RECOGNITION AND MACHINE LEARNING*, Springer, 2006
Richard O.Duda, Peter E.Hart, David G.Stork *PATTERN CLASSIFICATION*, John Wiley & Sons, 2001
Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman *THE ELEMENTS OF STATISTICAL LEARNING*, Springer, 2011

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir +50 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



VIBRATION DES SYSTÈMES MÉCANIQUES

VIBRATION ANALYSIS

Responsable(s): **Olivier DESSOMBZ**

| Cours : 12.0 | TD : 16.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 12.0 | BE : 4.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Dans le cadre de la mécanique générale et de la mécanique des structures, le cours constitue une introduction à la mécanique des vibrations et une ouverture vers les phénomènes non linéaires et la stabilité des systèmes mécaniques.

Mots-clés : Vibrations, systèmes discrets/continus, amortissement, synthèse modale, systèmes non-linéaires

Programme

- Systèmes discrets : Réponse vibratoire des systèmes. Isolation et amortissement des systèmes. Synthèse modale.
- Systèmes continus : Calcul des modes de poutres. Construction de modèles discrets. Application de la méthode des éléments finis.
- Systèmes non linéaires.
- Stabilité des systèmes mécaniques.

Compétences

- Savoir mettre en équations un système mécanique dans le cadre des petits mouvements.
- Savoir calculer les modes propres normaux et s'en servir en synthèse modale.
- Appréhender les grandes méthodes d'approximation, en particulier les éléments finis.
- Savoir prendre en compte des non-linéarités en mécanique vibratoire.

Travail en autonomie

Objectifs : Permettre aux étudiants d'assimiler les notions et les concepts vus en cours et en BE.

Méthodes : Mise en forme des résultats et rédaction.

Bibliographie

J-F. Imbert, *ANALYSE DES STRUCTURES PAR ÉLÉMENTS FINIS (3ÈME ED)*, Cépaduès éditions, 1991
M. Géradin & D. Rixen *THÉORIE DES VIBRATIONS. APPLICATION À LA DYNAMIQUE DES STRUCTURES*, Masson, 1993
P. Pahut & M. Del Pedro *MÉCANIQUE VIBRATOIRE. SYSTÈMES DISCRETS LINÉAIRES*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2003

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % examen terminal
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



COMPORTEMENT ANÉLASTIQUE DES STRUCTURES

INELASTIC BEHAVIOUR OF STRUCTURES

Responsable(s): Cécile NOUGUIER, Francesco FROIO

| Cours : 12.0 | TD : 6.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 20.0 | BE : 0.0 | Projet : 10.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Élargir le champ de connaissances concernant les structures à comportement élastiques et anélastiques.

Mots-clés : Anisotropie, élasto-plasticité, thermo-élasticité, visco-élasticité

Programme

- Cours 1 et 2 : Éléments d'élasto-plasticité et notions d'anisotropie.
- Cours 3 et 4 : Méthode des déplacements et son application en thermo-élasticité des structures.
- Cours 5 et 6 : Plasticité dans les structures.

Compétences

- Situer l'élasticité linéaire dans un cadre théorique plus large.
- Utiliser des éléments de visco-thermo-élasticité ou élasto-plasticité pour l'analyse de structures.
- Structurer un problème mécanique en vue de sa résolution en mode projet.
- Utiliser des méthodes de résolution diverses : analytiques et numériques.

Travail en autonomie

Objectifs : Calcul analytique et/ou numérique de structures anélastiques.

Méthodes : Les élèves seront répartis sur 3 groupes de projet (8 élèves par groupe) ; le temps total alloué à chaque projet est de 30h (1/3 encadrée et 2/3 en autonomie).

Bibliographie

J. Lemaitre, J-L. Chaboche, *MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX SOLIDES*, Dunod, 2001
Albiges, Coin, Journet *ETUDE DES STRUCTURES PAR LES MÉTHODES MATRICIELLES*, Eyrolles, 1969
S. Timoshenko *RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX*, Dunod, 1968

Contrôle des connaissances

Note = 60 % savoir + 40 % savoir-faire.
Note de savoir = 100 % examen terminal.
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu.



OUTILS MATHÉMATIQUES AVANCÉS POUR LES PROBABILITÉS ET L'APPRENTISSAGE

PROBABILITY THEORY AND INTRODUCTION TO RANDOM PROCESSES

Responsable(s): Elisabeth MIRONESCU, Philippe MICHEL

| Cours : 18.0 | TD : 14 | TP : 0.0 | Autonomie : 12 | BE : 4 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif de l'action de formation est de donner aux élèves désireux de poursuivre leurs études d'ingénieurs vers des champs qui demandent un niveau avancé en mathématiques* la possibilité d'approfondir les notions de base vues en S5 dans l'UE MTH avec des outils théoriques puissants et d'apprendre les bases des théories qui seront mises en application dans le parcours électif (S8 - S9 - option Mathématiques et Ingénierie du Risque).

(*) modélisation, analyse numérique des équations aux dérivées partielles, problèmes inverses, statistique et probabilités, machine learning, finance ou bio-mathématique...

Mots-clés : Théorie de la mesure et intégration, topologie, analyse fonctionnelle, théorie des probabilités, équations aux dérivées partielles

Programme

- 1) Théorie de la mesure, intégration, théorie des probabilités.
- 2) Topologie, analyse fonctionnelle, équations aux dérivées partielles.

Compétences

- Comprendre et démontrer les éléments théoriques de l'analyse et des probabilités.
- Savoir proposer un cadre approprié pour l'étude de problèmes complexes
- Donner des exemples et des contre-exemples pour illustrer des notions théoriques

Travail en autonomie

Objectifs : Travail de démonstration et rédaction.

Méthodes :

Bibliographie

- N. Imnios, V. Girardin, *PROBABILITÉS EN VUE DES APPLICATIONS*, Vuibert, 2008
H. Brézis *ANALYSE FONCTIONNELLE*, Dunod, 2020
P. Billingsley *PROBABILITY AND MEASURE*, Wiley, 1995

Contrôle des connaissances

Note finale : 75% Savoir+25% Savoir-faire
Savoir : 100% contrôle final



OUTILS MATHÉMATIQUES AVANCÉS POUR L'ANALYSE DES ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES

NUMERICAL APPROXIMATION FOR ODES AND PDES

Responsable(s): Philippe MICHEL, Elisabeth MIRONESCU

| Cours : 18 | TD : 18 | TP : 0 | Autonomie : 12 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif de l'action de formation est de donner aux élèves désireux de poursuivre leurs études d'ingénieurs vers des champs qui demandent un niveau avancé en mathématiques la possibilité d'approfondir les notions de base vues en S5 dans l'UE MTH avec des outils théoriques puissants et d'apprendre les bases des théories qui seront mises en application dans le parcours électif (S8 - S9 - option Mathématiques et Ingénierie du Risque).

Mots-clés : Théorie de la mesure et de l'intégration, théorie des probabilités, topologie, analyse fonctionnelle, équations aux dérivées partielles.

Programme

- 1) Théorie de la mesure, intégration, théorie des probabilités.
- 2) Topologie, analyse fonctionnelle.

Compétences

- Comprendre et démontrer les éléments théoriques de l'analyse et des probabilités.
- Donner des exemples et des contre-exemples.
- Modéliser mathématiquement, notion de problèmes bien posés.

Travail en autonomie

Objectifs : Travail de rédaction et de démonstration.

Méthodes :

Bibliographie

- N. Limnios, V. Girardin, *PROBABILITÉS EN VUE DES APPLICATIONS*, Vuibert, 2008
H. Brezis *ANALYSE FONCTIONNELLE - THÉORIE ET APPLICATIONS*, Dunod, 2005
G. Allaire *ANALYSE NUMÉRIQUE ET OPTIMISATION*, Editions de l'Ecole polytechnique, 2005

Contrôle des connaissances

Note = 75% savoir + 25% savoir-faire
Note de savoir = 100% examen terminal + 0% contrôle continu
Note de savoir-faire = 0% examen terminal + 100% contrôle continu,



MÉCANIQUE QUANTIQUE ET APPLICATIONS

QUANTUM MECHANICS AND APPLICATIONS

Responsable(s): Anne-Segolene CALLARD, José PENUELAS

| Cours : 18.0 | TD : 18.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 12.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

La mécanique quantique est une des théories physiques la plus prédictive et des plus étendues qu'on connaisse. Elle permet de décrire les atomes et les constituants de la matière, mais elle est aussi nécessaire pour comprendre les assemblages de molécules, la nature de la lumière et la structure des solides. La mécanique quantique, une science fondamentale, est aussi à l'origine de grandes applications qui fondent notre société moderne : la plupart des produits de hautes technologies sont directement issus de concepts quantiques (ordinateur, laser, GPS, IRM...). L'objectif de ce cours est de proposer une introduction à la mécanique quantique et à ses principes généraux en utilisant notamment le formalisme de Dirac.

Mots-clés : Équation de Schrödinger, état quantique, postulats de la mécanique quantique, superposition, formalisme de Dirac, Hamiltonien, espace de Hilbert, spin, fermions, bosons, particules indiscernables

Programme

- Retour sur la dualité onde/ corpuscule - Construction de la théorie quantique.
- La mesure/ Évolution dans le temps des systèmes.
- Les postulats de la mécanique quantique.
- Les systèmes à deux états.
- Le moment cinétique.
- Le spin $\frac{1}{2}$.
- RMN.
- Les particules identiques.
- Les fermions, les bosons.

Compétences

- Être capable d'appréhender le domaine d'application de la mécanique quantique et la limite quantique/classique.
- Savoir appliquer les postulats de la théorie quantique.
- Être capable d'utiliser le formalisme de Dirac pour décrire un système quantique.
- Être capable de décrire l'état d'un système de plusieurs particules avec spin.

Travail en autonomie

Objectifs : Comprendre et assimiler le cours.

Méthodes : Séances de questions réponses, corrections d'annales de test en séance, exercices à traiter en autonomie.

Bibliographie

J-L Basdevant, J. Dalibard., *MÉCANIQUE QUANTIQUE*, Ed. de l'Ecole Polytechnique, 2002
C. Cohen-Tannoudj i. et al. *MÉCANIQUE QUANTIQUE I*, Hermann, 1973
C. Cohen-Tannoudj i. et al. *MÉCANIQUE QUANTIQUE II*, Hermann, 1973

Contrôle des connaissances

Note = 100 % savoir.
Savoir = 90 % examen terminal + 10 % contrôle continu.

CHIMIE MOLÉCULAIRE ET SUPRAMOLÉCULAIRE

MOLECULAR AND SUPRAMOLECULAR CHEMISTRY

Responsable(s): Christelle YEROMONAHOS, Naoufel HADDOUR

| Cours : 12.0 | TD : 18.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 18.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Les métabolites sont des molécules de bas poids moléculaire, caractéristiques de nombreuses pathologies, mais noyés dans le sang parmi des grosses molécules. Leur détection pour le diagnostic clinique est un challenge. La fonctionnalisation chimique de surface pourrait permettre de capturer sélectivement des métabolites, à partir d'une goutte de sang, et d'augmenter la sensibilité de la détection (spectrométrie de masse).

L'objectif du cours est de comprendre pourquoi certains métabolites ont une affinité particulière avec certaines molécules de fonctionnalisation. Comment effectuer des choix pour modifier la nature chimique de la surface pour sélectionner au mieux les métabolites ciblés.

Mots-clés : Interactions intermoléculaires, simulations de dynamique moléculaire, diagnostic clinique innovant

Programme

Cet enseignement sera présenté sous forme d'une étude de cas.

Dans un premier temps, les propriétés physico-chimiques des molécules uniques seront présentées (structure, balance hydrophile-hydrophobe, charges).

Dans un deuxième temps, les propriétés physico-chimiques des structures supramoléculaires seront analysées à partir des propriétés des molécules uniques qui les constituent par la modélisation moléculaire (énergie d'interactions...).

Les résultats de cette analyse seront employés pour concevoir un outil d'analyse biomédicale.

Compétences

- C2N1 : Définit un système et ses frontières, identifie les phénomènes mis en jeu et propose un modèle simple. Formule les hypothèses.
- C2N3 : Caractérise la complexité d'un système, identifie les interactions et les sources d'incertitude.
- C1I1 : Réalise un état de l'art et met en œuvre des méthodes de créativité, sur un problème ouvert sur des questions techniques-scientifiques-économiques, et formalise le résultat.

Travail en autonomie

Objectifs : Modélisation moléculaire sur ordinateur

Méthodes :

Bibliographie

Franck, *CHIMIE PHARMACEUTIQUE*, De Boeck, 2005
J.-M. Lehn *LA CHIMIE SUPRAMOLÉCULAIRE, CONCEPTS ET PERSPECTIVES*, De Boeck, 1997
Trong Anh *INTRODUCTION À LA CHIMIE MOLÉCULAIRE*, Ellipses, 1994

Contrôle des connaissances

Note = 50% savoir + 50% savoir-faire
Note de savoir = 50% examen terminal + 50% contrôle continu
Note de savoir-faire = 50% examen terminal + 50% contrôle continu

**ELECTROCHIMIE ET CHIMITRONIQUE.****ELECTROCHEMISTRY AND CHEMITRONICS**Responsable(s): **Naoufel HADDOUR**

| Cours : 12.0 | TD : 12.0 | TP : 8.0 | Autonomie : 12.0 | BE : 4 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif du cours est de comprendre la physicochimie des transferts électroniques aux interfaces électrode/électrolyte et les concepts du génie électrochimique. Il s'appuie sur un exemple concret de traitement d'un effluent industriel. Ce cours est principalement mené sous forme d'apprentissage par problème, en travail de groupe, avec une évaluation individuelle en fin de projet.

Mots-clés : Modèle Butler-Volmer, Cellules en flux, corrosion, électrolyse, batterie

Programme

Cet enseignement sera présenté sous forme d'une étude de cas pour aborder les notions suivantes :

- 1) Thermodynamique électrochimique : Réactions redox spontanées et forces. Tensions maximales et minimales pour les systèmes galvaniques et électrolytiques.
- 2) Cinétique électrochimique : Modèle Butler-Volmer avec et sans limitations de transport. Analyse du tracé de Tafel. Voltamétrie linéaire et cyclique.
- 3) Modes de transport de matière/Fluidique : Diffusion, migration et convection d'espèces électroactives dans différents systèmes.
- 4) Réacteurs électrochimiques : Architecture, caractérisation et dimensionnement.

Compétences

- Différencier les réactions galvaniques et électrolytiques.
- Déterminer l'efficacité thermodynamique électrochimique et la tension d'un système redox.
- Déterminer les modèles cinétiques clés à utiliser pour caractériser les dispositifs électrochimiques.
- Optimiser des électrodes et des conditions de fonctionnement pour des applications spécifiques.

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

Fabien MIOMANDRE, Saïd SADKI, Pierre AUDEBERT, *ÉLECTROCHIMIE DES CONCEPTS AUX APPLICATIONS*, Dunod, 2011
Hartmut WENDT, Gerhard KREYSA *GÉNIE ÉLECTROCHIMIQUE*, Dunod, 2001
François COURET, Alain STORCK *ÉLÉMENTS DE GÉNIE ÉLECTROCHIMIQUE*, ParisTec et doc, 1993

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire.
Note de savoir = 50 % examen terminal + 50 % contrôle continu.
Note de savoir-faire = 50 % examen terminal + 50 % contrôle continu.



PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS ET DES DIÉLECTRIQUES

DIELECTRIC AND SEMICONDUCTOR PHYSICS

Responsable(s): **Christelle MONAT**

| Cours : 13 | TD : 16.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 13 | BE : 6 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Les matériaux semiconducteurs sous-tendent les technologies modernes que nous utilisons quotidiennement, que ce soit pour les outils de calcul, les moyens de communication, l'éclairage ou la conversion d'énergie. Après avoir présenté les mécanismes physiques dans les semiconducteurs et les propriétés électroniques et optiques qui en découlent, l'AF décrira différentes applications de ces matériaux en microélectronique et en optoélectronique.

Mots-clés : Semiconducteurs, diélectriques, composants, microélectronique, optoélectronique

Programme

- 1/ Propriétés cristallines et élaboration des matériaux semiconducteurs
- 2/ Structure de bandes électroniques des semiconducteurs
- 3/ Conduction électrique d'un matériau semiconducteur
- 4/ Phénomènes de transport de charges dans les semiconducteurs
- 5/ Jonction PN et applications
- 6/ Jonction métal/ semiconducteur et applications
- 7/ Composants optoélectroniques pour la détection de lumière
- 8/ Composants optoélectroniques pour l'émission de lumière

Compétences

- Etre capable d'expliquer la distinction entre les propriétés des métaux, isolants et semiconducteurs et l'origine de ces différences
- Etre capable de manipuler les concepts (électron, trou, diagramme de bandes...) décrivant les propriétés physiques des matériaux semiconducteurs
- Etre capable de décrire les principes physiques liés au transport électrique et à l'interaction électron/photon dans les semiconducteurs
- Savoir expliquer le fonctionnement des grandes familles de composants semiconducteurs (transistors, photodiode, cellule solaire, diode laser)

Travail en autonomie

Objectifs : Travail en groupe pour approfondir un domaine particulier ou émergent en lien avec la physique des semiconducteurs et ses applications en microélectronique/ optoélectronique

Méthodes : Des sujets de synthèse seront proposés à des petits groupes (sujets possibles : cellule photovoltaïque, transistor à un photon, LED bleues, graphène et matériaux 2D, photonique silicium etc...).

Bibliographie

Henry Mathieu, *PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS ET DES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES*, 5ème édition, Dunod,, 2009
Emmanuel ROSENCHER *OPTOÉLECTRONIQUE*, Masson, 1998

Contrôle des connaissances

Note = 80% savoir + 20% savoir-faire
Note de savoir = 100% examen terminal
Note de savoir-faire = 100% examen terminal



ARCHITECTURES EMBARQUÉES ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

EMBEDDED SYSTEMS ARCHITECTURES

Responsable(s): David NAVARRO, Cédric MARCHAND

| Cours : 16.0 | TD : 10.0 | TP : 8.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif de ce cours est de décrire les types de systèmes les plus courants dans les domaines de l'électronique embarquée et d'informatique industrielle (calculateurs). Les cours et TD permettront l'étude de calculateurs légers modernes, l'accent sera porté sur les architectures internes et la programmation de ces systèmes. Les travaux pratiques s'appuieront sur des applications concrètes dans les domaines de l'automobile et la domotique.

Mots-clés : Électronique embarquée, microcontrôleurs, architecture

Programme

- Introduction sur l'électronique analogique, numérique et mixte (alimentations, oscillateurs, monostable, astable, conception de cartes...)
- Architecture des composants configurables : CPLD, FPGA
- Architecture des microcontrôleurs (1)
- Architecture des microcontrôleurs (2)
- Architecture et programmation des microcontrôleurs (3) et des DSP (processeurs spécialisés)
- Architecture des processeurs, des mémoires et leur gestion
- Architecture matérielle et logicielle des réseaux de capteurs sans fil

Compétences

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

C. Tavernier, Dunod, 978-2-10-049978-6, *MICROCONTRÔLEURS PIC - DESCRIPTION ET MISE EN ŒUVRE*

Contrôle des connaissances

Note = 70% savoir + 30% savoir-faire
Note de savoir = 100% examen terminal
Note de savoir-faire = 100% contrôle continu,



ESTIMATION ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION

OPTIMAL FILTERING AND INFORMATION TRANSMISSION

Responsable(s): Eric BLANCO, Julien HUILLERY, Laurent BAKO

| Cours : 12.0 | TD : 18.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'essor des systèmes de communication et de traitement de l'information a entraîné l'émergence de nouveaux services. Cet essor est basé sur une appropriation toujours plus grande par le monde industriel de la théorie de l'information et des méthodes de traitement du signal dont les bases théoriques ont été présentées en Tronc Commun (STI tc2). L'enseignement complète l'exposé des bases et des méthodes du traitement du signal de façon à acquérir une panoplie complète d'outils permettant d'aborder la modélisation, l'analyse et le filtrage des signaux, ainsi que le fonctionnement des canaux de communication. Ces principes se retrouvent dans des applications comme les télécommunications, les capteurs logiciel ou le positionnement GPS.

Mots-clés : Signaux aléatoires, Filtre générateur, Filtre de Wiener, Filtre de Kalman, Théorie de l'information, Entropie d'une source, Capacité d'un canal, Théorèmes du codage

Programme

Partie 1 : Filtrage optimal
1- Signaux aléatoires
2- Filtrage de Wiener
3- Filtrage de Kalman
Partie 2 : Transmission de l'information
1- Éléments de théorie de l'information
2- Sources : entropie et codage
3- Canal : capacité et codage

Compétences

- Modéliser un signal et mettre en forme un processus générateur.
- Concevoir un filtre optimal dans les domaines temporel ou fréquentiel.
- Réaliser un codage de source.
- Calculer les performances limites d'un système de communication.

Travail en autonomie

Objectifs : Réalisation et évaluation d'un système complet de transmission d'information à travers un canal, via la mise en œuvre des étapes de codage/décodage, modulation/démodulation et égalisation du canal.

Méthodes : Définition d'un cahier des charges, modélisation signaux/système, mise en œuvre sous matlab/simulink, mise en place d'un protocole d'évaluation des solutions proposées.

Bibliographie

T. Assefi, *STOCHASTIC PROCESSES AND ESTIMATION THEORY WITH APPLICATIONS*, John Wiley & Sons, 1979
T. Cover, J. Thomas *ELEMENTS OF INFORMATION THEORY*, John Wiley & Sons, 2006
O. Rioul *THÉORIE DE L'INFORMATION ET DU CODAGE*, Hermes Sciences, 2007

Contrôle des connaissances

Note = 70% savoir + 30% savoir-faire
Note de savoir = 80% examen terminal + 20% contrôle continu
Note de savoir-faire = 100% examen terminal



ARCHITECTURES NUMÉRIQUES DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION

DIGITAL ARCHITECTURES FOR COMPUTING AND INFORMATION PROCESSING

Responsable(s): Ian O CONNOR

| Cours : 18 | TD : 10.0 | TP : 8.0 | Autonomie : 12 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : MI

Objectifs de la formation

Ce cours a pour objectif l'étude du fonctionnement matériel d'architectures électroniques numériques pour le calcul et le traitement de l'information. Il présente les composants systématiquement présents dans les architectures numériques : contrôle, chemin de données et mémoire. Il sera question d'analyser en première partie les architectures internes de processeurs et la façon dont elles exécutent les instructions logicielles, et ensuite de comprendre comment (par l'organisation des composants) il est possible d'améliorer les performances du processeur.

Mots-clés : Processeurs, chemin de données, instructions logicielles, mémoires, architectures pipeline, mémoires cache

Programme

Principes des architectures : von Neumann et Harvard (modifié), RISC, CISC.
Construction d'un chemin de données, Contrôle et acheminement des instructions.
Jeux d'instructions, mémoire et types d'adressage.
Évaluation des performances d'une machine de calcul
Accélérateurs de performances : Exécution en pipeline, Mémoires cache

Compétences

- Comprendre le fonctionnement d'un processeur
- Appréhender la programmation matérielle d'un processeur
- Comprendre les enjeux des architectures (taille mémoire, vitesse, consommation énergétique)
- Connaître les techniques d'accélération de performances classiques

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

John L. Hennessy, David A. Patterson, Morgan Kaufman, *COMPUTER ARCHITECTURE: A QUANTITATIVE APPROACH* , 2006
David A. Patterson, John L. Hennessy, Morgan Kaufman *COMPUTER ORGANIZATION AND DESIGN: THE HARDWARE/SOFTWARE INTERFACE* , 2008
David Harris, Sarah Harris *DIGITAL DESIGN AND COMPUTER ARCHITECTURE* , 2007

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire (Note de savoir = examen terminal 2h sans document / Note de savoir-faire = 50 % compte rendu TP1 + 50 % compte rendu TP2).



CAPTEURS INTELLIGENTS COMMUNICANTS : SYSTÈMES D'INTERFACE

COMMUNICANT AND INTELLIGENT SENSORS

Responsable(s): Cédric MARCHAND, David NAVARRO

| Cours : 16.0 | TD : 10.0 | TP : 8.0 | Autonomie : 14.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif de ce cours est de décrire les différents systèmes composant une chaîne d'acquisition électronique (capteurs, circuits de traitement des signaux et données, actionneurs). Le cours s'appuie sur des applications modernes de systèmes de capteurs intelligents, communicants.

Mots-clés : Capteur, chaîne d'acquisition, microcontrôleur

Programme

- 0 - Introduction
- 1 - Capteurs
- 2 - Filtrage
- 3 - Conversion
- 4 - Modulation
- 5 - Microcontrôleurs

Compétences

Travail en autonomie

Objectifs : Appliquer les acquis des séances de cours et TDs à la préparation théorique des séances de TP. Rédaction des rapports finaux.

Méthodes : Exercice fourni avant le TP.

Bibliographie

B.P. Lathi, *MODERN ANALOG AND DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS.*, Oxford university press, 1998
F. Cottet. *TRAITEMENT DU SIGNAL ET ACQUISITION DE DONNÉES*, Dunod, 2009
H. Mathieu, H. Fanet. *PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS ET DES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES*, Dunod, 2009

Contrôle des connaissances

Note = 50 % savoir + 50 % savoir-faire.
Note de savoir = 100% examen terminal
Note de savoir-faire = 100% contrôle continu