



CentraleSupélec

CURSUS INGENIEUR SUPELEC

PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT
Majeures de troisième année

2017-2019

édition de septembre 2017

SOMMAIRE

| | |
|---|------------|
| AVANT PROPOS | 5 |
| DESCRIPTION DU CURSUS INGÉNIEUR | 7 |
| FORME DE L'ENSEIGNEMENT DE TROISIÈME ANNÉE | 11 |
| PROGRAMME DÉTAILLÉ DES MAJEURES | 17 |
| MAJEURES DU DOMAINE « AUTOMATIQUE » | 19 |
| MAJEURES DU DOMAINE « ÉNERGIE » | 39 |
| MAJEURES DU DOMAINE « INFORMATIQUE » | 57 |
| MAJEURES DU DOMAINE « TÉLÉCOMMUNICATIONS » | 91 |
| MAJEURES DU DOMAINE « TRAITEMENT DE SIGNAL ET ÉLECTRONIQUE » | 123 |



AVANT PROPOS



Né des besoins de l'industrie, le cursus ingénieur Supélec se caractérise par son domaine : les sciences de l'information, de l'énergie et des systèmes. Ce domaine concerne des techniques très diverses : automatique, informatique, électrotechnique, électronique de puissance, électronique, conception de composants, techniques de communication. Ces techniques sont évolutives, diffusantes et font appel à des connaissances scientifiques de haut niveau. Elles concourent au développement de tous les secteurs d'activité économique. Elles mettent en jeu des méthodes et des concepts demandant des capacités de rigueur, d'analyse et d'abstraction qui peuvent s'appliquer à d'autres domaines, par exemple au management, à l'économie et à la finance.

Les objectifs de la formation s'en déduisent. Il s'agit d'abord d'atteindre un bon niveau scientifique et technique, de maîtriser les systèmes complexes, de parvenir à une bonne connaissance de l'entreprise, d'exercer les capacités d'abstraction, de conception, d'analyse et de communication et d'acquérir ainsi un premier niveau de compétence. Il s'agit également de développer la créativité, l'esprit d'initiative, le sens critique et le sens de la responsabilité, de favoriser le développement personnel, d'encourager le dynamisme, le professionnalisme, le souci du travail bien fait et de la rigueur. Le goût du travail en équipe, l'ouverture d'esprit, la largeur de vue et la convivialité font également partie des qualités attendues d'un ingénieur Supélec.

La troisième année constitue l'aboutissement de la formation de l'ingénieur Supélec. Cette troisième année consiste en l'approfondissement d'un axe particulier et donne une compétence permettant une insertion rapide et réussie dans le milieu professionnel. Le programme est organisé en modules de cours, de travaux dirigés, d'études et de projets, confiés à de nombreux professeurs, experts dans les thèmes enseignés. L'importance de la connaissance des langues explique la place qui leur est faite, et la pratique des sports est vivement conseillée. Le travail en groupe reste la règle pour les travaux dirigés, les études et les projets. Mais le travail individuel demeure bien entendu à la base de la formation. Les initiatives personnelles sont encouragées. La fin de la troisième année est consacrée à un stage industriel.

Je souhaite que cette année soit profitable à chacun, qu'elle contribue à former des ingénieurs compétents, sachant s'adapter à un contexte technique, économique et humain en constante évolution, ayant toujours comme souci la qualité et l'efficacité, aptes à devenir non seulement des femmes et des hommes libres de la société à venir mais également les entrepreneurs et les décideurs de demain.

Patrick ALDEBERT
Directeur du cursus ingénieur Supélec

PRÉSENTATION DU CURSUS INGÉNIEUR



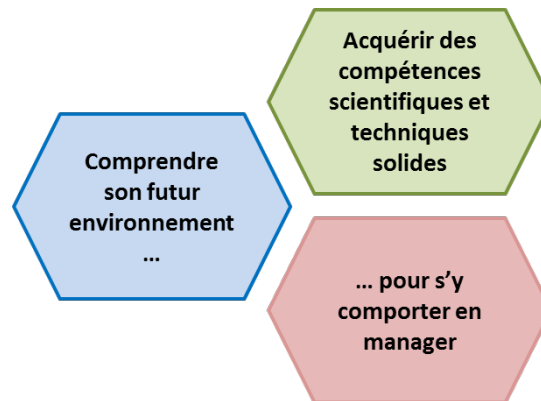
Le cursus conduisant au diplôme d'ingénieur Supélec se déroule en deux phases.

En première et deuxième année, les étudiants suivent un enseignement de type général, ayant pour objet de fournir une base solide de compétences scientifiques, techniques et linguistiques et une connaissance pratique de l'entreprise.

En troisième année, les élèves choisissent d'approfondir l'un des domaines de l'École, ce qui leur permettra une adaptation rapide dans le monde industriel.

COMPÉTENCES ACQUISES PENDANT LE CURSUS

Le cursus conduisant au diplôme d'ingénieur de Supélec vise à développer chez les étudiants un ensemble de compétences qui peuvent être regroupées en trois catégories :



Acquérir des compétences scientifiques et techniques solides

C1. Maîtriser un large champ de sciences fondamentales (mathématiques, physique)

C2. Maîtriser les méthodes génériques de l'ingénieur en vue de résoudre des problèmes non familiers et non complètement définis en tenant compte de contraintes multiples et de différentes natures :

Spécifier, formaliser, modéliser, analyser, identifier, concevoir, réaliser, tester, valider

C3. Maîtriser les fondamentaux associés à l'ensemble des domaines de Supélec :

Automatique, Électronique, Informatique, Génie électrique, Énergie, Traitement du signal, Télécommunications, Électromagnétisme

C4. Être capable d'analyser, de concevoir ou de réaliser des systèmes complexes dans leur globalité

- Facultés d'abstraction, de synthèse et d'analyse
- Sens du concret
- Maîtrise de la dualité système/composant
- Gestion de la complexité (nombre de composants, hétérogénéité, incertain...)
- Gestion de systèmes multi-niveaux, multi-technologies
- Mobilisation de connaissances et de compétences associées à plusieurs domaines (transdisciplinarité)

C5. Être capable de généraliser les méthodes et techniques génériques de l'ingénieur pour les transposer à d'autres champs disciplinaires

C6. Acquérir un niveau d'expertise élevé dans un des domaines privilégiés de Supélec

Comprendre son futur environnement...

C7. Être capable de comprendre et de dialoguer avec les différents acteurs de l'entreprise (économie, gestion, droit, marketing,...)

C8. Être capable de comprendre et de prendre en compte la variété des enjeux de l'entreprise et de la société :

- Enjeux économiques, environnementaux, sociaux, d'éthique, de sécurité...
- Qualité, compétitivité, innovation, exigences commerciales, intelligence économique, propriété industrielle
- Compréhension des besoins et enjeux sociétaux

... Pour s'y comporter en manager

C9. Être capable de s'intégrer dans une organisation, de l'animer et de la faire évoluer :

- Exercice de la responsabilité
- Esprit d'équipe
- Engagement et leadership
- Management de projets et d'équipe
- Communication avec des spécialistes et des non-spécialistes

C10. Être capable de travailler dans un contexte multilingue et multiculturel

- Maîtrise opérationnelle de l'anglais
- Connaissance d'une autre langue vivante
- Expérience à l'international

C11. Être capable de se connaître, de s'évaluer pour construire son projet professionnel et gérer ses compétences en conséquence.

FORME DE L'ENSEIGNEMENT DE TROISIÈME ANNÉE



Le suivi pédagogique des élèves est de la responsabilité du professeur responsable de la majeure ou option, la Direction des Études se réservant un rôle de coordination pédagogique et matérielle de l'ensemble de la troisième année. En conséquence, toute dérogation, toute autorisation particulière doit faire l'objet d'un accord à la fois du professeur responsable de la majeure ou de l'option et de la Direction des Études (Adjoint au Directeur des Études chargé de la 3e année sur le campus de Gif, Délégué à l'enseignement sur les campus de Metz et Rennes).

L'enseignement de troisième année se décompose en deux périodes : une première période académique s'étendant de septembre à mars, suivie du travail de fin d'études (TFE) d'une durée de cinq mois.

ENSEIGNEMENT ACADÉMIQUE

Durant la période académique, les activités proposées aux élèves sont constituées par des cours, des bureaux d'études, des études courtes ou longues, un séminaire et des projets. Globalement, l'enseignement (hors projets, séminaire et langues vivantes) est constitué pour moitié d'un enseignement spécifique de la majeure suivie, pour moitié d'un enseignement complémentaire choisi parmi un ensemble d'unités d'enseignement dites mineures. Ces mineures peuvent être d'approfondissement dans le domaine de la majeure, d'ouverture vers d'autres domaines ou encore orientées métiers ou secteurs d'activités. Un enseignement de langues vivantes complète la formation.

L'option Énergie (ENE) et l'option Mathématiques Appliquées, communes avec le cursus ingénieur Centralien, sont organisées différemment. Elle est constituée d'un ensemble de modules de tronc commun, d'un ensemble de modules de spécialisation (parcours) que l'élève choisit parmi cinq proposés, d'une étude industrielle, de modules d'enseignement électif et de langues, et d'un travail de fin d'études.

Cours spécifiques de la majeure suivie

Cet enseignement, destiné à parfaire les connaissances de l'élève dans le domaine de spécialisation choisi, est dispensé, soit par des enseignants chercheurs dans le cas de cours théoriques, soit par des ingénieurs de l'industrie spécialistes du domaine dans le cas de cours plus techniques.

Cours de mineures

Les élèves ont à choisir six unités d'enseignement de 27 heures chacune parmi celles qui leur sont proposées sur leur campus. Les modalités de ce choix sont précisées lors des séances d'information organisées dès la rentrée de la troisième année.

Certains élèves sont autorisés à préparer une formation universitaire de troisième cycle. Ils sont alors dispensés de certaines unités d'enseignement de mineures et suivent, à la place, des cours issus du programme de cette formation. Pour ces mineures, l'évaluation est effectuée sur la base des notes obtenues à l'Université.

Études et projets

Les études courtes (une à huit séances de 4,5 H selon les études et les majeures), ou longues (projets) accompagnent la formation des élèves. Les études longues sont, pour la plupart, réalisées sous la forme de CEI (Convention d'Étude Industrielle). Les CEI constituent, avec les stages de fin d'études, deux composantes essentielles de la pédagogie de Supélec qui facilitent la transition vers le monde de l'entreprise. Les élèves, organisés en binômes ou trinômes, effectuent un projet de recherche ou de développement sur un sujet proposé à l'École par une entreprise dans le cadre d'une convention de partenariat. Ce projet se déroule sous la responsabilité scientifique et pédagogique d'un enseignant-chercheur. Il fait l'objet d'un mémoire et d'une soutenance.

Séminaires

Les élèves ont à choisir un séminaire parmi ceux qui leur sont proposés. Ce séminaire prend la forme d'un enseignement bloqué sur quatre jours temps plein. Ils consistent la plupart du temps en une mise en situation réelle (études de cas, formation au leadership...).

Langues vivantes

Les élèves de troisième année ont l'obligation de valider deux demi-modules de langues, c'est-à-dire un créneau d'une heure et demie de langues par semaine au cours des séquences 9 et 10.

Dès lors qu'ils satisfont pleinement à l'exigence de niveau B2 en anglais validé par le TOEFL, et du niveau B1 en FLE pour les élèves étrangers, les élèves sont libres de choisir une langue parmi celles des langues enseignées à Supélec.

S'ils n'ont pas le niveau requis, les élèves concernés doivent parfaire leurs connaissances en anglais et/ou en français dans les domaines où subsistent des lacunes. Sur motivation des élèves, la Direction des Études et le Département des Langues & Cultures peuvent proposer des aménagements des enseignements de langues.

EXAMENS

Forme des examens

Les examens et contrôles ont lieu durant la période académique. Ces contrôles peuvent être réalisés de différentes manières : examen oral, examen écrit, exposé... Les conditions (forme des examens, nature des documents éventuellement autorisés, organisation) sont fixées par le professeur responsable de la majeure, de l'option, ou de la mineure. En troisième année, il n'existe pas d'examen complémentaire.

Sauf autorisation explicite figurant sur l'énoncé, l'utilisation d'ordinateurs portables (ou assimilés) est interdite pendant l'examen.

En cas d'utilisation de matériel à « mémoire », aucune carte ou moyen de stockage ne doit être ni retiré, ni ajouté au matériel. De plus, tous moyens de communication avec l'extérieur tels que notamment téléphone portable sont interdits pendant les épreuves.

Notation et évaluation

Chacun des travaux effectués (études, exposés et projets) et des examens est noté de 0 à 20. Les notes obtenues sont regroupées dans trois rubriques et moyennées avec une pondération fixée. Le coefficient de pondération est le nombre de crédits ECTS (cf. système ECTS) attribués à l'activité concernée.

La majeure de troisième année, nommée rubrique Majeure, représente 12 crédits ECTS éventuellement répartis sur plusieurs unités d'enseignement, chaque unité d'enseignement mineures représente 2 crédits ECTS (soit un total de 12 crédits ECTS pour l'ensemble des mineures regroupées dans une rubrique nommée Mineure) et 12 crédits ECTS sont alloués à la rubrique Études et projets.

Les langues vivantes représentent 2 crédits ECTS lorsque l'enseignement est validé. Elles ne donnent pas lieu à notation.

Le séminaire représente également 2 crédits ECTS lorsqu'il est validé et ne donne pas lieu à notation.

Le Travail de fin d'études, qui représente sensiblement un tiers de l'année, correspond à 20 crédits ECTS et donne lieu à notation.

Les options Énergie (ENE) et Mathématiques Appliquées font l'objet d'une grille d'évaluation particulière, remise aux élèves en début d'année scolaire.

Compte tenu des effectifs limités des options de troisième année, l'évaluation est faite dans chacune des cinq premières rubriques en effectuant la correspondance entre la moyenne pondérée des notes obtenues aux travaux et examens dans la rubrique et un niveau noté de A à F :

| Note | Niveau ECTS | Mention équivalente |
|--------------------------|-------------|---------------------|
| Supérieure ou égale à 16 | A | Excellent |
| De 14 à moins de 16 | B | Très bien |
| De 12 à moins de 14 | C | Bien |
| De 10 à moins de 12 | D | Satisfaisant |
| Inférieure à 10 | F | Insuffisant |

Une rubrique indique les niveaux de compétence en langues vivantes sur l'échelle du CECR s'étendant de A1 à C2.

RÈGLES D'ASSIDUITÉ ET DE PARTICIPATION

Absences et participation

Toutes les activités pédagogiques sont obligatoires et font l'objet d'un contrôle de présence. Les règles d'assiduité et de participation sont définies pour chacune des activités.

Toute absence doit être signalée à la Direction des Études par l'élève concerné qui ne doit pas attendre d'être convoqué pour se justifier. C'est pourquoi toute absence dont l'élève n'aura pas donné spontanément le motif (quel qu'il soit) dans la semaine qui suit le début de l'absence ne sera pas excusée. Lorsque l'absence est prévisible, l'élève doit la signaler dès que possible (l'absence due à un entretien pour le stage de fin d'études n'est pas a priori une excuse recevable).

Enseignement de majeure ou option, et de mineure

Comme en première et deuxième année, l'élève de troisième année peut faire l'objet d'une pénalisation pour participation insuffisante, retard ou absence non justifiés aux travaux dirigés, bureaux d'études, séances de mineures, séances d'étude ou de projet.

La pénalité appliquée dépend du nombre d'incidents. Ainsi, la pénalité appliquée pour le nième incident vaut :

$$p_n = 0,2 \times (n-1)$$

Chaque pénalisation est déduite de la note à la matière dans laquelle elle a été infligée.

Langues vivantes

Concernant les langues vivantes, la procédure d'évaluation prend en compte le travail et la participation active au cours.

Les pénalisations dues à des absences non excusées sont les mêmes que celles appliquées en première et deuxième année.

Cas particulier des élèves inscrits à un master de recherche de Supélec

Les élèves désirant mener en parallèle avec leur majeure ou option un Master Recherche ont la possibilité de suivre un enseignement complémentaire dans une spécialité associée à la majeure ou option.

Les modalités de présence, de validation des connaissances et d'obtention du diplôme de Master sont explicitées, lors de la rentrée, par le professeur responsable de la majeure ou option, ou par le professeur responsable du Master.

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES

À partir de la dernière semaine de mars, les élèves de troisième année réalisent un travail de fin d'études d'une durée de cinq mois minimum et dont le résultat intervient de façon décisive dans l'attribution du diplôme.

Ce travail s'effectue en général sous forme d'un stage conventionné dans l'industrie ou dans un laboratoire de recherche. Il s'agit le plus souvent de résoudre un problème réel et concret posé par l'entreprise sur un thème situé dans le cadre du programme de la majeure ou option.

Les propositions provenant des industriels ou résultant d'une démarche du professeur responsable de la majeure ou option sont communiquées dès leur arrivée.

Les élèves peuvent également entreprendre des démarches personnelles. Dans tous les cas, l'élève doit obtenir l'accord du professeur responsable de la majeure ou option sur le sujet du travail de fin d'études. Il est prudent pour l'élève de consulter son professeur avant d'entreprendre une démarche personnelle.

Le suivi de l'élève est assuré par le professeur responsable de la majeure ou par un enseignant désigné par lui. L'élève doit rendre compte périodiquement de son travail ainsi que de toute difficulté qui pourrait survenir.

Ce travail donne lieu à la rédaction d'un mémoire et à une soutenance devant des professeurs de la majeure ou option et des ingénieurs de l'entreprise ayant suivi l'élève. L'ensemble du travail est directement évalué en niveau.

La Direction des Études se réserve le droit d'interdire le stage de fin d'études à un élève dont les résultats académiques sont très insuffisants ; l'absence d'acquisition de compétences suffisantes dans la partie théorique de l'année scolaire ne permettant pas d'effectuer le travail de fin d'études.

La date limite de fin de stage est fonction de la date du Conseil des Admissions et des Diplômes qui se réunit courant septembre et est fixée par la Direction des Études, les conventions de stages ne pouvant dépasser cette date limite.

Durée et période des stages

Les durées des stages sont fixées par la Direction des Études ou par délégation par le responsable de la formation concernée en conformité avec les règlements ou les certifications qualifiant chacun des cursus. La durée d'un stage est fonction du cursus et du niveau dans le cursus. Les stages doivent avoir lieu en dehors des périodes de cours et ne pas interférer avec les activités pédagogiques, y compris les éventuelles convocations aux examens complémentaires, commissions et jurys.

Exceptionnellement, il peut se produire des cas de force majeure (début de stage retardé pour raisons diverses, arrêt maladie en cours de stage...). Dans le cas des stages de 3e année pour le diplôme d'Ingénieur Supélec, la date limite de fin de stage peut être exceptionnellement retardée jusqu'à la fin janvier de l'année civile suivant la fin de la scolarité prévue.

Statut pendant le stage

Pendant le stage, le statut de l'élève peut être divers. Par exemple :

- stagiaire sous convention de stage,
- CDD,
- CDI,
- Volontariat International en Entreprise (VIE),
- stage à l'étranger sous convention spécifique,
- ...

L'élève a pour obligation d'avoir une activité dont le statut et la pratique n'enfreignent aucune loi ou aucun règlement en vigueur en France ou dans le pays où se déroule le stage. En outre, l'activité pratiquée durant le stage ne doit pas porter atteinte à l'image de Supélec.

Protection

Les étudiants ont pour obligation d'être affiliés à la sécurité sociale pendant toute la durée de leurs études. Cette inscription est faite lors de l'inscription de l'étudiant dans son cursus. Par ailleurs, l'étudiant à Supélec est couvert, pendant la durée de ses études, au titre de la protection civile et des accidents du travail. Ces couvertures ne concernent que l'étudiant en stage sur le territoire français métropolitain.

À l'étranger, le bénéfice de la couverture sociale en matière d'assurance maladie n'est conservé qu'à la condition d'effectuer un stage dans l'Union Européenne, l'Espace Économique Européen ou la Suisse et sous réserve que l'élève fasse la demande auprès de la sécurité sociale de la Carte Européenne d'Assurance Maladie (CEAM) avant son départ.

Hors Europe, la couverture ne concerne que les frais médicaux réputés urgents et doivent être réglés dans le pays d'accueil et remboursés sur justificatif lors du retour en France.

Dans tous les cas les frais seront limités par les tarifs forfaitaires français en vigueur.

Attention : Dans certains pays, les frais médicaux sont très élevés. L'élève en déplacement à l'étranger doit, le cas échéant, souscrire un contrat d'assistance complémentaire qui garantit le remboursement des frais médicaux engagés et le rapatriement sanitaire en cas de maladie sérieuse ou d'accident.

Les possibilités de couverture pour accident du travail et maladie professionnelle dépendent du pays, de la valeur de la gratification et de la durée du séjour hors du territoire français. L'étudiant doit se renseigner sur ses possibilités de couverture.

A défaut de l'existence d'une couverture, de la validité des conditions d'application ou de sa bonne mise en place dépendant du versement des cotisations de l'employeur étranger, l'élève effectuant un stage à l'étranger doit souscrire une assurance le couvrant pour les accidents du travail.

Par ailleurs, pour être en conformité avec l'exercice d'un emploi, tout étudiant en stage doit être couvert par une assurance responsabilité civile valable dans le pays dans lequel se déroule le stage. Le cas échéant, l'étudiant en déplacement à l'étranger doit souscrire à une telle assurance.



PROGRAMMES DÉTAILLÉS DES MAJEURES

AUTOMATIQUE

| | | |
|------------|--|----|
| AS | Automatique et Systèmes (campus de Gif) | 20 |
| ISA | Ingénierie des Systèmes Automatisés (campus de Rennes) | 30 |

ÉNERGIE

| | | |
|------------|--------------------------------------|----|
| CE | Conversion d'Énergie (campus de Gif) | 40 |
| ENE | Énergie (campus de Gif) | 48 |

INFORMATIQUE

| | | |
|------------|--|----|
| SI | Systèmes Informatiques (campus de Gif) | 58 |
| SIR | Systèmes Interactifs et Robotique – Parcours Informatique (campus de Metz) | 70 |
| SIS | Systèmes d'Information Sécurisés (campus de Rennes) | 84 |

TÉLÉCOMMUNICATIONS

| | | |
|------------|---|-----|
| EC | Électromagnétisme et Communications (campus de Gif) | 92 |
| SPC | Systèmes Photoniques et de Communication (campus de Metz) | 102 |
| TEL | Télécommunications (campus de Gif) | 114 |

TRAITEMENT DU SIGNAL ET ÉLECTRONIQUE

| | | |
|--------------|--|-----|
| MATIS | Mathématiques Appliquées (campus de Gif) | 124 |
| MNE | Micro et Nano Électronique (campus de Gif) | 126 |
| SERI | Systèmes, Électronique, Réseaux et Images (campus de Rennes) | 132 |
| SIR | Systèmes Interactifs et Robotique – Parcours Signal (campus de Metz) | 140 |



MAJEURES DU DOMAINE « AUTOMATIQUE »

AUTOMATIQUE ET SYSTÈMES (Campus de Gif)

INGÉNIERIE DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS (Campus de Rennes)

Le programme de la Majeure « Automatique et Systèmes » est conçu pour apporter les outils permettant de répondre aux grandes mutations de la société moderne qui requiert la gestion d'une complexité systémique de plus en plus importante conjointement à la prise en compte d'interactions toujours plus fortes avec l'environnement.

Il s'articule autour de cinq modules fondamentaux couvrant les trois aspects clés de la discipline : modélisation, identification et commande. Ainsi, de la modélisation des systèmes dynamiques aux aspects liés à l'estimation et au développement de stratégies de commande robustes, l'enseignement proposé se veut en phase avec les préoccupations et les besoins de tous les secteurs industriels, des plus traditionnels au plus innovants, tels les énergies renouvelables, les réseaux intelligents, les biotechnologies.

L'ensemble de ces modules a pour but de fournir des méthodologies génériques permettant d'appréhender la résolution complète de problèmes industriels complexes. Une attention particulière est portée à l'apprentissage de lois de commande, représentant plus de la moitié du programme proposé, incluant leur implantation sur calculateur embarqué. Un projet en liaison avec l'industrie ainsi qu'un stage en entreprise, effectué par exemple dans des départements de R&D, assurent la mise en œuvre et l'approfondissement des techniques développées.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi la majeure AS auront acquis un niveau d'expertise élevé dans le domaine de l'Automatique et de la science des systèmes et seront capables :

- de choisir une représentation et un degré de complexité selon le but recherché pour le modèle du système (simulation / optimisation / commande...), puis de développer un modèle continu ou numérique d'un procédé à commander,
- d'extraire les informations pertinentes nécessaires à la modélisation et la commande du système parmi les données ou mesures disponibles,
- de maîtriser les outils d'analyse de performance et de robustesse des systèmes continus et discrets,
- d'analyser la problématique induite par un système complexe en termes de structures de commande appropriées, et de sélectionner la structure de commande adaptée à la problématique formulée par le cahier des charges dans un contexte industriel,
- de concevoir des lois de commande numériques et de développer les outils de synthèse appropriés,
- d'implanter en temps réel les lois de commande conçues.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Commande numérique | 15 | 12 | 2 |
| | Commande par variables d'état et robustesse | 19,5 | 10,5 | 3 |
| | Commandes prédictive et non-linéaire | 19,5 | 9 | 2 |
| | Estimation, filtrage et identification | 22,5 | 10,5 | 2,5 |
| | Modélisation analytique, représentation, stabilité des systèmes dynamique | 19,5 | 7,5 | 2,5 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 45 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

COMMANDE NUMÉRIQUE

Ce cours fournit aux élèves, futurs ingénieurs, un ensemble d'outils méthodologiques et pratiques permettant d'aborder la commande numérique des systèmes selon différents aspects. La synthèse des lois de commandes numériques, dans l'objectif d'obtenir un bon comportement dynamique et une bonne précision statique conformément à un cahier des charges fixé a priori, est traité en mettant un accent particulier sur l'utilisation des méthodes polynomiales en z. L'approche par placement des pôles, selon différentes formulations, est privilégiée et des cas particuliers, comme les correcteurs à temps de réponse fini, sont mis en évidence.

L'enseignement méthodologique est complété en abordant l'environnement informatique et la réalisation matérielle des structures de commande temps réel dédiées à la commande des processus. Cette partie du cours traitera les problèmes numériques (représentation des nombres, troncature...) de manière à sensibiliser les élèves, et futurs ingénieurs, aux contraintes de réalisation et donnera un bref aperçu des architectures embarquées.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours les élèves seront capables :

- de développer le modèle numérique d'un procédé à commander
- de maîtriser les outils d'analyse des systèmes discrets
- de choisir les propriétés d'une chaîne d'asservissement numérique au regard d'un cahier des charges défini a priori.
- de concevoir des lois de commande numériques et de développer les outils de synthèse de régulateurs numériques
- d'implanter en temps réel les lois de commande conçues

PROGRAMME

Rappels et compléments sur les systèmes discrets

Représentation des systèmes discrets, relation entre les plans complexes associés aux systèmes à temps continu et discret. Modélisation : architecture à boucles imbriquées, mono et multicadence. Analyse des systèmes discrets : stabilité, réponse fréquentielle, transformation en w et applications, comportement en régime transitoire, influence de l'implantation polaire. Analyse des systèmes bouclés : stabilité (critères géométriques, stabilité interne), précision.

Transposition de correcteurs à temps continu

Rappel sur les différentes méthodes de discrétisations de correcteurs à temps continu. Analyse des distorsions induites (approche fréquentielle), critères de choix.

Synthèse

Synthèse des correcteurs par placement des pôles en boucle fermée suivant une architecture RST : principe, retour sur la stabilité interne, analyse des différentes compensations, choix des dynamiques vis à vis de la consigne et des perturbations, prise en compte des entrées d'ordre quelconque (équation diophantienne auxiliaire), résolution de l'équation de Diophante, étude de certains cas (temps de réponse fini, perturbations ou consignes sinusoïdales). Effet de la quantification, implémentation sous forme numérique, choix de la période d'échantillonnage.

Réalisation temps réel des structures de commande

Panorama de systèmes temps réel embarqués. Prototypage rapide, hardware in the loop.

Intervention industrielle

Conception d'équipements de communications numériques



PROFESSEURS

Emmanuel GODOY

Jean-Denis PIQUES

Pedro RODRIGUEZ-AYERBE

Gif - Majeure AS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/12 h TD

Le cours oral est complété par deux séances d'études de laboratoire.

Certaines séances de travaux dirigés font appel à l'utilisation d'un logiciel de calcul et de simulation afin de se familiariser avec les outils de l'ingénieur.

Quatre TD sont regroupés sous la forme de bureaux d'étude en vue de proposer un problème complet et permettant à l'élève de se familiariser avec les outils de calcul et de simulation.



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

AS-CN



BIBLIOGRAPHIE

Åström K.J. et Wittenmark, B., "Computer Controlled Systems. Theory and Design" (3rd ed.), Prentice-Hall, 1997.

De Larminat Ph., "Automatique : commande des systèmes linéaires", Hermès, 1993.

Franklin G.F., Powell J.D., et Workman M.L., "Digital Control of Dynamic Systems" (3rd ed.), Addison-Wesley, 1998.

Jacquot R.G., "Modern Digital Control Systems" (2nd ed.), Dekker Marcel, 1995.

Godoy E., et Ostertag E., "Commande numérique des systèmes, approches polynomiale et fréquentielle", Ellipses, 2003.

COMMANDE PAR VARIABLES D'ÉTAT ET ROBUSTESSE

Ce cours a pour but de présenter et appliquer des méthodes de calcul de lois de commande à partir d'une représentation d'état. Après les méthodes générales de commande optimale, on aborde les approches traditionnelles de commande des systèmes linéaires par retour d'état et observateur puis les méthodes plus récentes basées sur la norme H-infini en terminant par une ouverture sur l'extension de ces méthodes à la commande des systèmes non linéaires ou linéaires à paramètres variant.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'exprimer les conditions à satisfaire pour résoudre un problème de commande optimale,
- de calculer une commande par retour d'état et observateur et une commande H-infini pour un système linéaire en fonction des objectifs d'un cahier des charges,
- de mettre en place un schéma de séquençement pour un système non linéaire ou dont le comportement varie dans le temps.

PROGRAMME

Rappels sur la représentation d'état des systèmes linéaires

Équation d'état, résolution. Commandabilité, observabilité. Formes canoniques pour la commande, pour l'observation.

Commande optimale

Programmation dynamique de Bellman. Principe du maximum de Pontryaguine. Cas des systèmes à temps discret, à temps continu. Commande en temps minimal, commande linéaire-quadratique à horizon fini.

Commande par retour d'état

Commande modale multivariable, méthodes de calcul de la matrice de contre-réaction, cas du retour d'état partiel. Commande linéaire-quadratique (cas invariant à horizon infini) : conditions de convergence, choix des matrices de pondération, marges de stabilité (cas monovariable).

Mise en œuvre des commandes par retour d'état

Consignes et perturbations constantes. Commande à action intégrale. Prise en compte de modèles générateurs (déterministes ou stochastiques) des consignes et des perturbations, équations d'occultation de la partie non commandable.

Commande par retour d'état et observateur

Rappel sur la reconstruction d'état, lien avec le filtrage de Kalman, observateurs d'ordre réduit, méthodes de calcul du gain de l'observateur. Propriétés du système bouclé, intérêt et limites des théorèmes de séparation. Prise en compte des consignes et des perturbations. Correcteur équivalent, marges de stabilité (cas monovariable). Synthèse avec effet LTR.

Synthèse H-infini

Rappel sur la norme H-infini. Utilisation pour la traduction d'objectifs de performance et de robustesse. Problème H-infini standard, méthodes de résolution. Mise en place du problème de synthèse : structure de commande et choix des filtres de pondération. Approche de la synthèse robuste par mu-synthèse.

Commande à séquençement de gains

Commande de systèmes non linéaires ou linéaires à paramètres variant par interpolation de correcteurs sous forme observateur/retour d'état. Utilisation de la paramétrisation de Youla. Synthèse d'un correcteur LPV par LMI.

Intervention industrielle

Stabilisation robuste de ligne de visée.



PROFESSEURS

Gilles DUC

Philippe FEYEL

Gif - Majeure AS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

19,5 h cours/10,5 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

3 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

AS-CVER



BIBLIOGRAPHIE

Anderson B.D.O. et Moore J.B., "Linear Optimal Control", Ed. Prentice-Hall, 1990.

Kwakernaak H. et Sivan R., "Linear optimal control systems", Ed. Wiley, 1972.

Kailath T., "Linear Systems", Ed. Prentice Hall, 1980.

Friedland B., "Control System Design", Ed. Mc Graw-Hill, 1986.

de Larminat Ph., "Commande des Systèmes Linéaires", Ed. Hermès, 1993.

Duc G. et Font S., "Commande H-infini et mu-analyse, des outils pour la robustesse", Ed. Hermès, 1999.

Mackenroth U., "Robust control systems: theory and case studies", Ed. Springer, 2004.

Zhou K., Doyle J.C. et Glover K., "Robust and Optimal Control", Ed. Prentice-Hall, 1996.

COMMANDES PRÉDICTIVE ET NON-LINÉAIRE

La partie "commande prédictive" a pour objectif de présenter les idées de base de la stratégie prédictive. Dans le cas général non-linéaire sous contraintes, les méthodes d'optimisation sous contraintes permettant l'élaboration de la loi de commande sont plus spécifiquement analysées en termes de faisabilité et de charge de calcul temps réel. Dans le cas particulier linéaire sans contrainte, aboutissant à l'élaboration du régulateur sous une forme RST équivalente, deux méthodes (GPC et PFC) sont plus spécialement développées et comparées, sous l'aspect performances et choix des paramètres de réglage. Des extensions à une structure cascade sont envisagées.

La partie "commande non-linéaire" a pour objectif d'introduire des outils d'étude de stabilité des systèmes non-linéaires et de fournir des méthodes de commande non-linéaires, en particulier les techniques basées sur la commande à relais et par modes glissants. Les méthodologies présentées font appel aussi bien aux représentations temporelles que fréquentielles.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de formuler les conditions nécessaires à la résolution d'un problème de commande prédictive et non linéaire,
- d'élaborer une loi de commande prédictive pour un système linéaire sans contrainte sous formalisme entrée/sortie ou d'état de façon à satisfaire un cahier des charges donné,
- de mettre en œuvre le problème d'optimisation temps réel induit par la stratégie de commande prédictive sous contraintes,
- d'analyser la problématique induite par les systèmes complexes en termes de structures de commande distribuées,
- d'élaborer une structure de commande non linéaire par une approche de type géométrique et par mode glissant,
- de sélectionner la structure de commande adaptée à la problématique formulée par le cahier des charges dans un contexte industriel.

PROGRAMME

A. COMMANDE PRÉDICTIVE

Principe de la commande prédictive

Effet anticipatif. Modèle de prédiction. Minimisation d'une fonction de coût sur un horizon fini. Principe de l'horizon fuyant.

Commande prédictive sous contraintes

Problème d'optimisation sous contraintes. Méthodes de résolution numérique. Charge de calcul temps réel. Faisabilité de la solution.

Mise en œuvre de la Commande Prédictive Généralisée et de la Commande Prédictive Fonctionnelle

Synthèse du régulateur. Choix des paramètres de réglage. Application à la commande de systèmes électromécaniques. Extension : Structure cascade, sous contraintes terminales. Comparaison GPC/PFC sur un système à structure flexible.

Intervention industrielle

Implantations industrielles de la commande prédictive : distillation et cuisson de porcelaine.

B. COMMANDE NON LINÉAIRE

Méthode du 1er harmonique

Classes de non-linéarités "candidates". Gain complexe équivalent : régimes



PROFESSEURS

Thierry BEAUSSE

Didier DUMUR

Pedro RODRIGUEZ

Gif - Majeure AS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

19,5 h cours/9 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit, une synthèse d'articles



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

AS-CPNL



BIBLIOGRAPHIE

Bitmead, R.R., Gevers, M. et Wertz, V., "Adaptive Optimal Control". The Thinking Man's GPC, Prentice Hall International, Systems and Control Engineering, 1990

Boucher, P., et Dumur, D., "La Commande Prédictive", Éditions Technip, Paris, 1996

Richalet, J., "Pratique de la Commande Prédictive", Hermès, 1993

Gille J.C., Decaulne P. et Pelegrin M., "Méthodes d'étude des systèmes asservis non linéaires", Dunod, 1975.

Atherton D.P., "Nonlinear Control Engineering. Describing Function Analysis and Design", Van Nostrand Reinhold Company, 1975

Utkin V.I., "Sliding modes and their application to variable structure systems", MIR Publishers, 1978.

symétriques et non-symétriques. Etude de la stabilité : régimes symétriques et non-symétriques. Régimes harmoniques forcés. Systèmes à relais.

Commande par modes glissants

Principes physiques, surface de glissement. Dynamique équivalente.

Régulation et poursuite de trajectoire. Analyse de la robustesse.

Implémentation de la loi de commande.

ESTIMATION, FILTRAGE ET IDENTIFICATION

Le cours "estimation et filtrage optimal" a pour but de présenter des outils permettant l'analyse et la synthèse de systèmes soumis à des excitations aléatoires. Les résultats présentés permettent de résoudre divers problèmes d'estimation, en particulier celui rencontré dans la commande d'un système perturbé.

Le cours "identification" aborde différents aspects concernant l'obtention d'un modèle de processus par observation de ses signaux d'entrée et de sortie.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de construire un modèle dynamique pour un processus aléatoire,
- de concevoir un filtre optimal permettant d'exploiter un modèle et des mesures pour estimer des grandeurs non mesurées.
- de concevoir une expérience pertinente afin d'identifier un processus dynamique,
- de déterminer un modèle linéaire à partir de données expérimentales recueillies sur un système perturbé,
- d'analyser la pertinence du modèle obtenu.

PROGRAMME

A. ESTIMATION ET FILTRAGE OPTIMAL

Rappels

Caractères énergétiques des signaux. Espace des signaux. Éléments de factorisation spectrale. Opérateur de Slansky. Principe de projection.

Théorie de Wiener

Filtrage linéaire, linéaire causal (discret, continu). Applications à la prédiction, à la détection.

Représentation d'état des processus aléatoires à temps continu et discret

Forme classique des modèles. Cas linéaire : évolution de la moyenne, évolution de la variance.

Théorie de Kalman

Filtre de Kalman discret. Filtrage d'un processus continu à observations discrètes. Filtre continu. Filtre de Kalman asymptotique et comparaison avec le filtre de Wiener.

Généralisation du filtre de Kalman

Prises en compte de termes connus. Bruits d'état et de mesure corrélés. Mesures non bruitées. Bruits colorés. Modèles non linéaires : Filtre de Kalman étendu (temps continu).

Intervention industrielle

Application du filtrage de Kalman au guidage.

B. IDENTIFICATION

Généralités sur l'identification d'un processus générateur, d'un système (linéaire)

Généralités objet/Modèle. Modèles candidats : modèles à erreur de sortie, à erreur d'équation (AR, MA, ARMA... ARX, ARMAX, OE...).

Protocole expérimental : choix d'un signal analyse, utilisation de SBPA, précautions opératoires, Prétraitement de données.

Identification non paramétrique de modèle linéaire

Traitement par corrélation. Application à la détermination d'une réponse impulsionnelle à l'aide d'une SBPA.

Analyse harmonique : utilisation de la TF, de l'estimation des dsp. Influence du bouclage.



PROFESSEURS

Dominique BEAUVOIS

Stéphane LE MENEZ

Gif - Majeure AS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

22,5 h cours/10,5 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit, examen oral



ECTS

2,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

AS-EFI



BIBLIOGRAPHIE

Hwang P. YC. et Brown R. G., "Introduction to random signals and applied Kalman Filtering", John Wiley and sons, 1992

Poor H. V., "An introduction to signal detection and estimation", Springer Verlag, 1994

Soderstrom T. et Stoica, P., "System Identification", Prentice Hall, 1989

Ljung L., "System Identification-theory for the user", 2nd ed, PTR Prentice Hall, 1999

Identification paramétrique de modèle linéaire

Principes. Distance objet/modèle. Méthode du maximum de vraisemblance, Méthode à erreur de prédiction (Prédicteur à passé infini, principe). Cas des modèles ARX, ARMAX.

Cas général : Méthode à erreur de prédiction, analyse asymptotique, recherche itérative, calcul de gradients.

Régression linéaire : Méthode des moindres carrés. Analyse asymptotique, mise en œuvre QR, moindres carrés récursifs.

Méthode de la variable instrumentale.

Variantes des moindres carrés : Moindres carrés étendus, moindres carrés généralisés.

Recherche et validation d'une structure. Analyse des résidus.

MODÉLISATION ANALYTIQUE, REPRÉSENTATION, STABILITÉ DES SYSTÈMES DYNAMIQUES

Ce module aborde différents concepts permettant la modélisation, la simulation et l'analyse des systèmes. Les opérateurs mathématiques utilisés en automatique pour modéliser les processus sont étudiés. Un accent est porté sur la gestion numérique des systèmes complexes et des systèmes de grande dimension, notamment pour la simulation des systèmes. Enfin, les techniques d'analyse de stabilité évoluées sont présentées parmi lesquelles la mu-analyse.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'utiliser les différentes formes de représentation d'un système (état / transfert / équations différentielles), et les techniques de passage d'une représentation à l'autre,
- de gérer la complexité des modèles utilisés, notamment via les techniques de réduction de modèles,
- de choisir une représentation et un degré de complexité selon le but recherché pour le modèle du système (simulation / optimisation / commande...),
- d'étudier la commandabilité et l'observabilité d'un système multivariable d'un point de vue théorique, et de faire le lien avec les problèmes pratiques de « presque commandabilité » et « presque observabilité » dans le calcul et l'implantation des lois de commande et d'observation,
- de calculer les pôles et zéros multivariables d'un système en liaison avec les notions de commandabilité et d'observabilité,
- de modéliser les incertitudes (paramètres incertains, dynamique négligées) d'un système,
- d'étudier la robustesse d'une loi de commande vis-à-vis d'incertitudes paramétriques et de dynamiques négligées, tant du point de vue de la stabilité que de la garantie de performances,
- de comprendre, détecter et anticiper les problèmes numériques dans les simulations des systèmes,
- de valider les résultats d'une simulation via la notion d'invariant de la simulation.

PROGRAMME

A. MODÉLISATION ANALYTIQUE DES SYSTÈMES

Modélisation par des systèmes avancés. Concepts avancés

Rappels (commandabilité, observabilité, stabilisabilité, détectabilité, forme de Kalman). Variété et équivalence des représentations. Pôles et zéros dans le cas multivariables (définition, propriétés, obtention).

Rappels sur la représentation par matrices de transfert. Lieux caractéristiques et valeurs singulières d'une matrice de transfert. Norme de signaux et systèmes (norme H2, norme H[∞], norme de Hankel). Sens physique. Notion de distance entre deux systèmes.

Paramétrisation de Youla

Définition. Paramétrisation de tous les correcteurs stabilisants un système. Mise sous forme retour d'état / observateur / paramètre de Youla d'un correcteur donné.

B. ANALYSE DE STABILITÉ DES È, ROBUSTESSE ET MU-ANALYSE

Analyse de stabilité par la méthode de Lyapunov

Définition des différentes notions de stabilité. Points d'équilibre. Méthodes de Lyapunov. Théorème d'invariance de La Salle. Approche entrée/sortie, méthodes de Popov, critère du cercle. Méthodes du plan de phase.



PROFESSEURS

Gilles DUC

Guillaume SANDOU

Gif - Majeure AS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

19,5 h cours/7,5 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

AS-MARSD



BIBLIOGRAPHIE

Zhou K., Doyle J., Glover, K., "Robust and Optimal Control", Prentice Hall, 1996.

Maciejowski J.M., "Multivariable Feedback Design", Addison Wesley, 19

Duc G., Font, S., "Commande-infini et mu-analyse, des outils pour la robustesse", Ed. Hermès, 1999

Isidori A., "Nonlinear control systems", Springer Verlag, 1995

Analyse de robustesse, représentation des incertitudes, mu-analyse

Généralisations du critère de Nyquist, principaux transferts (fonctions de sensibilité). Objectifs de synthèse.

Notions d'incertitudes de modèle. Analyse non structurée : théorème du petit gain. Application à une dynamique négligée. Application au calcul de marges de gain et de phases multivariées.

Représentation par LFT. Analyse structurée : valeur singulière structurée, robustesse de différents critères (stabilité, position des pôles, réponse fréquentielle, marge de stabilité).

C. SIMULATION NUMERIQUE DES SYSTEMES

Réduction de modèle

Gestion de la complexité d'un modèle : Réduction de modèles (troncature équilibrée, agrégation de variable d'état, réduction au sens de la norme de Hankel). Système à plusieurs échelles de temps. Perturbation singulière.

Mise en oeuvre de la simulation

Calcul sur les représentations d'état. Définition des opérations élémentaires, minimalité des expressions. Étude de cas : propriétés numériques.

Méthodologie : Représentation graphique des équations différentielles explicites en l'état. Méthodes de simulation (choix de méthodes, choix des paramètres). Validation de résultats (contrôle d'invariants). Cas de problèmes intrinsèquement difficiles. (systèmes non attractifs, systèmes chaotiques). Étude de cas : système présentant des non linéarités dures, système à plusieurs échelles de temps.

De l'automatique au contrôle-commande

Les exigences sociétales et environnementales imposent de concevoir des systèmes qui interagissent entre eux et avec leur milieu afin d'apporter des solutions à des problèmes toujours plus variés et plus complexes. Ainsi dans l'automobile par exemple, si le défi était hier de concevoir des régulateurs de vitesse, il est aujourd'hui de développer des aides à la conduite sécurisée qui évitent les collisions et de concevoir celles qui demain autoriseront le déplacement de véhicules autonomes et leur insertion dans des convois aux itinéraires optimisés.

Ces évolutions exigent de ceux qui conçoivent le contrôle-commande de ces systèmes qu'ils maîtrisent les algorithmes de commande mais également les concepts de structuration et spécification comportementales afin de garantir la performance et la sûreté des systèmes dans toutes leurs phases de vie et toutes leurs conditions d'exploitation.

Par une approche généraliste et pragmatique, assise sur des apports méthodologiques et théoriques solides, et adaptée à divers domaines d'application (transport, énergie, bâtiments, santé, industrie, ...) les enseignements de la majeure ISA apportent les compétences nécessaires à l'analyse et au développement des systèmes de contrôle-commande du XXI^e siècle.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure ISA seront capables :

- d'analyser et formaliser les exigences portant sur le système de contrôle-commande par la compréhension du système à commander, de ses interactions avec l'environnement et des attentes des usagers,
- de proposer des solutions algorithmiques de commande intégrées dans des applications de contrôle-commande complètement et rigoureusement spécifiées,
- d'analyser et garantir les performances et la sûreté des solutions proposées,
- de maîtriser différents outils nécessaires au développement et la validation des applications (modélisation dynamique, calcul et simulation, spécifications et vérification, implantation)

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Commande des systèmes linéaires | 12 | 9 | 2 |
| | Systèmes échantillonnés, systèmes non linéaires | 21 | 9 | 2 |
| | Modélisation et identification | 12 | 3 | 2 |
| | Spécification et systèmes à événements discrets | 18 | 15 | 2 |
| | Systèmes temps réel à logiciel prépondérant | 15 | 6 | 2 |
| | Sûreté de fonctionnement | 15 | 3 | 2 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 81 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

Certains cours de la majeure sont communs avec le programme joint Supélec Xi'An JiaoTong University sur les smart grids et sont délivrés en anglais.

COMMANDE DES SYSTÈMES LINÉAIRES

La conception de stratégies évoluées de commande de systèmes fait appel dans la plupart des cas à des théories utilisant l'approche d'état linéaire. Ce formalisme permet des développements nombreux. Les lois de commande obtenues sont génériques et applicables dans un très grand nombre de secteurs en particulier industriels.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les étudiants maîtriseront la commande par approche d'état linéaire et seront capables :

- de mettre en œuvre les méthodes de commande de systèmes linéaires (commande modale, commande optimale, commande optimale quadratique),
- de mettre en œuvre un reconstruteur d'état pour les implanter,
- d'analyser la robustesse du schéma de contrôle ainsi conçu

PROGRAMME

Rappels sur la représentation d'état des systèmes linéaires

Commandabilité, observabilité. Formes canoniques pour la commande, pour l'observation.

Commande optimale

Programmation dynamique et principe de Bellman. Rappels sur l'optimisation sous contraintes. Calcul des variations. Principe du minimum de Pontryagin. Cas des systèmes à temps discret, à temps continu. Commande linéaire-quadratique à horizon fini.

Commande par retour d'état

Commande modale. Commande linéaire-quadratique (cas stationnaire à horizon infini). Propriétés de la commande LQ. Commande par retour d'état avec observateurs, principe de séparation. Mise en œuvre : prise en compte de modèles générateurs des consignes et des perturbations, équations d'occultation de la partie non commandable, choix des matrices de pondération.

Introduction à l'analyse fréquentielle des systèmes multivariables

Valeurs singulières. Transferts de boucle et fonctions de sensibilité. Stabilité robuste.



PROFESSEURS

Romain BOURDAIS

Rennes - Majeure ISA - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ISA-CSL



BIBLIOGRAPHIE

Kailath T., "Linear Systems", Prentice Hall, 1980.

Lewis F., "Optimal control", Wiley, 1986

de Larminat P., "Automatique appliquée", Ed. Hermès, 2009

Anderson B., Moore J., "Optimal control", Prentice Hall, 1990.

MODÉLISATION ET IDENTIFICATION

La conception de modèles de systèmes dynamiques à partir du traitement des signaux expérimentaux d'entrée et de sortie est une phase importante lorsqu'on veut concevoir des systèmes de surveillance ou de commande de processus. Ce cours présente les méthodes usuelles de modélisation paramétriques appliquées aux systèmes ou aux signaux : méthodes du modèle, inversion de modèles, variantes des moindres carrés.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'identifier un modèle de système dynamique à partir de données expérimentales,
- de mettre en œuvre une méthodologie d'identification incluant le choix des conditions d'expérimentation, celui des modèles et des méthodes adéquates, et l'analyse de la cohérence des résultats obtenus en vue de la validation des modèles.

PROGRAMME

Aspects généraux de l'identification

Notion d'objet et de modèle, erreur objet-modèle, modèles de prédiction. Identification et estimation paramétrique, classification des méthodes. Conditions expérimentales : signaux d'entrée, influence du bouclage.

Méthodes graphiques, corrélation et analyse spectrale (rappels)

Analyses harmonique et indicielle directes et leur exploitation. Traitement des données par corrélation. Estimation d'une densité spectrale de puissance.

Méthodes paramétriques

Méthodes des moindres carrés : principe, analyse du biais et de la variance. Application directe : modèle par équation aux différences, ou séquence de pondération. Recherche de l'ordre. Formulation récurrente. Méthode des moindres carrés généralisés. Méthode de la variable instrumentale. Méthode du modèle : principe. Méthodes des sous-espaces. Application des techniques de programmation non-linéaire. Modèles de sensibilité. Mise en œuvre temps réel.



PROFESSEURS

Marie-Anne LEFEBVRE

Rennes - Majeure ISA - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/3 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ISA-MODI



BIBLIOGRAPHIE

Karnopp D.C., Margolis D.L., Rosenberg R.C., "System Dynamics. A unified approach", Wiley, 2nd edition, 1994, 0-471-62171-4

Soderstrom T., Stoica P., "System Identification", Prentice Hall, 1989, 0-13-881236-5

Ljung L. "System Identification: Theory for the User", Prentice Hall, 2nd edition, 1999, 978-0-13-656695-3

Walter E., Pronzato L. "Identification of Parametric Models" ; Springer, 1994, 2-225-84407-0

Isermann R., Munchhof M., Identification of Dynamic Systems, Springer, 2011, 978-3-540-78878-2

SPÉCIFICATION ET SYSTÈMES À ÉVÈNEMENTS DISCRETS

La spécification d'un système est une phase essentielle de son développement et vient à la suite de l'expression du besoin. Elle correspond au processus d'abstraction qui consiste à représenter les aspects essentiels d'un système, sous forme simplifiée avant d'en donner les détails en phase de conception.

Les spécifications comportementales sont au cœur des préoccupations des automaticiens. Pour les systèmes dont l'état évolue non continument sur occurrence d'événements, ces spécifications requièrent des langages et des représentations permettant d'assurer leur non-ambiguïté et des méthodes d'analyse permettant de garantir leur correction.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de mettre en œuvre les méthodes de spécification des systèmes complexes, en particulier temps réel, tels que les systèmes de commande :
- de formaliser le comportement des systèmes à événements discrets,
- d'analyser le comportement de ces systèmes pour garantir leur propriété,
- de comprendre des spécifications comportementales formalisées à l'aide de langages formels.

PROGRAMME

Généralités

Modélisation des systèmes complexes. Structuration. Aspects fonctionnels, comportementaux et structurels. Spécifications temps réel. Besoins de modélisation comportementale.

Approches fonctionnelles

Analyse structurée : diagrammes de flux de données et méthode SA/RT.

Approches objets

Le langage SysML : utilisation des différents diagrammes dans un contexte de développement de systèmes hétérogènes dans une démarche d'ingénierie système.

Systèmes à événements discrets

Modélisation des systèmes à événements discrets : réseaux de Petri, automates. Analyse et vérification de propriétés. Commande supervisée.

Formalismes de spécification comportementaux

Besoins de structuration et de composition, Grafcet, Statecharts.

Les langages synchrones

Paradigme synchrone pour la spécification, approche impérative (Esterel, Safe State Machine), approche flot de données (Lustre).



PROFESSEURS

Hervé GUÉGUEN

Nabil SADOU

Rennes - Majeure ISA - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/15 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ISA-SSEVD



BIBLIOGRAPHIE

C. Cassandras and S. Lafortune, "Introduction to Discrete Event Systems", Kluwer Academic Publisher.

Hassan Gomaa, "Software Design Methods for Concurrent and Real-Time Systems", Ed. Addison-Wesley.

B.P. Douglass, "Real-Time UML: Developing Efficient Objects for Embedded Systems", Ed. Addison-Wesley.

R David et H Alla, "Du Grafcet au Réseaux de Petri", Hermes.

SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

La sécurité des installations, vis à vis des opérateurs, de la population ou de l'environnement, est une préoccupation majeure des industriels et des pouvoirs publics. Les systèmes de contrôle commande sont totalement impliqués en tant que moyens permettant de réduire les risques. Les ingénieurs doivent connaître les concepts fondamentaux associés et les moyens technologiques correspondant, réunis au sein de la sûreté de fonctionnement.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de maîtriser les concepts de base de la sûreté de fonctionnement,
- d'appliquer les démarches d'analyse de risques et d'évaluation de la fiabilité ou de la disponibilité, pour concevoir des systèmes satisfaisant des contraintes de sécurité mais aussi de maintien de sûreté de fonctionnement des installations.

PROGRAMME

Concepts principaux de la sûreté de fonctionnement

Service, système opérationnel ou défaillant, défaillance, réparation ; trilogie faute-erreur-défaillance ; fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité-innocuité, sécurité-confidentialité, sécurité-intégrité ; prévention, tolérance et élimination des fautes ; systèmes critiques ; l'analyse des risques.

L'analyse de la sûreté de fonctionnement

Métriques, analyse par simulation, méthodes numériques ou méthodes analytiques ; systèmes multi-composants ; modèles statiques et dynamiques.

Modèles statiques en sûreté de fonctionnement

Diagrammes de fiabilité et arbres de défaillance ; structures série-parallèle et modules de type k-sur-n ; méthode de factorisation pour modèles quelconques ; Monte Carlo.

Modèles dynamiques en sûreté de fonctionnement

Systèmes non réparables : durée moyenne de vie, fiabilité à l'instant t ; taux de défaillance ; systèmes multi-composants ; principales lois des durées de vie. Systèmes réparables : disponibilité (ponctuelle, sur un intervalle, asymptotique) ; modèles Markoviens et semi-Markoviens. Méthodes de Monte Carlo sur modèles dynamiques.

Concepts et méthodes complémentaires

Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticités) AMDE(C) ; fiabilité des logiciels : croissance de la fiabilité du logiciel, et modèles pour l'évaluation de cette fiabilité ; l'analyse des risques.

Fonctions Instrumentées de sécurité

Risques industriels / retour d'expérience. Sûreté de fonctionnement des systèmes de contrôle commande. Maîtrise des risques par les normes NF EN 61508 et NF EN 61511. Détermination des Fonctions Instrumentées de Sécurité et de leurs niveaux de SIL (Safety Integrity Level). Conception du Système Instrumenté de Sécurité (SIS).

Logiciel, tolérance aux fautes des systèmes informatiques

Tolérance aux fautes matérielles ou logicielles, redondance, sûreté des systèmes de commande, systèmes critiques.



PROFESSEURS

Sylvain CADIC
Gerardo RUBINO
Éric TOTEL

Rennes - Majeure ISA - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/3 h TD

Cours standard avec exercices réalisés en classe, et examen.



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Des exercices écrits et un QCM



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ISA-SURF



BIBLIOGRAPHIE

Villemeur, "Sûreté de fonctionnement des Systèmes industriels", Ed. Eyrolles, 1997 (also available in English, "Reliability, Availability, Maintainability, and Safety Assessment", Wiley, 1992)

J.-C. Laprie, "Guide de la sûreté de fonctionnement", Ed. Cépaduès, 1995

Jean-Louis Bon, "Fiabilité des systèmes", Ed. Masson, 1995

O. Gaudoin et J. Ledoux, "Modélisation aléatoire de la fiabilité des logiciels", Ed. Hermès, 2007

N. Limnios, "Arbres de défaillance", Ed. Hermès Sciences publication, 2005

B. Tuffin, "La simulation de Monte Carlo", Ed. Hermès, 2010.

SYSTÈMES ÉCHANTILLONNÉS, SYSTÈMES NON-LINÉAIRES

Ce cours vient en complément des enseignements d'automatique linéaire. Dans un premier volet, il aborde les principaux aspects non linéaires rencontrés dans de nombreuses applications et fournit des outils pour les prendre en compte dans l'analyse des comportements. Dans un second volet, il traite l'importante question de l'échantillonnage dans le cadre de la commande à temps discret et introduit les grands principes de la commande prédictive.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'analyser les phénomènes dynamiques fréquemment observés dans les systèmes non-linéaires, et que les hypothèses linéaires classiques ne suffisent pas à expliquer
- de mettre en œuvre les outils nécessaires pour commander les systèmes avec des approches à temps discret,
- de mettre en œuvre des lois de commande issues d'une approche prédictive.

PROGRAMME

Généralités sur les systèmes non-linéaires

Limites de la linéarité. Phénomènes spécifiquement non-linéaires. Classification et modélisation des non-linéarités. Grandes classes de méthodes d'analyse. Stabilité des systèmes non-linéaires.

Méthode de l'approximation du premier harmonique

Notion de gain équivalent. Stabilité des oscillations. Etude en régime libre, en régime forcé, en régime dissymétrique.

Description dans le plan de phase

Asservissements à relais

Analyse pas à pas. Méthode de Cypkin. Réaction tachymétrique. Linéarisation des relais par balayage.

Stabilité des systèmes non linéaires

Méthodes de Lyapunov.

Systèmes à temps discret

Propriétés des systèmes à temps discret, Stabilité, Critère de Jury, Commande numérique, Régulateur RST.

Commande prédictive

Principes de la commande prédictive : modèle de prédiction, minimisation d'une fonction de coût quadratique à horizon fini, principe de l'horizon glissant. Cas particulier de la Commande Prédictive Généralisée, synthèse du régulateur polynomial RST équivalent. Choix des paramètres de réglage, compromis stabilité, performances, robustesse.



PROFESSEURS

Romain BOURDAIS
Pierre-Yves RICHARD

Rennes - Majeure ISA - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/9 h BE

Cours dispensé en anglais



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ISA-SESL



BIBLIOGRAPHIE

Isidori A., "Nonlinear Control Systems", Springer, 1989.

Levine W.S., "The Control Handbook", CRC Press 1996

Boucher P., Dumur D., "La Commande Prédictive", Éditions Technip, Paris, 1996

Borne P., "Analyse et régulation des processus industriels, Tome 2", Technip, 1997

Ogata K., "Discrete-Time Control Systems", Prentice Hall, 1987.

SYSTÈMES TEMPS-RÉEL À LOGICIEL PRÉPONDERANT

Les systèmes fonctionnant en temps réel se caractérisent par une forte interaction avec leur environnement qui impose des contraintes temporelles sur leurs activités. A ces contraintes s'ajoutent des aspects de criticité et de sûreté de fonctionnement.

Ce cours présente les techniques de conception de systèmes temps réel sûrs et les spécificités des systèmes d'exploitation qui leur sont dédiés. Il introduit les méthodes de prédiction de temps de réponse permettant de garantir le respect des contraintes temporelles.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'identifier, à partir d'un cahier des charges, les aspects temps réel d'une application, de la spécifier et proposer une solution de conception
- de faire des choix de structuration logicielle et de mise en œuvre
- d'évaluer l'impact de ces choix en termes de validation temporelle et mettre en œuvre des analyses d'ordonnancement pour démontrer que le système respecte les contraintes temporelles. Comme compétence générique, ils maîtriseront la mise en œuvre des différentes étapes du cycle de développement.

PROGRAMME

Introduction et problématique des systèmes temps réel

Définition. Couplage avec l'environnement (systèmes embarqués). Structures matérielles et logicielles : avantages et limites. Modes scrutation, interruption, multitâche, distribué.

Système d'exploitation temps réel

Définition des besoins : concurrence, coopération, communication, gestion du temps. Construction de services orientés temps réel : gestion des tâches différées, synchronisation et communication inter-tâches, exceptions, interruptions, gestion des tâches différées. Système d'entrées-sorties. Exemples de système d'exploitation temps réel : VxWorks (développement d'applications sous WorkBench).

Analyse et validation des systèmes critiques

Algorithmes d'ordonnement et de partage de ressources pour les systèmes temps réel critiques, serveur de tâches. Analyse et validation : approches RMA, EDF...

Compléments de programmation :

le langage C



PROFESSEURS

Marie-Anne LEFEBVRE

Nabil SADOU

Rennes - Majeure ISA - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ISA-STRLP



BIBLIOGRAPHIE

H. Kopetz, "Real time systems: Design principles for distributed embedded applications", Ed. Springer, 2011, 978-1-4419-8236-0.

M. H. Klein, "A practitioner's Handbook for real time analysis", Ed. Kluwer Academic Publishers, 1993, 0-7923-9361-9,

Phillip A Laplante, "Real time systems design and analysis; An engineer's Handbook", Ed. IEEE Press, 2004, 0-471-22855-9..

Qing Li, Caroline Yao, "Real-Time Concepts for Embedded Systems", Ed. CMP Media, 2003, 1-57820-124-1.

B.W. Kernighan, D. Ritchie, "The C Programming Language", Ed. Prentice Hall, 1988, 0-13-115817-1



MAJEURES DU DOMAINE « ÉNERGIE »

CONVERSION D'ÉNERGIE (Campus de Gif)

ÉNERGIE (Campus de Gif)

La conversion d'énergie est l'art de produire de l'énergie sous une forme donnée à partir d'une énergie se présentant sous une autre forme. Il peut s'agir de produire de l'électricité à partir du vent ou à partir de panneaux photovoltaïques; ou encore de produire de la chaleur, du mouvement, de la lumière, des rayons X, de l'électricité... à partir d'électricité. Voilà de quoi traite la majeure CE.

Trois thèmes structurent cette majeure. Ils correspondent aux trois briques essentielles de tout système de conversion d'énergie : l'électronique de puissance (toujours présente), les actionneurs électrotechniques (souvent) et l'automatique (indispensable). Ces trois thèmes, qui se complètent et sont souvent indissociables, sont présentés à parts égales dans la majeure CE.

L'accent est mis sur l'analyse et la modélisation des systèmes existants dans le but de les faire évoluer. L'enseignement est organisé pour ouvrir à la conception des convertisseurs spécifiques des applications de demain en tenant compte de l'évolution prévisible des technologies et des facteurs économiques.

Par rapport à l'option ENE, la majeure CE est beaucoup plus proche de l'utilisation de l'énergie électrique que de la production et du transport de l'électricité. Les puissances en jeu sont beaucoup plus faibles : ce sont celles d'une voiture électrique, d'un satellite, d'un système d'imagerie médicale, d'un implant sous-cutané...

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure CE seront capables :

- d'analyser, simuler, modéliser un système d'énergie existant,
- de concevoir, dimensionner, optimiser un système complet devant répondre à un cahier des charges précis,
- de donner un avis pertinent quant aux choix technico-économiques de leur future entreprise.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|--|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Commande des machines électriques | 15 | 9 | 2 |
| | Commande et estimation dans l'espace d'état - Identification | 18 | 6 | 2 |
| | Commande numérique – Asservissements non-linéaires | 15 | 9 | 2 |
| | Convertisseurs de l'électronique de puissance | 16,5 | 12 | 2 |
| | Électronique de puissance | 22,5 | 6 | 2 |
| | Modélisation des machines électriques | 18 | 9 | 2 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 18 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

COMMANDE DES MACHINES ÉLECTRIQUES

Le développement de l'électronique numérique associée à l'électronique de puissance permet de réaliser des commandes de plus en plus performantes et complexes. Ce module étudie et définit les structures de commande des machines à partir des différents convertisseurs. L'association des éléments de "puissance" (convertisseurs, moteurs) à des modules de traitement du signal pour la conception d'un entraînement spécifique est aussi l'un des objectifs principaux de ce cours. Des méthodes de conception de systèmes de motorisation sont abordées. Un volet comparatif avec les asservissements hydrauliques et des exemples de réalisations industrielles viennent compléter cet ensemble.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront en mesure d'analyser des systèmes de commande de machines électriques et d'initier de nouvelles conceptions pour des applications spécifiques.

PROGRAMME

Modélisation des entraînements en régime dynamique

Utilisation des repères de Park. Application aux machines synchrones et asynchrones et à leur commande.

Moteurs synchrones

Moteurs à aimants, à réductance. Moteurs à rotor bobiné. Commande à couple constant. Commande à puissance constante. Méthodes de défluxage. Modélisation pour les associations aux convertisseurs.

Commande en boucle ouverte : alimentations en tension ; alimentations en courant. Stabilité.

Réglage du facteur de puissance. Optimisation du réglage des paramètres de commande.

Commande en boucle fermée (à thyristors et à transistors). Détection ou estimation de la position et contrôle de l'angle interne.

Moteurs asynchrones

Schéma monophasé équivalent à partir du modèle dynamique. Prise en compte des imperfections de la machine. Méthodes de variation de vitesse à fréquence fixe et leurs mises en oeuvre. Réalisation des commandes à fréquence variable (en courant et en tension). Boucle ouverte. Autopilotage. Variation de vitesse. Performances dynamiques des commandes scalaires. Commande vectorielle.

Mise en œuvre industrielle

Domaines d'utilisation, exemples, simulations, les variateurs numérisés et l'intégration aux niveaux supérieurs d'automatisme.



PROFESSEURS

Bruno LORCET

Jean-Claude VANNIER

Gif - Majeure CE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

CE-CME



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Hansruedi Buhler, "Réglage de systèmes d'électronique de puissance", Presses polytechniques et universitaires romandes.

Bimal K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", Prentice Hall.

COMMANDE ET ESTIMATION DANS L'ESPACE D'ÉTAT - IDENTIFICATION

Ce cours a pour but de présenter et appliquer des méthodes de calcul de lois de commande à partir d'une représentation d'état. Après les méthodes générales de commande optimale, on aborde les approches traditionnelles de commande des systèmes linéaires par retour d'état et observateur. Le problème de la reconstruction de l'état est traité des points de vue déterministe et stochastique (filtre de Kalman).

Ce cours est aussi l'occasion d'aborder l'analyse des systèmes par les méthodes de Lyapunov.

Le programme du cours d'identification est une introduction aux méthodes d'estimation paramétrique et à leur mise en œuvre dans le but d'établir des modèles de processus industriels pour des applications de surveillance et de commande. Les aspects conception d'une expérience pertinente sont abordés.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables d'établir un modèle de comportement, d'analyser des systèmes complexes dans le domaine de l'automatique

PROGRAMME

Commande et estimation dans l'espace d'état

Analyse de stabilité : méthodes de Lyapunov
Commande dans l'espace d'état : régulateur linéaire quadratique
Estimation dans l'espace d'état : observateur de Luenberger, filtrage de Kalman
Commande par retour d'état et observateur

Identification

Problèmes généraux d'identification des systèmes
Contexte de l'identification : modèles utilisés (ARX et variantes), connaissance a priori, conditions expérimentales et prétraitement des données
Méthodes d'estimation paramétrique : méthodes des moindres carrés, méthode de la variable instrumentale, méthodes d'optimisation (gradient, Gauss Newton...)
Outil de validation : analyse des résidus



PROFESSEURS

Dominique BEAUVOIS

Emmanuel GODOY

Gif - Majeure CE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/6 h TD/9 h TL



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

CE-CEEE



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Khalil H.K., "Nonlinear Systems", 3e édition, Pearson Higher Education, 2002.

Kailath T., "Linear Systems", Ed. Prentice Hall, 1980.

Friedland B., "Control System Design", Ed. Mc Graw Hill, 1986.

de Larminat Ph., "Commande des Systèmes Linéaires", Ed. Hermès, 1993.

Soderstrom T. et Stoica P., "System Identification", Prentice Hall, 1989.

Ljung L., "System Identification-theory for the user", 2nd ed, PTR Prentice Hall, 1999.

COMMANDE NUMÉRIQUE - ASSERVISSEMENT NON-LINÉAIRES

Ce cours fournit aux élèves, futurs ingénieurs, un ensemble d'outils méthodologiques et pratiques permettant d'aborder la commande des systèmes. Le programme aborde d'une part la commande numérique et d'autre part les asservissements non linéaires.

La synthèse des lois de commandes numériques est abordée dans l'objectif d'obtenir un ensemble aux propriétés conformes à un cahier des charges fixé a priori : bon comportement dynamique, bonne précision statique... Le problème de synthèse est traité en mettant un accent particulier sur l'utilisation des méthodes polynomiales. L'approche par placement des pôles, selon différentes formulations, est privilégiée et des cas particuliers, comme les correcteurs à temps de réponse fini, sont mis en évidence.

Le programme portant sur les asservissements non linéaires introduit des outils d'étude de stabilité des systèmes non-linéaires et fournit des méthodes de commande non linéaires, en particulier les techniques fondées sur la commande de type tout ou rien (commande à relais).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables d'analyser des systèmes de commande, en particulier les asservissements non linéaires et la commande numérique.

PROGRAMME

Rappels et compléments sur les systèmes discrets

Représentation des systèmes discrets, relation entre les plans complexes associés aux systèmes à temps continu et discret. Modélisation : architecture à boucles imbriquées, mono et multicadence. Analyse des systèmes discrets : stabilité, réponse fréquentielle, transformation en w et applications, comportement en régime transitoire, influence de l'implantation polaire. Analyse des systèmes bouclés : stabilité (critères géométriques, stabilité interne), précision.

Transposition de correcteurs à temps continu en temps discret

Rappel sur les différentes méthodes de discrétisations de correcteurs à temps continu. Analyse des distorsions induites (approche fréquentielle), critères de choix.

Synthèse

Synthèse des correcteurs par placement des pôles en boucle fermée suivant une architecture RST : principe, stabilité interne, analyse des différentes compensations, choix des dynamiques vis-à-vis de la consigne et des perturbations, prise en compte des entrées d'ordre quelconque (équation diophantienne auxiliaire), résolution de l'équation de Diophante, étude de cas particulier (correcteurs à temps de réponse fini, perturbations ou consignes sinusoïdales).

Méthode du 1er harmonique

Classes de non-linéarités candidates. Gain complexe équivalent : régimes symétriques et non-symétriques. Etude de la stabilité : régimes symétriques et non-symétriques. Régimes harmoniques forcés. Systèmes à relais



PROFESSEURS

Emmanuel GODOY
Pedro RODRIGUEZ-AYERBE
Gif - Majeure CE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/9 h TD/9 h TL



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

CE-CNANL



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Åström K.J. et Wittenmark, B., "Computer Controlled Systems. Theory and Design" (3rd ed.), Prentice Hall, 1997.

de Larminat Ph., "Automatique : commande des systèmes linéaires", Hermès, 1993.

Franklin G.F., Powell J.D. et Workman M.L., "Digital Control of Dynamic Systems" (3rd ed.), Addison Wesley, 1998.

Jacquot R.G., "Modern Digital Control Systems" (2nd ed.), Dekker Marcel, 1995.

Godoy E. et Ostertag, E., "Commande numérique des systèmes, approches polynomiale et fréquentielle", Ellipses, 2003.

Gille J.C., Decaulne P., et Pelegrin M., "Méthodes d'étude des systèmes asservis non-linéaires", Dunod, 1975.

Atherton D.P., "Nonlinear Control Engineering. Describing Function Analysis and Design", Van Nostrand Reinhold Company, 1975.

CONVERTISSEURS DE L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Selon la nature, continue (=) ou alternative (~), de la source et de la charge, 4 conversions de base (=/=, ~/=, =/~, ~/~) se justifient et peuvent se combiner pour assurer une fonction globale dans des conditions technico-économiques optimales. La terminologie, variée, dépend des fonctions et applications spécifiques : redresseurs, régulateurs, alimentations à découpage, CFP, filtres actifs, variateurs, onduleurs, ASI... S'appuyant sur le module "Électronique de puissance", ce cours dépasse le convertisseur de type continu / continu et fait le point sur les autres convertisseurs réalisables, leur mise en œuvre et les perspectives. Il met l'accent sur la méthodologie et les outils pour concevoir, analyser et dimensionner le convertisseur adapté à une application donnée.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables d'analyser des systèmes d'électronique de puissance et d'initier de nouvelles conceptions pour des applications spécifiques

PROGRAMME

Convertisseurs continu-continu

Topologies classiques, symétriques et asymétriques, avec ou sans transformateur. Mise en œuvre de la commutation douce. Comparaisons de diverses solutions et applications.

Redresseurs à diodes, redresseurs synchrones

Nécessité de filtres. Structures adaptées aux réseaux alternatifs d'énergie. Structures adaptées aux convertisseurs à découpage, à sortie basse ou haute tension, à commutation dure ou douce. Redresseurs synchrones.

Correcteurs de facteur de puissance

Intérêt de la correction. Concepts. Comparaison et application des familles de correcteurs monophasés. automatic current shaping. Commande des transistors et régulations nécessaires. Correcteurs triphasés. Filtres actifs.

Redresseurs à thyristors et mixtes

Pont tout thyristor. Contraintes technologiques liées aux thyristors. Analyse et conséquences des commutations. Protection des thyristors. Modes de fonctionnement. Amélioration du facteur de puissance. Réversibilité. Adaptation aux cycloconvertisseurs.

Onduleurs autonomes

Structure en pont : onduleur de tension, de courant, monophasé, triphasé. Variantes et autres topologies, avec et sans isolement galvanique (onduleur multi niveaux, structure push-pull, structures à transformateur HF...). Application de la commutation douce. Principes et intérêt de la modulation de largeur d'impulsion. Adaptation au filtrage actif.



PROFESSEURS

Charif KARIMI
Daniel SADARNAC

Gif - Majeure CE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

16,5 h cours/12 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

CE-CEP



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Daniel Sadarnac, "Du composant magnétique à l'électronique de puissance", éditions Ellipses Technosup

Robert W. Erickson and Dragan Maksimovic, "Fundamentals of power electronics", Kluwer Academic Publishers Group.

Conference proceedings: EPE (European conference on Power Electronics and applications), PESC (Power Electronics Specialists Conference), APEC (Applied Power Electronics Conference and exposition).

ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Un "convertisseur" électronique permet d'alimenter un organe ou un équipement électrique (moteur, carte électronique...) à partir d'une source d'énergie donnée (réseau alternatif, pile...). L'électronique dite "de puissance" est donc omniprésente : automobile, aéronautique, espace, télécommunications, informatique, imagerie médicale... La technique du "découpage" se justifie par le rendement de conversion. Ce cours fait le point sur les différentes manières de découper selon les applications, sur l'emploi des composants associés au découpage, sur les "briques" (structures fondamentales) de la conversion, sur les méthodes de conception, d'analyse et de dimensionnement de ces structures de base. Il s'appuie sur l'exemple du convertisseur de type continu / continu et en recense les principales topologies.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables d'analyser le fonctionnement d'un convertisseur.

PROGRAMME

Structures de base

Découpage et principe fondamental de conversion. Recensement des structures de base. Variantes topologiques. Réversibilité. Modes de fonctionnement. Limites d'emploi, comparaison et application de ces structures.

Isolement galvanique

Intérêt du transformateur pour la conversion d'énergie. Contraintes liées à l'implantation d'un transformateur dans les structures de base. Recensement des convertisseurs de type continu / continu dotés d'un transformateur. Comparaison et applications de ces structures.

Commutation douce

Intérêt. Commutation à zéro de courant (ZCS) ou à zéro de tension (ZVS). Dualité. Adaptation des structures de bases à la commutation douce. Comparaison et applications sous diverses formes. Tendances topologiques et technologiques pour les convertisseurs du futur.

Électronique de commande et protections

Architecture générale d'un convertisseur et principaux sous-ensembles : modulateur, régulateurs, capteurs, alimentations auxiliaires, systèmes de transmission des signaux avec isolement galvanique...



PROFESSEURS

Daniel SADARNAC

Gif - Majeure CE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

22,5 h cours/6 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

CE-EP



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Daniel Sadarnac, « Du composant magnétique à l'électronique de puissance », éditions Ellipses Technosup.

Pierre Aloïsi, "Les semiconducteurs de puissance", éditions Ellipses Technosup.

Robert W. Erickson and Dragan Maksimovic, "Fundamentals of power electronics", Kluwer Academic Publishers Group.

MODÉLISATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES

L'association de l'électronique de puissance et des machines électriques élargit leurs domaines de fonctionnement. Ce module établit les modèles nécessaires à l'évaluation des performances des machines et à la définition de leur commande. Certains aspects sont approfondis (force magnétomotrice, couple, flux de bobinage, modélisation et calcul).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront en mesure d'évaluer les paramètres essentiels servant à décrire une machine électrique.

PROGRAMME

Modélisation générale des machines

Structures des machines. Représentation des phénomènes magnétiques. Schéma équivalent. Force magnétomotrice. Perméances. Répartition d'induction. Flux de bobinages. Couplages. Flux de dispersion. Cas des distributions sinusoïdales. Calcul du couple par la méthode des travaux virtuels.

Modélisation des machines pour les régimes dynamiques

Transformations de PARK, matrices de transformations. Utilisation de la méthode pour les calculs de régimes transitoires. Choix du repère.

Moteurs synchrones

Moteurs à aimants, à réluctance, diagrammes d,q. Prise en compte de la saturation dans la modélisation. Etude de régimes transitoires. Expressions du couple.

Moteurs asynchrones

Moteurs à cages. Moteurs à rotor bobiné. Etude de régimes transitoires. Expressions du couple.



PROFESSEURS

Amir ARZANDÉ

Gif - Majeure CE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

CE-MME



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Philippe Barret, "Régimes transitoires des machines tournantes électriques", Eyrolles.

L'organisation de cette option, commune avec le cursus ingénieur Centralien, est différente des majeures, à savoir qu'elle est constituée de cours de tronc commun (TC) obligatoires pour tous les élèves de l'option et d'un parcours à choisir parmi les cinq proposés :

- Énergie Fossile (EF)
- Énergie Thermique (ET)
- Procédés (P)
- Réseaux d'Énergie (RE)
- Système Électrique (SE)

L'ambition du parcours « **Énergie fossile** » est de traiter de manière approfondie les différents aspects scientifiques et techniques de l'exploration du pétrole et du gaz. Les matières phares de ce cursus sont la géologie pétrolière, la mécanique et la dynamique des sols, roches et structures, la sismique, la modélisation des réservoirs et les méthodes numériques spécifiques.

Le parcours « **Énergie Thermique** » repose sur les sciences des transferts (essentiellement transferts thermiques et mécanique des fluides) et les applications de ces matières à la problématique énergétique. Ce cursus trouve ses applications dans les domaines de la production de tous types d'énergies (fossiles, nucléaire, renouvelables).

Le parcours « **Procédés** » s'appuie principalement sur le génie des procédés (transferts de matière et de chaleur, réactions et réacteurs chimiques) mais aussi sur la science des matériaux (vue sous les angles mécanique et physique), domaine dont les évolutions conditionnent souvent les performances et l'innovation. Ces notions scientifiques sont primordiales dans le domaine de l'énergie (de la production à l'utilisation).

Le parcours « **Réseaux d'Énergies** » aborde la thématique du réseau de manière très transversale (réseaux électriques mais aussi de fluides, de chaleur et d'information). Les nouvelles sciences et nouveaux concepts émergents dans ce domaine sont abordés.

Le parcours « **Systèmes Électriques** » aborde l'ensemble de la dimension électrique de la problématique énergétique, incluant en particulier les énergies renouvelables. Les thématiques principales abordées dans ce cursus sont la production (nucléaire, thermique à flamme, hydraulique, cogénération, mais aussi les machines), la gestion de la demande, le stockage, l'utilisation industrielle de l'énergie, et l'impact sur les systèmes électriques des moyens de production renouvelables.

| RUBRIQUES | EXAMENS ET TRAVAUX | Crédits ECTS |
|--|--|--------------|
| 1 TRONC COMMUN | Filière des hydrocarbures | 1,5 |
| | Filière nucléaire | 1,5 |
| | Énergies renouvelables | 2 |
| | Énergie électrique | 2 |
| | Enjeux de l'énergie | 2 |
| | | 9 |
| 2 PARCOURS Énergie Thermique | Transferts de masse et de chaleur | 1 |
| | Méthodologie en transferts de masse et de chaleur | 1 |
| | Combustion | 1 |
| | <i>Choix de 3 cours parmi les suivants :</i> | |
| | Turbomachines - Cycles moteurs et cryogénie – Transferts couplés et écoulements turbulents - Écoulements diphasiques – Rayonnement des gaz et des milieux denses | 3 |
| | Outils informatiques pour l'ingénieur | 1 |
| | Méthodes numériques | 1 |
| | <i>Choix d'un projet parmi : « Thermique » ou « Fluide »</i> | 1 |
| | Activité expérimentale | 1 |
| | | 10 |
| 2 PARCOURS Procédés | Transferts de masse et de chaleur | 1 |
| | Méthodologie en transferts de masse et de chaleur | 1 |
| | Génie des procédés pour l'énergie | 1 |
| | Matériaux pour la production d'énergie | 1 |
| | Hydrodynamique physique | 1 |
| | <i>Choix de 2 cours parmi les suivants :</i> | |
| | Optimisation énergétiques des procédés – Energétique industrielle – Transferts couplés et écoulements turbulents – | |
| | Physique des matériaux | 1 |
| | Contrôle / commande | 1 |
| | Mécanique des fluides numérique | 1 |
| | Projet de simulation des procédés | 1 |
| | Activité de laboratoire | 1 |
| | | 10 |
| 2 PARCOURS Systèmes Électriques | Réseaux électriques | 2 |
| | Stabilité et perturbation des réseaux électriques | 1,5 |
| | Machines électriques | 1,5 |
| | Électronique de puissance | 1,5 |
| | Commande des systèmes électriques | 1,5 |
| | Systèmes électromécaniques à vitesse variable | 1 |
| | Méthodes numériques et optimisation | 1 |
| | | 10 |

| RUBRIQUES | EXAMENS ET TRAVAUX | Crédits ECTS |
|--|---|--|
| <p style="text-align: center;">2 PARCOURS Réseaux d'Énergie</p> | Réseaux électriques Échanges thermiques et mécanique des fluides Réseaux de fluides énergétiques Réseaux d'énergie embarqués Stockage d'énergie Commande pour les réseaux d'énergie Méthodes numériques et optimisation | <p style="text-align: center;">2 1,5 2 1,5 1 1 1 10</p> |
| <p style="text-align: center;">2 PARCOURS Énergies Fossiles</p> | Géologie pétrolière Ressources minérales Mécanique des roches Mécanique des structures Mécanique appliquée Modélisation de réservoir Sismique de prospection Hydrogéologie Projet numérique Mission de terrain | <p style="text-align: center;">1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 10</p> |
| <p style="text-align: center;">3 ÉTUDE INDUSTRIELLE</p> | Étude en liaison avec l'industrie | <p style="text-align: center;">14</p> |
| <p style="text-align: center;">4 ENSEIGNEMENT ÉLECTIF</p> | Domaine de l'énergie et application : 3 cours électifs Deux cours électifs ENE Langues vivantes | <p style="text-align: center;">3 2 2 7</p> |
| <p style="text-align: center;">5 TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES</p> | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | <p style="text-align: center;">20</p> |

ENERGIE ÉLECTRIQUE

Ce cours "énergie électrique" vise à donner une vision large des moyens de production thermiques et hydrauliques d'énergie électrique, à la fois sous l'angle des coûts de production et sous celui des caractéristiques techniques. Ces dernières sont importantes pour comprendre la manière dont est géré un parc de production pour satisfaire à chaque instant l'équilibre production-consommation.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'utiliser les principaux critères techniques de choix des modes de production d'électricité,
- de prendre en compte les aspects économiques dans le choix d'un mode de production,
- d'intégrer cette production dans le système électrique en tenant compte des contraintes bilatérales.

PROGRAMME

Le système/réseau électrique dans lequel s'insère les moyens de production

Les coûts de production

Les centrales de production hydroélectrique, des grands barrages à la petite hydraulique

Les centrales de production thermique conventionnelle (à flamme)

Présentation des centrales de co-génération

La production nucléaire est abordée dans le cadre du cours "filrière nucléaire"



PROFESSEURS

Martin HENNEBEL
Olivier LE GALUDEC
Jean-Noël MARQUET

Gif - Majeure ENE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ENE-ENERELEC

ENERGIES RENOUVELABLES

Ce cours présente les potentialités des principaux moyens de production d'énergie à partir des ressources renouvelables. Les opportunités et les contraintes rencontrées par cette filière avec les aspects économiques et financiers sont aussi présentées.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue du cours les élèves seront capables :

- d'estimer les potentialités offertes par les énergies renouvelables,
- de mener des dimensionnements préliminaires de systèmes d'énergie renouvelable,
- de tenir compte des contraintes techniques de connexion au réseau électrique,
- de prendre en compte les aspects financiers.

PROGRAMME

Les nouveaux moyens de production qui se mettent en place aujourd'hui, exploitent des ressources renouvelables.

Après une présentation générale du secteur des EnR, une première partie sera consacrée aux aérogénérateurs, qui exploitent des systèmes de conversion électrotechniques (machines électromagnétiques, électronique de puissance, électrochimie...).

Une autre partie de cet enseignement traitera plus spécifiquement des techniques de stockage de l'énergie électrique associées aux systèmes de conversion de l'énergie.

Un second volet est d'abord consacré au PhotoVoltaïque (PV) et aborde la ressource solaire et sa variabilité, les principes de conversion du rayonnement solaire en électricité, l'état de l'art des différentes technologies, les voies actuelles de R&D, l'exploitation des centrales PV et les enjeux liés à l'intégration au réseau.

Le solaire thermodynamique est ensuite abordé avec les principes de conversion du rayonnement en chaleur puis en électricité, l'intérêt de la concentration, les différentes options technologiques et en particulier le stockage thermique et les possibilités d'hybridation.

Une troisième partie traite des ressources basées sur l'utilisation de la biomasse qui sont présentées de manière très large en allant des cultures spécifiques à la récupération des produits dérivés.

Les aspects financiers sont présentés dans la dernière partie du cours.



PROFESSEURS

Tanguy JANSSEN

Valentin PASQUIOU

Robert SOLER

Jean-Claude VANNIER

Gif - Majeure ENE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ENE-ENEREN

ENJEUX DE L'ÉNERGIE

Ce cours a pour ambition de présenter un large panorama des différentes problématiques d'ordre technologique, économique, politique, géographique directement liées au contexte énergétique aux échelles mondiale, nationales et locales.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours les élèves seront capables :

- de tenir compte des contextes politiques dans la mise au point d'un approvisionnement,
- de mesurer les impacts des localisations géographiques des ressources,
- d'évaluer les principaux moyens de transport d'énergie usuels,
- de mettre en œuvre des stratégies pour anticiper les évolutions de la demande et des marchés.

PROGRAMME

L'énergie à l'ère de l'Economie du Développement Durable

Etat des lieux énergétique

population, consommation, production, réserves, potentialité des énergies renouvelables

Etat des lieux des ressources minérales

Marchés européens de l'électricité

Etat des lieux économique et prospective mondiale des marchés du nucléaire civil

Nouvelles technologies de l'énergie

prospectives, enjeux

Prospectives économiques de l'énergie à l'aide des modèles macroéconomiques

modèles de l'AIE et de l'OCDE



PROFESSEURS

Pascal DA COSTA

Patrick DARMON

Jean-Guy DEVEZEUX

Estelle IACONA

Pierre LE PLATOIS

Gif - Majeure ENE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

30 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ENE-ENJENER

FILIÈRE DES HYDROCARBURES

Compréhension des grands enjeux scientifiques-techniques et économiques-stratégiques de la filière des hydrocarbures dans l'offre énergétique mondiale. Panorama des différents métiers contribuant à la découverte, l'exploitation et la transformation des hydrocarbures. Les enseignants sont quasiment tous rattachés soit à l'entreprise Total soit à l'association Total Professeurs Associés, et interviennent dans leurs domaines d'expertise respectifs.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de tenir compte des différents mécanismes économiques internationaux intervenants dans la filière des hydrocarbures,
- d'organiser les principales compétences à mettre en œuvre pour mener à bien l'exploitation de la filière.

PROGRAMME

Introduction aux enjeux de l'énergie et au mix énergétique 2010-2030

Éléments de stratégie de Total. Place des hydrocarbures dans l'économie : passé, présent et futur. Introduction aux géosciences.

Initiation aux géosciences pétrolières (géologie + géophysique + gisement)

Implications et enjeux des géosciences tout au long de la chaîne d'exploration, d'appréciation et de production. Techniques, méthodes et outils employés.

Revue des processus et pratiques industrielles mis en œuvre lors du développement de champs d'hydrocarbures

Description du processus de développement d'un champ d'hydrocarbures recouvrant une revue du contexte et des acteurs, le montage et les arrangements contractuels, et les caractéristiques des différentes phases du projet. Enjeux que représentent la conduite et le contrôle de tels projets de développement. Présentation d'exemples de projets de développement amont huile et gaz.

Le gaz naturel

Propriétés, traitement, liquéfaction. Économie du GNL.

L'art subtil du raffinage

Optimisation économique permanente d'unités de séparation physique et de conversion chimique pour coller aux spécifications des produits et aux quantités demandées par le marché. Introduction à la pétrochimie : une industrie tirée par le marché des polymères. Importance économique de la chaîne. Pourquoi une croissance si forte malgré sa mauvaise image dans l'opinion ? Quid de ce développement avec un pétrole plus rare (nouvelles matières premières, recyclage...) ?

Négociation de grands contrats internationaux

Les grands développements industriels internationaux dans le domaine des hydrocarbures mettent en jeu des contrats aux caractéristiques particulières, liées au contexte industriel et / ou politique. Présentation de ces enjeux. Particularités des négociations suivant les régions du monde. À partir d'exemples pétroliers et autres, explication des mécanismes mis en place.



PROFESSEURS

Jean BERA
Didier GAFFET
Yves LEROY
Philippe PERSILLON
Daniel SAINCRY

Gif - Majeure ENE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ENE-FH

FILIÈRE NUCLÉAIRE

Le but de ce cours est de fournir aux étudiants les bases techniques permettant d'appréhender le domaine de la production d'énergie nucléaire dans sa globalité. Il donne les bases des principaux domaines scientifiques couverts par le domaine de l'énergie nucléaire, à savoir la neutronique, la thermohydraulique, l'électricité, la chimie, la radiochimie et le génie des matériaux. Il montre comment ces connaissances sont appliquées dans les principaux domaines du nucléaire (cycle du combustible, production d'électricité, durée de vie des matériels...).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'identifier de manière pragmatique les avantages et inconvénients de la filière nucléaire de production d'électricité,
- de comprendre comment l'électricité est produite dans une tranche nucléaire (i.e. du neutron à l'électron),
- de mener une analyse pluridisciplinaire d'un problème pouvant survenir dans l'industrie nucléaire,
- d'interagir techniquement avec n'importe quel spécialiste de l'industrie nucléaire,
- d'avoir une vision globale des contraintes techniques, réglementaires et environnementales qui s'appliquent à l'industrie nucléaire.

PROGRAMME

Ce cours est structuré en 3 parties distinctes :

- Partie 1 : Réacteurs nucléaires de génération 1 à 3,
- Partie 2 : Réacteurs nucléaires de génération 4 ; Introduction au comportement des matériaux sous irradiation
- Partie 3 : Introduction au cycle du combustible

Ce cours aborde les notions suivantes : notions de physique nucléaire, réactions nucléaires induites par des neutrons, réaction en chaîne, fonctionnement détaillé d'une centrale nucléaire électrogène, les diverses filières, étude du bilan neutronique du cœur d'un réacteur à neutrons lents cas des réacteurs à neutrons rapides, fluides caloporteurs, impacts environnementaux, interactions matière/rayonnement : cas de la cuve d'un réacteur, les réacteurs de 4e génération, chimie du combustible, amont et aval du cycle du combustible.

Bien que la filière REP (Réacteur à Eau Pressurisée) serve de base au cours, d'autres filières sont abordées (UNGG, REB, RNR, Gen IV). Le point de vue adopté est de considérer l'étudiant comme un futur chef de projet de l'industrie nucléaire et de lui donner les éléments permettant de discuter avec les spécialistes des différents domaines techniques de cette industrie (ex : neutronicien, thermohydraulicien, électricien, chimiste, spécialiste de l'environnement...). A l'issue de ce cours, les élèves possèdent les bases indispensables pour appréhender, s'ils le désirent, les autres cours à dominante nucléaire de l'Option Energie (ex : ingénierie thermohydraulique nucléaire, cycle du combustible nucléaire...).



PROFESSEURS

Hervé CORDIER
Nicole DELLERO
Pascal YVON

Gif - Majeure ENE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

ENE-FINU



BIBLIOGRAPHIE

Tarride, « Physique, fonctionnement et sûreté des REP », EDP Sciences, 2013.

Lemaignan, « Science des matériaux pour le nucléaire », EDP Sciences, 2004.

Patarin, « Le cycle du combustible nucléaire », EDP Sciences, 2002.



MAJEURES DU DOMAINE « INFORMATIQUE »

SYSTÈMES INFORMATIQUES (Campus de Gif)

SYSTÈMES INTERACTIFS ET ROBOTIQUE – Parcours Informatique (Campus de Metz)

SYSTÈMES D'INFORMATION SÉCURISÉS (Campus de Rennes)

L'informatique occupe une place cruciale au cœur de notre société. L'informatique bouleverse non seulement la vie de chacun mais aussi la vie de chaque entreprise avec la transformation de notre monde en « monde numérique » et nombre des plus grandes entreprises qui se sont imposées ces dernières années ont l'informatique au cœur de leur métier.

La majeure Systèmes Informatiques aborde les deux composantes de l'informatique à la fois science et technique. Il y est abordé les fondements de la discipline ainsi que des méthodes pour concevoir, développer et tester les systèmes les plus complexes de nos jours que sont les logiciels. Les enseignements combinent à la fois acquisition de savoirs et mise-en-œuvre des connaissances acquises. Les Contrats d'Étude Industrielle jouent à plein leur rôle de passerelle avec le monde de l'entreprise et permettent aux élèves de confronter les savoirs fondamentaux acquis pendant les cours avec les technologies de pointe utilisées dans les entreprises

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure SI seront capables :

- de comprendre les fondements et les limitations de la science informatique ;
- de maîtriser la modélisation de systèmes informatiques (mais pas uniquement) complexes en vue de leur analyse, de leur spécification, de leur conception, de leur implémentation ; en prenant en compte les fonctionnalités, les qualités attendues, les données et connaissances manipulées, les connexions avec d'autres systèmes...
- d'implémenter des logiciels de qualité industrielle.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|--|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Concepts et langages de programmation | 13,5 | 6 | 1,5 |
| | Ingénierie technique et humaine des systèmes informatiques | 25,5 | 1,5 | 2 |
| | Langages et calcul | 13,5 | 4,5 | 2 |
| | Logique mathématique et programmation en logique | 18 | 12 | 2 |
| | Modélisation des systèmes | 19,5 | 6 | 1,5 |
| | Sémantique des langages – vérification des systèmes | 15 | 9 | 2 |
| | Traitement des langages | 10,5 | 3 | 1 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 45 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

CONCEPTS DES LANGAGES ET TECHNIQUES DE PROGRAMMATION

Ce module a pour objectif de présenter les différents styles de langages de programmation et leurs domaines d'application et de préciser les concepts sous-jacents. Ces différents points seront principalement illustrés à l'aide du langage C++.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'identifier dans un grand nombre de langages de programmation les concepts sous-jacents,
- de faire le lien entre ces concepts et leur mise en œuvre sur une architecture d'exécution,
- de choisir les éléments d'un langage adaptés à la résolution d'un problème particulier.

PROGRAMME

Prérequis

Connaissance d'un langage de programmation objet comme par exemple Java.

Présentation

Programmation fonctionnelle, impérative, par objets (rappels).
Programmation déclarative, par aspects, par composants. Histoire et utilisation des langages de programmation.

Concepts de base

Données : variables et valeurs temporaires, typage, conversions, pointeurs, allocation, ramasse-miettes, durée de vie, déclaration et définition, constantes, tableaux, généricité. Identificateurs : portée, espace de noms, références. Fonctions : définition, passage d'arguments, retour de valeur, surcharge, valeurs par défaut. Opérateurs : arité, priorité, associativité, ordre d'évaluation, affectation, égalité, surcharge. Exceptions. Entrées/sorties.

Approche objet

Définition de classes, protection, héritage, polymorphisme. Construction, destruction, affectation, déplacement. Variables et méthodes de classe, autres membres. Classes et opérations abstraites, interfaces. Identification dynamique de type, introspection.

Approche générative

Principes de la généricité, applications aux conteneurs, algorithmes, objets fonctions.

Techniques de programmation

L'idiome de la poignée, lettre/enveloppe, héritage dynamique, double dispatch, expressions génériques, méta-programmation.

Bureaux d'étude

- 1 : Environnements de développement (make, Git...)
- 2 : Conception d'un logiciel en C++

Travaux pratiques

Un TP (10 demi-journées) est associé à ce cours.



PROFESSEURS

Dominique MARCADET

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

13,3 h cours/6 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen sur ordinateur



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-CLTP



BIBLIOGRAPHIE

"Le Langage C++", 4e Édition, Bjarne Stroustrup, Campus Press, 2003, ISBN : 2-7440-7003-3.

"Modern C++ Design: Generic Programming and Design Patterns Applied", Andrei Alexandrescu, Addison Wesley, 2001, ISBN : 0-201-70431-5.

"C++ Templates: The Complete Guide", David Vandervoort and Nicolai M. Josuttis, Addison Wesley, 2002, ISBN : 0-201-73484-2.

INGÉNIERIE TECHNIQUE ET HUMAINE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES

La réussite d'un projet informatique passe par la maîtrise de l'ensemble des activités qui concourent à sa réalisation, ce qui est bien plus large que la partie développement.

Ce module présente les normes et standards, méthodologies, processus, techniques, bonnes pratiques et outils utilisés dans le domaine du Génie Logiciel (Ingénierie du logiciel) et des Systèmes d'Information Opérationnels (Ingénierie Système) ; y compris les modèles d'évaluation de maturité et les approches de progrès continu de ces activités.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'appliquer dans un projet logiciel des pratiques méthodologiques liées à une approche qualité,
- de s'adapter à un contexte d'ingénierie système,
- de prendre en compte les aspects humains dans un projet logiciel.

PROGRAMME

Prérequis

Cours de Génie logiciel de 1^{re} année. Projet de développement de logiciel de 2^e année.

Ingénierie du logiciel

Cycle de vie selon l'AFNOR Z67 130, conformité aux spécifications : Expression des besoins ; Spécification/conception ; Codage ; Tests : tests unitaires, test d'intégration, validation (recette) ; Exploitation. Métriques de qualité selon ISO 25000: performance, disponibilité, sécurité, sûreté, ergonomie, adaptabilité... Estimation des coûts et délais du logiciel (modèles Cocomo et points de fonction). Revue de spécification. Méthodes agiles.

De l'ingénierie du logiciel à l'ingénierie de système

Gestion des exigences : intérêt, démarche et outils. Démarche de progrès : CMMI et les modèles de maturité. Les systèmes d'information opérationnels : définition, cycle de vie et assurance produit. Introduction à l'ingénierie de système : définition, activités et mise en œuvre. Gestion de projet : estimations, WBS et mesures d'avancement.

Les métiers de l'informatique (l'ingénierie humaine)

Le métier de développeur, de chef de projet, de directeur de projet. Travailler en SSII, travailler dans une DSI. Aspects économiques, sociaux et humains au sein d'un projet informatique. Stratégie et architectures (fonctionnelle, applicative, technique).



PROFESSEURS

Thierry BONNET
François DARPIN
Jacques PETIT

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

25,5 h cours/1,5 h TD

Alternance de présentation des fondamentaux et d'illustrations de mise en œuvre.



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-ITHSI



BIBLIOGRAPHIE

Software Engineering Economics Barry w. BOEHM Editions Prentice-Hall

<http://www.istqb.org>

ISO/IEC 25000:2014 : Ingénierie des systèmes et du logiciel -- Exigences de qualité des systèmes et du logiciel et évaluation (SQuaRE) -- Guide de SQuaRE

CMMI for Development – CMMI-DEV version 1.3 – Addison-Wesley

CMMI for Acquisition – CMMI-ACQ version 1.3 – Addison-Wesley

CMMI for Services – CMMI-SER version 1.3 – Addison-Wesley

<http://whatis.cmmiinstitute.com/>

CMMI : un itinéraire fléché vers le CMMI – Richard Basque – Dunod

PM-BoK : Project Management Book of Knowledge

Fact and fallacies of software engineering, Robert L. Glass, Addison-Wesley

Ecosystème des projets informatiques, J.Printz, B.Mesdon, Hermes Lavoisier,

Les grands auteurs en organisation, JCSheld, Dunod

LANGAGES ET CALCUL

La réalisation d'outils informatiques fait intervenir de manière explicite des concepts fondamentaux qui s'expriment de manière mathématique. Les outils mathématiques et les résultats introduits dans ce cours éclairent la nature fondamentale du calcul. Pour un ingénieur, au-delà de l'utilisation de techniques spécifiques, la compréhension de cette nature est un prérequis nécessaire à la prise en compte des limites et de la complexité des outils qu'il aura à réaliser et des problèmes qu'il aura à résoudre.

Au cours de ce module, nous jalonnerons les frontières de la calculabilité et nous montrerons comment ces frontières peuvent être prouvées formellement. Nous étudierons systématiquement différents modèles du calcul (au sens mécanique). Nous montrerons comment formaliser le calcul et comment formaliser la notion de problème à l'aide la notion de langage. Nous définirons de façon rigoureuse les notions intuitives de ce qui est « faisable ou non par un ordinateur ». Nous définirons également les notions de complexité comme dérivant intrinsèquement des modèles de calcul. Enfin, nous établirons la connexion entre calcul et logique.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'expliquer la notion formelle de problème en termes de langage reconnaissable,
- de définir la hiérarchie de Chomsky et son rapport avec les différents modèles d'automates,
- d'expliquer la thèse de Church-Turing et sa signification,
- de donner des exemples de modèles de calcul équivalents à la machine de Turing,
- d'expliquer ce qu'est un problème indécidable,
- de reconnaître et prouver l'indécidabilité par réduction,
- de définir les classes de problèmes P et NP.

PROGRAMME

Problèmes et langages

Problèmes décisionnels. Alphabets et langages. Relation entre « solution à un problème » et langage.

Langages Réguliers et Automates Finis

Automates finis déterministes et non déterministes. Minimisation. Propriétés de fermeture. Caractérisation des langages réguliers.

Langages Indépendants du Contexte et Automates à Pile

Formes normales. Ambiguïté. Caractérisation. Propriétés de fermeture. Sémantique des langages.

Grammaires Formelles et Langages Générés.

La hiérarchie de Chomsky.

Machines de Turing et calculabilité

Machines de Turing Notion de machine universelle. Fonctions et langages récursifs et récursivement énumérables. Thèse de Church. Problèmes indécidables. Propriétés de décidabilité et d'indécidabilité pour les langages.

Complexité

Classes de complexité en temps et en espace. Applications du modèle non-déterministe : Classes P et NP. Complétude pour une classe. Résultats indépendants des modèles.

Introduction à l'informatique Quantique

Q-bits. Transformations unitaires. Application à la complexité et à la sécurité.



PROFESSEURS

Fabrice POPINEAU

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

13,5 h cours/4,5 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-LC



BIBLIOGRAPHIE

Computability and Logic (5th Ed.) -- George S. Boolos, John P. Burgess, Richard C. Jeffrey -- ISBN-13: 978-0521701464

Introduction to the Theory of Computation (2nd Ed.) -- Michael Sipser -- ISBN-13: 978-1133187790

Computational Complexity: A Modern Approach -- Sanjeev Arora, Boaz Barak -- ISBN-13: 978-0521424264

Bureaux d'étude ou autre information

TD1 : Langages réguliers et indépendants du contexte.

TD2 : Décidabilité.

TD3 : Complexité.

LOGIQUE MATHÉMATIQUE ET PROGRAMMATION EN LOGIQUE

L'objectif de ce cours est de présenter les notions de base de logique mathématique utilisées en informatique.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de faire la distinction entre syntaxe et sémantique
- de formaliser des raisonnements en calcul des propositions, en logique du premier ordre et en logiques de descriptions
- d'expliquer la méthode de résolution et de l'utiliser pour faire du raisonnement automatique
- d'expliquer la méthode des tableaux et de l'utiliser pour faire du raisonnement automatique

PROGRAMME

Structures algébriques

Termes. Unification.

Systèmes de réécriture

Terminaison. Confluence.
Théorème de Knuth-Bendix.

Calcul des propositions

Logique du 1er ordre

Théorie des modèles. Théorie de la preuve. Théorie axiomatique.
Théorèmes d'adéquation. Incomplétude et théorème de Gödel. Dédution, induction, abduction, induction structurelle et leurs rôles. Méthode des tableaux. Théorème de Herbrand. Résolution.
Stratégies de résolution.

Logiques de description

Programmation en logique et par contraintes

Syntaxe : faits et règles. Prédicats prédéfinis. Solveurs de contraintes. Applications.

Travaux Dirigés

- TD1 : Preuves et sémantique
- TD2 : Résolution et stratégies de résolution
- TD3 : Logiques de description
- TD4 : programmation en logique
- TD5 : Programmation par contraintes



PROFESSEURS

Yolaine BOURDA

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

16,5 h cours/12 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-LM



BIBLIOGRAPHIE

Uwe Schöning: "Logic for Computer Scientists",
Birkhäuser, 2008.

MODÉLISATION DES SYSTÈMES

La conception d'un système informatique est un problème complexe car elle fait intervenir de nombreux processus fortement dépendants, ne serait-ce que parce ses spécifications peuvent évoluer au cours du temps par exemple.

La description d'un système et de son environnement à l'aide de modèles permet de travailler à un niveau d'abstraction élevé, d'établir des liens entre exigences, spécifications et réalisations, ainsi que de valider certains choix assez tôt dans le cycle de conception. Cette unité d'enseignement traite des rôles que peut tenir un modèle, des différents paradigmes de modélisation, du choix d'un paradigme en fonction d'un objectif de modélisation, et de l'utilité d'utiliser conjointement plusieurs paradigmes pour modéliser un système. Ces notions s'inscrivent dans le contexte de l'ingénierie dirigée par les modèles.

Les compétences de ce module sont :

- Utiliser des techniques de modélisation des systèmes qui permettent de concevoir un système informatique, de simuler son fonctionnement ainsi que celui de l'environnement dans lequel il devra fonctionner, d'en générer une implémentation pour une plateforme donnée, ou de vérifier formellement qu'il possède certaines propriétés.
- Appréhender différents paradigmes de modélisation, chacun étant adapté à certains problèmes ou métiers, et ayant des limitations, des contraintes mais aussi de bonnes propriétés.
- Identifier les problèmes posés par l'utilisation conjointe de plusieurs paradigmes dans un même modèle (systèmes modaux, systèmes hybrides, modèles multi-physiques).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de choisir les paradigmes de modélisation les plus adaptés à la réalisation d'un modèle d'un système logiciel et de son environnement,
- d'identifier les problèmes qui peuvent se poser à l'interface entre des composantes hétérogènes d'un tel modèle.

PROGRAMME

Prérequis

Notion d'automate, de processus, tels que vues en tronc commun (systèmes logiques, architecture).
Équations différentielles et notions de dynamique et de mécanique de niveau terminale S ou Maths Sup.
Connaissance d'un langage de programmation, par exemple Java, vu en cours de FISDA en tronc commun.

Typologie des modèles

Différents rôles des modèles : représenter, prototyper, expliquer ou prédire.
Relations entre modèles : méta-modèles, représentations, instances, raffinements, abstractions.
Modélisation structurelle et modélisation comportementale.
Interprétation des modèles comportementaux : simulation, ordonnancement, dimensionnement, vérification.

Paradigmes de modélisation

Sémantique des modèles, règles de composition des comportements.



PROFESSEURS

Frédéric BOULANGER

Lina YE

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

19,5 h cours/6 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-MS



BIBLIOGRAPHIE

Structure and Interpretation of Signals and Systems

Edward A. Lee, Pravin Varaiya

ISBN 978-0-578-07719-2, 2011.

Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical Approach

Edward A. Lee, Sanjit Arunkumar Seshia

ISBN 978-0-557-70857-4, 2011.

Model-Based Design for Embedded Systems

Gabriela Nicosescu, Pieter J. Mosterman

CRC Press, 2009

Propriétés émergentes, correction par construction.

Paradigmes usuels

Automates hiérarchiques, préemption faible et forte, transition avec et sans réinitialisation.

Temps continu, systèmes d'équations différentielles, temps super dense.

Événements discrets, représentation du temps, ordonnancement dynamique.

Réseaux d'opérateurs à flots de données synchrones, ordonnancement statique, dimensionnement.

Modèles du parallélisme

Threads et sémaphores : les limites de la composition de processus.

Algèbres de processus, réseaux de Petri.

Modèle réactif synchrone, séquentialisation du parallélisme. Réseaux de processus, déterminisation du parallélisme.

Modélisation multi-paradigmes

Critères de choix d'un modèle de calcul pour un objectif donné.

Utilisation conjointe de plusieurs paradigmes de modélisation pour un système complexe.

Adaptation sémantique entre paradigmes (systèmes modaux et hybrides, modèles multi-physiques).

Bureaux d'étude

1 : Modélisation synchrone (régulateur de vitesse) et modélisation par acteurs (filtrage de signaux).

2 : Modélisation multi-paradigme : modèle mixte (climatisation d'une voiture), modèle hybride (remplissage de réservoirs).

SÉMANTIQUE DES LANGAGES / VÉRIFICATION DES SYSTÈMES

La complexité des systèmes et la criticité de certains (transport, nucléaire, médical) rendent délicate et cruciale la vérification de leur bon fonctionnement. La première partie de ce cours aborde la définition de la sémantique des langages qui permettent de décrire les systèmes. Cette définition est indispensable pour définir de façon précise le comportement d'un système ou les exigences que l'on porte sur lui. Dans la deuxième partie sont abordées différentes techniques qui permettent de s'assurer qu'un système, ou un modèle d'un système, possède certaines propriétés : la preuve formelle, le model-checking et le test.

Les objectifs de ce module sont de comprendre la nécessité de la définition formelle de la sémantique d'un langage et d'acquérir les bases permettant de définir formellement la sémantique d'un langage simple. La deuxième partie du module a pour objectif de savoir mettre en œuvre les techniques de vérification qui s'appuient sur la sémantique formelle.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'aborder la définition de la sémantique d'un langage à partir de la description de sa syntaxe abstraite,
- de mettre en œuvre des outils de vérification formelle et de test sur des programmes simples.

PROGRAMME

Prérequis

Cours de logique de la majeure Systèmes Informatiques
Cours de modélisation des systèmes de la majeure Systèmes informatiques

SÉMANTIQUE DES LANGAGES

Introduction

Nécessité des descriptions formelles. Syntaxe, sémantique, méta-langages, syntaxe abstraite, grammaire abstraite. Sémantiques opérationnelle, dénotationnelle, axiomatique.

Sémantique opérationnelle

Systèmes de transition, relations de simulation, systèmes de réécriture, traces

Sémantique dénotationnelle

Sémantiques statique et dynamique. Sémantique par point fixe

Sémantique axiomatique

Application des notions de théorie, d'interprétation et de modèle à la sémantique des langages. Sémantique pré/post, récursivité

Mathématiques de la récursion

Définitions récursives et points fixes. Fonctions strictes et fonctions partielles. Cohérence des définitions sémantiques

VÉRIFICATION ET VALIDATION DES SYSTÈMES

Introduction

Vérification et validation. Utilisation des méthodes formelles dans la vérification. Techniques de preuve, de model-checking et de test appliquées aux modèles

Preuve

Mise en œuvre des notions du cours de logique pour la preuve de propriétés

Model-checking

Modélisation des systèmes en structures de Kripke. Spécification de propriétés en logiques temporelles LTL et CTL. Vérification par model-



PROFESSEURS

Frédéric BOULANGER

Safouan TAHA

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/9 h TD

Mise en œuvre pratique des méthodes exposées



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Présence + évaluation en BE



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-SLVS



BIBLIOGRAPHIE

Bertrand Meyer, "Introduction à la théorie des langages de programmation".

checking.

Test

Définitions et difficultés du test. Test fonctionnel : test de conformité, test d'intégration. Test structurel : test unitaire, test de couverture

Bureaux d'étude

BE1 : Définition d'un langage et de sa sémantique. Application à la génération de code.

BE2 : Model-checking et la preuve

BE3 : Test

TRAITEMENT DES LANGAGES

On utilise de nombreux langages pour structurer de l'information à destination des ordinateurs. Bien entendu, les langages de programmation permettent d'exprimer des programmes, mais on utilise également de nombreux langages adaptés à des domaines particuliers (DSL, domain-specific languages). Savoir traiter des langages est donc un enjeu important en développement logiciel.

L'objectif est de présenter les principales méthodes et techniques permettant le traitement de divers langages, c'est-à-dire leur « compréhension » ou leur « modification » par l'ordinateur. Ce cours recouvre donc les domaines de la compilation, de l'interprétation et de la transformation de langages.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les étudiants seront capables :

- d'expliquer le fonctionnement des grandes familles d'analyseurs syntaxiques (descendants et ascendants),
- de construire une grammaire d'un langage sous une forme adaptée à un type d'analyseur donné,
- de manipuler un outil de génération d'analyseurs lexicaux et syntaxiques (ANTLR ou Xtext),
- de concevoir et réaliser entièrement un compilateur pour un langage simple.

PROGRAMME

Concepts et algorithmes

Langage, syntaxe et sémantique. Traducteurs et interpréteurs. Grammaires. Analyse lexicale.

Analyse syntaxique : méthodes descendantes (méthode par backtracking, méthode LL) et ascendantes (LR).

Analyse des expressions. Traduction dirigée par la syntaxe, arbres de syntaxe abstraite (AST). Notations intermédiaires et optimisation.

Étude d'outils

Générateur de lexers et de parseurs ANTLR.

Structure des compilateurs GCC et LLVM.

Bureau d'étude

Compilation d'un petit langage



PROFESSEURS

Benoît VALIRON

Gif - Majeure SI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

10,5 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Projet noté.



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SI-TL



BIBLIOGRAPHIE

A. W. Appel, "Modern Compiler Implementation in Java", Second Edition. Cambridge University Press, 2002.

A. Aho, M. Lam, R. Sethi et J. Ullman, "Compilateurs : principes, techniques et outils" (2e édition), Pearson Education, 2007.

T. Parr, "The Definitive ANTLR Reference", The Pragmatic Bookshelf, 2007.

La majeure Systèmes Interactifs et Robotique a deux objectifs :

- *l'acquisition d'un solide bagage de compétences en apprentissage automatique (reconnaissance de forme, prise de décision, gestion de l'incertain) et en traitement du signal et des images (analyse spectrale, image, son, parole), permettant de modéliser un problème de décision (dans un sens très large) et d'identifier une méthode pertinente de résolution ;*
- *l'acquisition d'un savoir-faire de mise en œuvre et d'intégration de ces méthodes dans un système, grâce à la maîtrise d'un langage de programmation et d'outils standards du domaine (OpenCV, scikit-learn, ROS, etc.).*

Les domaines d'applications étudiés sont les systèmes interactifs et la robotique. Toutefois, l'étude de la cinématique et des asservissements de robots n'est pas approfondie et les sujets des Études Industrielles (CEI) couvrent un large éventail : apprentissage, calcul haute performance, co-simulations, traitement des images, traitement statistique du signal, etc.

Deux parcours d'approfondissement sont proposés aux étudiants de ce cursus pour leur permettre d'acquérir une spécialisation en traitement du signal et statistiques (parcours mathématiques) ou en informatique (parcours informatique).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure SIR seront capables :

- de comprendre les différents modèles d'apprentissage (bayésien, fréquentiste, supervisé ou non, etc.) et de signaux (aléatoires ou non, stationnaires, etc.)
- de modéliser un problème pratique de décision sous forme abstraite
- d'identifier les méthodes d'apprentissage et de traitement du signal pertinentes pour résoudre un problème
- d'appliquer et évaluer les performances des méthodes identifiées sur un problème
- de maîtriser un langage de programmation et avoir une expérience d'un middleware de robotique.

De plus, en fonction de leur choix de mineures, les élèves pourront approfondir leurs connaissances et compétences en :

- apprentissage statistique, traitement statistique du signal, analyse des signaux et des images, ...
- fouille de données (datascience), calcul haute performance, robotique, vie artificielle, objets communicants, ...

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Modèles de perception et de production | 6 | | 2 |
| | Interfaces innovantes et immersives | 15 | | |
| | Modélisation et analyse spectrale | 13,5 | 4,5 | 1,5 |
| | Traitement de la parole | 12 | 3 | 1 |
| | Traitement des images | 15 | 6 | 2 |
| | Apprentissage automatique | 21 | 10,5 | 2,5 |
| | Gestion de l'incertain | 15 | 10,5 | 2 |
| | Robotique autonome | 12 | 3 | 1 |
| | Introduction à la robotique médicale | 6 | | 1 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 72 | | |
| | Étude Industrielle | 150 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE (MACHINE LEARNING, PARTIE 1)

Dans un contexte de plus en plus orienté vers la gestion de masse importante de données, le Machine Learning recouvre l'ensemble des méthodes et concepts qui permettent d'extraire automatiquement, à partir de ces données, des modèles de prédiction et de prise de décision. Ce cours s'attache à articuler les approches majeures du domaine en mettant en exergue les fondements théoriques qu'elles partagent. Cet enseignement a autant vocation de permettre aux ingénieurs d'utiliser à bon escient les outils logiciels communément disponibles que de constituer un socle généraliste préparant à une activité de recherche dans ce domaine très actif.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de comprendre les différents modèles d'apprentissage (fréquentiste, bayésien, supervisé ou non, etc.)
- de modéliser un problème pratique sous forme abstraite
- d'identifier les méthodes d'apprentissage pertinentes pour résoudre un problème
- d'appliquer et évaluer les méthodes identifiées sur un problème
- de faire le lien entre les différentes techniques d'apprentissage

PROGRAMME

Introduction synthétique au Machine Learning

Généralités, Approche fréquentiste, Approche bayésienne, Méthodes d'ensemble, Evaluation de modèle

Concepts pour le Machine Learning

Risques, Prétraitements

Machines à Vecteurs Supports

Kernel trick, Optimisation sous contraintes et dualité, Florilège de SVM

Quantification vectorielle

Principe et K-means, Méthodes topologiques

Réseaux de neurones

Perceptrons, Réseaux récurrents, Réseaux profonds

Méthodes d'ensemble

Arbres et forêts, Bagging, Boosting



PROFESSEURS

Jérémy FIX
Hervé FREZZA-BUET
Matthieu GEIST

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/1,5 h TD/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-APPAU



BIBLIOGRAPHIE

K. Murphy, "Machine Learning: A Probabilistic Perspective", The MIT Press, 2012

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, "The Elements of Statistical Learning Theory", Springer, 2nd edition, 2009.

D. Barber, "Bayesian Reasoning and Machine Learning". Cambridge University Press, 2012.

R.S. Sutton and A.G. Barto, "Reinforcement Learning. An Introduction", Cambridge, MA: MIT Press, 1998.

GESTION DE L'INCERTAIN (MACHINE LEARNING, PARTIE 2)

Dans un contexte de plus en plus orienté vers la gestion de masse importante de données, le Machine Learning recouvre l'ensemble des méthodes et concepts qui permettent d'extraire automatiquement, à partir de ces données, des modèles de prédiction et de prise de décision. Ce cours s'attache à articuler les approches majeures du domaine en mettant en exergue les fondements théoriques qu'elles partagent. Cet enseignement a autant vocation de permettre aux ingénieurs d'utiliser à bon escient les outils logiciels communément disponibles que de constituer un socle généraliste préparant à une activité de recherche dans ce domaine très actif.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de comprendre les différents modèles d'apprentissage (fréquentiste, bayésien, supervisé ou non, etc.)
- de modéliser un problème pratique sous forme abstraite
- d'identifier les méthodes d'apprentissage pertinentes pour résoudre un problème
- d'appliquer et évaluer les méthodes identifiées sur un problème
- de faire le lien entre les différentes techniques d'apprentissage

PROGRAMME

Apprentissage bayésien

Outils bayésiens, Processus gaussiens, Modèles graphiques, Filtrage bayésien

Décisions séquentielles

Bandits, Apprentissage par renforcement



PROFESSEURS

Jérémy FIX
Matthieu GEIST
Frédéric PENNERATH

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/1,5 h TD/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-GI



BIBLIOGRAPHIE

K. Murphy, "Machine Learning: A Probabilistic Perspective", The MIT Press, 2012

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, "The Elements of Statistical Learning Theory", Springer, 2nd edition, 2009.

D. Barber, "Bayesian Reasoning and Machine Learning". Cambridge University Press, 2012.

R.S. Sutton and A.G. Barto, "Reinforcement Learning. An Introduction", Cambridge, MA: MIT Press, 1998.

INTERFACES INNOVANTES ET IMMERSIVES

Ce cours présentera au travers de séminaires longs les enjeux technologiques, scientifiques et sociétaux de diverses interfaces homme-machine ou homme-environnement étudiées depuis peu. Parmi celles-ci, les interfaces cerveau-ordinateur, la réalité augmentée, les environnements intelligents et les systèmes d'immersion sonore et visuelle seront abordés.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de comprendre les enjeux et les technologies associés aux interfaces hommes-machines et de faire les choix de conception appropriés dans ces domaines.

PROGRAMME

Interfaces cerveau-ordinateur

Les interfaces cerveau-ordinateur enregistrent et interprètent l'activité cérébrale d'une personne pour lui permettre d'interagir avec son environnement (logiciel d'écriture, fauteuil roulant motorisé, prothèse, domotique, jeu, etc.). Ce cours abordera les différentes techniques d'imagerie cérébrale, les phénomènes physiologiques engendrés par l'activité cérébrale (rythmes et potentiels évoqués) ainsi que les différentes méthodes de traitement qui permettent de les exploiter (traitement du signal et fouille de données). Nous illustrerons chaque élément du cours par des réalisations permettant de communiquer, de contrôler un dispositif ou de percevoir l'état mental de son utilisateur dans le domaine de l'assistance ou du jeu vidéo.

Réalité augmentée

Les ordinateurs permettent aujourd'hui de produire des images dont la qualité et le réalisme rivalisent avec celles que produisent nos appareils photos et nos caméras. Dans cette ère du tout numérique dont nous venons de franchir le seuil, images réelles et virtuelles cohabitent sur nos disques durs, sont visualisées sur les mêmes écrans et via les mêmes imprimantes. Si les combiner, les fusionner, semble logique, c'est loin d'être simple. Car pour combiner de manière cohérente et imperceptible les deux univers, il faut d'une certaine manière comprendre le réel : les mouvements, les formes, les couleurs, les lumières...

Immersion sonore et visuelle

L'immersion dans un monde virtuel ou de réalité augmentée passe par l'utilisation d'interfaces de diffusion capables de représenter un aperçu fidèle de la réalité. Il s'agit de passer d'une représentation bidimensionnelle pour l'image et délicate à localiser pour le son, à une réelle diffusion tridimensionnelle de l'environnement visuel et auditif. L'utilisation de lunettes 3D et d'un système holophonique permet d'élargir le monde des sensations à la 3e dimension.



PROFESSEURS

Laurent BOUGRAIN

Jérémy FIX

Jean-Louis GUTZWILLER

Gilles SIMON

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-MPPI



BIBLIOGRAPHIE

"Intégrer images réelles et images 3D-Post-production et réalité augmentée", Gilles Simon et Julien Decollogne, Dunod, 2006. EAN13 : 9782100498604.

"Brain-computer interfaces for communication and control", Wolpaw et al. 2002.

INTRODUCTION À LA ROBOTIQUE MÉDICALE

La robotique médicale concerne l'utilisation d'un robot par les cliniciens pour aider les diagnostics ou les actes thérapeutiques. Ce domaine applicatif a commencé à se développer il y a 25 ans., mais seuls quelques robots sont entrés dans l'hôpital depuis. La raison est certainement complexe et multiforme, mais plusieurs facteurs principaux se dégagent clairement, notamment le besoin d'améliorer la conception des robots médicaux afin de proposer des systèmes plus légers, plus compacts et également à coût moins élevé.

Par ailleurs, avec l'augmentation du nombre des modalités d'imagerie, les systèmes robotiques devraient aider en traitant efficacement des données multimodales, par exemple pour fournir un guidage sûr.

Ce cours présente plusieurs exemples de réalisations concrètes en conception mécatronique de robots médicaux et évoque la problématique du positionnement et de la commande référencée capteur.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de comprendre les particularités de la robotique médicale,
- d'identifier les étapes clés dans la conception et le développement d'assistants robotiques pour la médecine.
- de comprendre comment un robot médical peut être localisé par rapport au patient
- de proposer des solutions simples (choix de capteurs / marqueurs) pour le recalage dans le cadre d'un cahier des charges donné

PROGRAMME

Conception mécatronique et robotique médicale

Introduction - Contexte de la robotique médicale
Conception et développement d'assistants robotiques
Cas d'étude : radiologie interventionnelle sous scanner ; chirurgie cardiaque à cœur battant

Positionnement et commande référencée capteur en robotique médicale

Cette partie présente la problématique du recalage robot / patient / imageur pour l'assistance aux gestes médicaux et les méthodes et solutions couramment utilisées. Elle est constituée comme suit :

- I/ Introduction : définition, intérêt et difficultés du recalage robot / patient.
- II/ Matériel, utilisation des imageurs médicaux pour faire de la mesure
- III/ Problèmes mathématiques et solutions
- IV/ Exemples de cas pratiques (orthopédie, radiologie interventionnelle, radiothérapie, neurochirurgie...)
- V/ Extension au recalage dynamique et à l'asservissement visuel.



PROFESSEURS

Florent NAGEOTTE

Olivier PICCIN

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

6 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Pas d'évaluation.



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-IRM



BIBLIOGRAPHIE

J. Rosen, B. Hannaford, and R. M. Satava, "Surgical robotics systems applications and visions". Springer, 2011.

J. Troccaz, "Robotique médicale". Hermès Science publications-Lavoisier, 2012.

MODÈLES DE PERCEPTION ET DE PRODUCTION

L'être humain communique avec ses semblables au moyen de ses 5 sens. Parmi ceux-ci, seuls la vue et l'ouïe autorisent une approche à distance de l'environnement. Qui plus est, ces 2 sens utilisent chacun deux capteurs, ce qui permet une localisation des sources dans l'espace.

Les systèmes de communication - humain à humain, humain à machine ou machine à humain - sont donc conçus afin d'acquérir et de restituer le plus fidèlement possible ces perceptions. Il est donc utile de connaître et de pouvoir modéliser d'une part le système de perception humain (le récepteur), mais également le système de production du signal concerné par la perception - parole humaine, son, image fixe ou animée - (l'émetteur).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de décrire les spécificités des systèmes de perception humains (forces et faiblesses de l'oreille et de l'œil, etc.), ainsi que les particularités du système de production de la parole et celles du producteur de lumière le plus commun (le Soleil),
- de mettre tout ceci en perspective dans le cadre de la mise en place de systèmes automatiques/robotiques de reconnaissance de la parole et des images, et de production de parole et d'images.

PROGRAMME

Introduction : stimuli et sensations, syntaxique et sémantique

Stimulus audio : le son (caractéristiques, propagation, vitesse...)

Perception du son : l'oreille, sensations (niveau, hauteur) et modèles (sonie, tonie...)

Stimulus visuel : la lumière (caractéristiques, propagation, vitesse...)

Perception de la lumière : l'œil, sensations (luminosité, couleur) et modèles (RVB, xyz, Y/C...)

Modèles de production du son (tuyaux => phonation)

Modèles de production de la lumière (synthèse additive, synthèse soustractive)



PROFESSEURS

Stéphane ROSSIGNOL

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

6 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-MPPIII



BIBLIOGRAPHIE

E. Zwicker, R. Feldtkeller, Psychoacoustique, Masson, 1981 (perception des sons)

A. Cuvillier, Cours de Philosophie (tome 1), Armand Colin (perception de la lumière ; aspects purement psychologique de la perception)

MODÉLISATION ET ANALYSE SPECTRALE

Le but de cet enseignement est d'exposer le corpus des méthodes, anciennes et plus récentes, d'analyse spectrale, c'est-à-dire de description et d'analyse de signaux dans un domaine de fréquences. L'analyse spectrale doit être perçue comme un élément d'une chaîne de traitement du signal mettant en œuvre la notion de linéarité. En conséquence, la finalité d'une telle analyse n'est jamais la simple visualisation d'un spectre. Conserver à l'esprit l'objectif ultime, de décision ou d'estimation, du traitement en question, est une clé indispensable pour aborder avec raison le choix d'une méthode d'analyse spectrale. On mettra l'accent sur les différents concepts sous-jacents à chacune de ces méthodes et elles seront comparées selon différents critères, propres à l'analyse spectrale. Des aspects d'analyse non-paramétrique et paramétrique seront confrontés. On insistera pour ces approches sur le concept de modélisation (des signaux, des bruits) et de validation, inhérent à toute démarche d'ingénierie.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'identifier quand l'analyse spectrale est adaptée à un système,
- de choisir les méthodes d'analyse spectrale appropriées,
- d'extraire des analyses les paramètres utiles pour l'analyse des signaux.

PROGRAMME

Introduction

Historique de l'analyse spectrale, rappel sur l'analyse de Fourier : temps continu, temps discret

Dualité paramétrique versus non-paramétrique.

Dualité temporelle et spectrale.

Propriétés et modèles : stationnarité, ergodicité.

Analyse spectrale non-paramétrique

Le périodogramme (définition et propriétés). Fenêtres de pondération. Variantes du périodogramme (périodogramme moyenné, estimateurs de Daniell, de Bartlett et de Welch). Le corrélogramme (définition, différents estimateurs de l'autocorrélation, propriétés). Vers l'analyse de signaux non stationnaires : transformée de Fourier glissante. spectrogramme, analyse de Gabor.

Analyse spectrale paramétrique

Modèle autorégressif (AR) : caractérisations temporelle, statistique et spectrale. Prédiction linéaire. Estimation, résolution des équations normales, équations de Yule-Walker versus erreur(s) de prédiction, choix de l'ordre du modèle AR.

Modèle MA et ARMA : estimation du spectre versus estimation des coefficients du filtre.

Approche récursive de l'estimation spectrale.

Modèles de Prony et Pisarenko, MUSIC.

Localisation de sources

Description du problème général d'analyse spectrale de signaux à spectre de raies.

Méthodes usuelles : formation de voies (beamforming), méthode de Capon, méthode à maximum d'entropie.

Méthodes à haute résolution : Prony, Pisarenko, concept de séparation en sous-espaces (MUSIC, ESPRIT).

Bureau d'étude et travaux dirigés

Analyse spectrale non paramétrique : mise en place d'une chaîne de traitements (visualisation, filtrage, analyse spectrale, extraction de caractéristiques) pour l'analyse et la caractérisation/classification de signaux ultrasonores.



PROFESSEURS

Laurent DUVAL

Stéphane ROSSIGNOL

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

13,5 h cours/4,5 h TD

Cours et pratiques entremêlés



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-MAS



BIBLIOGRAPHIE

<http://www.laurent-duval.eu/lcd-lecture-supelec-spectral-analysis.html>

Gilles Fleury, Analyse spectrale, Ellipses (2001).

Lawrence S. Marple, "Digital Spectral Analysis with Applications in C", FORTRAN, and MATLAB (Book/Disk), Prentice Hall, 1 edition (May 2003).

Peter J. Brockwell, R. A. Davis, "Time Series: Theory and Methods" (Springer Series in Statistics), Springer Verlag, 2nd edition (January 1991).

Petre Stoica, Randolph L. Moses, "Introduction to Spectral Analysis, Prentice Hall", Facsimile edition (February 6, 1997).

BE : Maximum d'entropie. Choix de l'ordre d'un modèle.
TD : Analyse d'un signal de parole, analyse fréquentiel de signaux ultrasonores.

ROBOTIQUE AUTONOME

Le but de ce cours est une introduction à la robotique autonome. On y abordera les différentes fonctions d'un robot et leur articulation dans un système robot complet. On insistera principalement sur les modèles et algorithmes permettant de fournir au robot les capacités de raisonner sur la tâche, sur l'environnement ainsi que sur ses capacités propres. Enfin, on illustrera le cours par l'analyse de cas concrets de en œuvre de robots avancés.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de comprendre les enjeux et les technologies associées aux machines autonomes et auront connaissance des verrous scientifiques qui limitent actuellement les robots autonomes.

PROGRAMME

Les grandes fonctions

Perception, mouvement, décision, apprentissage, communication/interaction

Perception et représentation de l'environnement

Capteurs, perception et modélisation 3D
La navigation: localisation et cartographie simultanées; SLAM.

Planification des mouvements

Espaces de configuration
Algorithmiques
Raisonnement géométrique

De la perception au mouvement

Exécution du mouvement et fonctions sensori-motrices.

Décision

Représentations et raisonnement; planification
Architectures de contrôle
Coopération/coordination multi-robots
Interaction Homme-Robot



PROFESSEURS

Rachid ALAMI
Jérémy FIX
Hervé FREZZA-BUET

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/3 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-ROBOT



BIBLIOGRAPHIE

"Robot Motion Planning", J.C. Latombe. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1991.

"Planning Algorithms", Steven Lavalle, Cambridge University Press, 2006.

"Automated Planning Theory and Practice", Ghallab, M., Nau, D., Traverso, P., Morgan Kaufmann Publishers (2004).

"Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations", H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, MIT Press, Boston, 2005.

TRAITEMENT DE LA PAROLE

Le signal de parole présente des spécificités qui le font échapper aux techniques classiques de traitement pour plusieurs raisons. D'une part parce qu'il sert de vecteur au transport d'information de haut niveau et que de ce fait il induit un traitement mélangeant théorie du signal et représentation de la connaissance. D'autre part, il présente une large gamme de variations (temporelles, intra et interlocuteur, dues à l'accent etc.) même dans le cas d'un message identique. Ce cours pose les bases des techniques spécifiques utilisées en traitement de la parole, apporte des réponses aux problèmes posés par le codage, la reconnaissance et la synthèse de la parole et présente les perspectives offertes dans ce domaine.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de déterminer quelles sont les caractéristiques importantes du signal de parole à prendre compte notamment dans le cadre du développement de systèmes de reconnaissance de parole à débit limité. Un exemple de tels systèmes est concrètement ce qui existe pour la téléphonie mobile présente, et ce qui existera dans le futur et qui demande encore beaucoup d'efforts de recherche.

PROGRAMME

Introduction au traitement automatique de la parole

Durant cette introduction, les enjeux scientifiques, techniques et applicatifs du traitement de la parole seront expliqués et un bref état de l'art du domaine sera exposé. Quelques démonstrations d'applications disponibles sur le marché seront exposées.

Différents niveaux d'interprétation du signal de parole

Le signal de parole peut-être interprété à différents niveaux allant de l'acoustique pure (analyse du signal sans considération de sa provenance) jusqu'à la pragmatique (étude de ce qui n'est pas dit dans le discours, sens commun etc.). Dans cette partie du cours, ces différents niveaux seront définis et les liens existant entre ceux-ci seront mis en avant.

Analyse et modélisation du signal de parole

La plupart des méthodes de traitement actuel du signal de parole reposent sur des moyens d'analyse et de modélisation du signal développés durant les 60 dernières années. Les modèles les plus courants comme le modèle de production de Fant (paramétrique, LPC) et l'analyse cepstrale (non paramétrique) seront particulièrement étudiés. Des ouvertures vers des modèles faisant intervenir la psycho-acoustique seront proposées.

Codage de la parole

Le codage de la parole consiste en la transformation du signal de parole de sorte qu'il utilise une bande passante moindre ou occupe un espace de stockage limité tout en restant intelligible. Plusieurs techniques de compression seront ainsi appréhendées comme la quantification non-uniforme, le codage temporelle, le codage paramétrique (utilisé dans la norme GSM par exemple) et le codage par transformées (pour le son HD).

Reconnaissance de la parole

La reconnaissance de la parole est le procédé par lequel une machine transforme le signal acoustique enregistré par un microphone en une représentation symbolique (un texte écrit ou un ordre par exemple). Les méthodes de reconnaissance par programmation dynamique (Dynamic Time Warping) utilisées pour la numérotation mains libre sur les téléphones portables, ainsi que les méthodes statistiques plus récentes basées sur les modèles de Markov cachés (HMM) seront présentées.

Synthèse de la parole

La synthèse vocale consiste en la transformation automatique d'un texte en un signal de parole. Les diverses méthodes pour ce faire seront décrites



PROFESSEURS

Jean-Luc COLLETTE
Stéphane ROSSIGNOL

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/3 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-TP



BIBLIOGRAPHIE

Boite R., "Traitement de la parole", Presses polytechniques romandes 2000.

Delle J., "Discrete-time processing of speech signal", IEEE 2000.

Schafer R., "Speech analysis, IEEE Press 1979.

comme les méthodes par formants, la synthèse LPC, la synthèse par concaténation de diphones et la synthèse par concaténation d'unités non-uniformes (NUU). Les problèmes de traitement du langage naturel induits (gestion des homophones, synthèse de prosodie etc.) seront aussi traités.

Interfaces vocales

Une série d'applications intégrant les systèmes étudiés précédemment sera exposée comme les systèmes de dialogue homme-machine, les avatars (têtes parlantes), les systèmes de reconnaissance du locuteur etc.

TRAITEMENT DES IMAGES

Ce cours a pour objet de donner une vue d'ensemble du traitement des images. Il se fonde sur des notions générales abordées en tronc commun : "Signaux et systèmes", "Représentation et analyse statistique des signaux" et "Signal et communication". D'autres cours dispensés dans la majeure SIR apportent aussi les connaissances nécessaires à la segmentation d'image et à la compréhension de la perception visuelle. Les cours de mineure associés aux applications du traitement d'image développeront de façon plus approfondie des thèmes abordés dans ce cours et de nombreuses démonstrations viendront étayer les notions qui y seront présentées.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'identifier les imperfections et les limitations de fonctionnement d'un système d'acquisition d'image,
- modéliser et caractériser ce système dans le domaine optique
- de programmer ou d'utiliser des algorithmes élémentaires de traitement (filtrage, transformations) sur les images numériques en maîtrisant leur complexité,
- de faire des choix pertinents lors de la mise en œuvre de ces algorithmes grâce à une bonne vue d'ensemble sur différentes applications (codage, recalage, reconstruction, segmentation).

PROGRAMME

Introduction

Constitution d'une chaîne de traitement d'image.

Photométrie

Description d'une scène. Définition des grandeurs physiques dans le domaine de l'optique.

Capteur d'image

Modélisation physique et géométrique. Problème de calibration. Généralisation.

Systèmes continus

Opérateurs associés à la caractérisation des systèmes linéaires invariants continus. Modélisation de systèmes optiques.

Échantillonnage, interpolation

Théorème de Shannon. Interpolation séparable.

Systèmes discrets

Opérateurs associés à la caractérisation des systèmes linéaires invariants discrets. Méthodes algébriques.

Filtrage

Méthodes de synthèse. Algorithmes rapides de filtrage. Filtrage non linéaire.

Représentation statistique des images

Champs aléatoire. Filtrage de Wiener. Prédiction linéaire optimale.

Transformations sur les images

Transformations ponctuelles. Transformations linéaires. Bancs de filtre et ondelettes. Transformations géométriques et techniques de recalage d'images.

Attributs sur les images

Problème de la détection et de la classification. Attributs statistiques, géométriques.

Bureau d'étude

Mise en œuvre sur ordinateur d'un problème de classification. Recalage d'images médicales.



PROFESSEURS

Béatrice CHEVALLIER

Jean-Luc COLLETTE

Metz - Majeure SIR - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/6 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIR-TI



BIBLIOGRAPHIE

Petrou M., "Image processing; The fundamentals", John Wiley and sons 2003.

Rosenfeld A., "Multiresolution image processing and analysis", Springer-Verlag 1984.

Pratt W., "Digital Image Processing", John Wiley and sons 1978.

Cocquerez JP, Philipp S., "Analyse d'images: filtrage et segmentation", Masson, 1995.

La majeure « Systèmes d'Information Sécurisés » permet aux étudiants d'enrichir leur curriculum vitæ par une compétence en sécurité informatique, domaine aujourd'hui fortement recherché dans l'industrie.

En effet, toute entreprise, quelle que soit sa taille, dépend à présent si étroitement de son système d'information que la sécurité de ce système est devenue pour elle un enjeu vital.

La majeure SIS apporte les connaissances nécessaires pour aborder les problèmes de la sécurisation du système d'information, via une formation équilibrée (théorique et pratique) couvrant la cryptologie, la prévention et détection des intrusions et les logiciels malveillants, la sûreté de fonctionnement et l'ingénierie de la sécurité.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure SIS seront capables :

- de décrire et comprendre les enjeux de la sécurité des systèmes d'information,
- de définir et expliquer les éléments constituant un système d'information,
- d'analyser et évaluer les besoins en sécurité d'un système d'information,
- de déployer et utiliser des solutions de sécurité, pour le poste de travail ou le réseau informatique,
- d'analyser et évaluer des solutions de sécurité, pour le poste de travail ou le réseau informatique.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|--|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Fondements | 18 | 19,5 | |
| | Prévention et détection des intrusions et logiciels malveillants | 18 | 25,5 | 4 |
| | Cryptographie pour l'ingénieur | 21 | 12 | 4 |
| | Ingénierie de la Sécurité des Systèmes d'Information | 31,5 | 3 | 4 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 60 | | 3 |
| | Étude Industrielle | 225 | | 9 |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

CRYPTOGRAPHIE POUR L'INGÉNIEUR

Les objectifs de ce module sont multiples. En premier lieu, il s'agit de donner les principes fondamentaux de la cryptographie moderne, en mettant l'accent sur l'utilisation concrète de ces principes, ainsi que leurs limites. Ensuite, sont introduits les protocoles cryptographiques, ainsi que les attaques classiques auxquels ils sont sujets, justifiant le besoin de preuve de protocoles. La partie suivante traite précisément de cet aspect preuve de protocoles cryptographiques, et détaillant plus particulièrement l'approche à base de model-checking. Finalement, l'utilisation des protocoles cryptographiques est présentée dans le contexte de groupes d'utilisateur. Un TL lié à SSL permet d'illustrer par la pratique cet aspect du cours. Il est introduit par un BE dédié.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de choisir un algorithme de chiffrement répondant à des besoins de sécurité précis, tout en tenant compte de contraintes diverses (efficacité, robustesse, gestion des clés, etc.).

PROGRAMME

Principes fondamentaux de cryptographie

Cryptographie symétrique, cryptographie asymétrique, fonctions de hachage, choix des algorithmes, standards, taille des clés

Cryptographie appliquée et Protocoles cryptographiques

Authentification, certification, échange de clés, attaques classiques, preuves à apport nul de connaissance, ...

Cryptographie avancée

Cryptographie à seuil, authentification de groupe, chiffrement de groupe, signature de groupe, certification de groupe



PROFESSEURS

Christophe BIDAN
Pierre-Alain FOUQUE
Cristina ONETE

Rennes - Majeure SIS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/12 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

3 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIS-CPI



BIBLIOGRAPHIE

Menezes A.J., Vanstone S.A., Oorschot P.C., "Handbook of applied cryptography", 1st. CRC Press, Inc. 1996, www.cacr.math.uwaterloo.ca/hac/.

Schneier B., "Applied cryptography (2nd ed.): protocols, algorithms, and source code in C", 1995. ISBN 0-471-11709-9, John Wiley & Sons.

Goubault-Larrecq J., "Sécurité, modélisation et analyse de protocoles cryptographiques", La revue de la sûreté de fonctionnement, 20, 2002.

FONDEMENTS

L'objectif de ce cours est en premier lieu d'apporter aux étudiants les compléments indispensables à la compréhension d'autres cours de la majeure ainsi qu'à la réalisation des études de laboratoire. Ainsi des concepts importants en programmation et en réseau sont-ils présentés (ou rappelés). De même, les bases de la sûreté de fonctionnement sont expliquées. Ce cours introduit par ailleurs des concepts fondamentaux en sécurité. Ainsi, sont présentées les grandes approches (politique de sécurité) ayant été proposées pour gérer la confidentialité et l'intégrité des informations au niveau du système d'information, sans tenir compte du recours éventuel additionnel à la cryptographie : HRU, BLP, Biba, RBAC. La déclinaison de ces modèles dans un système d'exploitation réel (Unix) est aussi présentée. Enfin, l'importance d'une approche formelle de développement pour garantir un certain niveau de sécurité est illustrée au travers des exemples de COQ, B et Isabelle/HOL.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves maîtriseront les concepts indispensables aux autres modules de la majeure.

PROGRAMME

Programmation

Java avancé, Python

Réseau

Politiques de sécurité et Unix sécurisé

HRU, Bell-LaPadula, Biba, RBAC, OrBAC

AppArmor, SELinux, GrSecurity

Développement formel et certification de logiciel



PROFESSEURS

Guillaume HIET

Guillaume PIOLLE

Nicolas PRIGENT

Éric TOTEL

Valérie VIET TIEM TONG

Rennes - Majeure SIS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/19,5 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé (commun avec le cours "Prévention et détection des intrusions et logiciels malveillants")



ECTS

4 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIS-FOND



BIBLIOGRAPHIE

"Le langage C, Norme ANSI", 2e édition, Kernighan and Ritchie, DUNOD.

"Le Langage C++", 2e édition. Bjarne Stroustrup, Addison Wesley.

"Security Power Tools", Bryan Burns et al, O'Reilly, ISBN 0-596-00963-1.

"Metasploit Toolkit for Penetration Testing, Exploit Development, and Vulnerability Research", James Foster, Syngress, ISBN 1-597-49074-1.

"SELinux by Example: Using Security Enhanced Linux", Frank Mayer, Karl MacMillan, David Caplan, Prentice Hall, 0-131-96369-4.

"SELinux", First Edition, Bill McCarty, O'Reilly, ISBN 0-596-00716-7.

Laprie J.-C et al. Guide de la sûreté de fonctionnement. Cépaduès - Éditions, 1995.

Projet MAFTIA,
<http://www.newcastle.research.ec.org/maftia/>, 2002.

D. Powell (Ed.), P. Verissimo, L. Rodrigues and J. Rufino (co-authors), « Delta-4: A Generic Architecture for Dependable Distributed Computing » ESPRIT Research Reports, Springer Verlag, November 1991, ISBN 3-540-54985-4, ISBN 0-387-54985-4.

D. Powell (Ed.), « A Generic Fault-Tolerant Architecture for Real-Time Dependable Systems », ISBN 0-7923-7295-6, Kluwer Academic Publishers, January 2001, 266 p.,
<http://www.wkap.nl/prod/b/0-7923-7295-6>.

INGÉNIERIE DE LA SÉCURITÉ DES SYSTÈMES D'INFORMATION

L'objectif de ce cours est d'une part d'illustrer comment les concepts théoriques et les outils pratiques étudiés par ailleurs dans la majeure s'exploitent dans des cas concrets pour bâtir des systèmes d'information sécurisés (études de cas, aspects techniques et aspects organisationnels), d'autre part de montrer comment la sécurité d'un tel système sécurisé donné peut et doit être évaluée (test, certification). Un TL et son BE préparatoire sont dédiés au pen test. Un éclairage est apporté sur la nécessaire protection de la vie privée, y compris dans des contextes sécurisés.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves disposeront d'exemples concrets d'applications industrielles des concepts, méthodes et outils vus par ailleurs dans la majeure. Ils seront en outre capables d'évaluer et certifier le niveau de sécurité atteint par une solution ou une autre. Finalement, ils sauront, même en milieu sécurisé, assurer la protection de la vie privée des utilisateurs.

PROGRAMME

Études de cas

Exemples de réseaux et de systèmes d'information sécurisés, Sécurité organisationnelle et facteur humain, sécurité des infrastructures critiques, carte à puce, informatique de confiance, analyse de risque, rôle des CERT

Évaluation de la sécurité

Protection de la vie privée



PROFESSEURS

Thierry BEDOIN
Eric BORNETTE
Olivier CALEFF
Julie CHUZEL
Sébastien HUSSON
Ludovic PIETRE-CAMBACEDES
Guillaume PIOLLE
Jean-Marie ULMANN
Rennes - Majeure SIS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

27 h cours/6 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

exposé



ECTS

4 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIS-IS

PRÉVENTION ET DÉTECTION DES INTRUSIONS ET LOGICIELS MALVEILLANTS

Les approches de sécurité classiques sont des approches préventives qui visent à empêcher les violations des propriétés de sécurité. Si les approches préventives sont indispensables, elles ne sont cependant pas suffisantes. En effet, des failles permettent de contourner les mécanismes préventifs. La sécurité réactive s'intéresse en conséquence à des techniques permettant de détecter les tentatives de violation des propriétés de sécurité et de superviser la sécurité des systèmes d'information. Cette forme de sécurité est complémentaire de la prévention et constitue une seconde ligne de défense dans la protection des systèmes. L'objectif de ce module est de présenter les classes de menaces (virus, vers, exploit), comment on tente de s'en protéger au travers de la mise en place d'outils préventifs aptes à les bloquer (authentification, firewall, IPS) ou réactifs (IDS, anti-virus). Un TL, préparé par un BE, permettra de réaliser un buffer overflow afin de bien comprendre le fonctionnement de ce type d'attaque.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables d'analyser les menaces pesant sur un système d'information et de proposer des contre-mesures de sécurité préventive et corrective adaptées.

PROGRAMME

Connaissance de la menace

Attaques Web, buffer overflow, virus.

Authentification et contrôle d'accès réseau

Viologie

Détection d'intrusions

Le cours de détection d'intrusion a pour objectif d'introduire les concepts de base de la détection d'intrusion ainsi que les méthodes de production d'alarmes les plus courantes, de montrer des alternatives à ces méthodes classiques (telles que la détection fondée sur le contrôle de flux d'information ou sur des approches classiques de détection d'erreurs issues de la sûreté de fonctionnement) et, enfin, de présenter les méthodes de traitement des alertes, plus communément appelées corrélation d'alertes et qui visent à aider l'administrateur à traiter de manière plus efficace le flux d'alertes qu'il reçoit. Les travaux dirigés permettent d'utiliser les outils classiques que sont Snort et Prelude.



PROFESSEURS

Jean-Marie BORELLO

Guillaume HIET

Éric TOTEL

Frédéric TRONEL

Valérie VIET TIEM TONG

Rennes - Majeure SIS - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

22,5 h cours/21 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé (commun avec le cours "Fondements")



ECTS

4 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SIS-PDIM



BIBLIOGRAPHIE

Eric Filiol, "Les virus informatiques : techniques virales et antivirales avancées", Springer, 2007.

Eric Filiol, "Les virus informatiques : théorie, pratique et applications", Springer, 2003.

McHugh J., "Intrusion and intrusion detection", International Journal of Information Security, Vol. 1(1):14-35, 2001.

Kerry J. Cox and Christopher Gerg, "Managing Security with Snort & IDS Tools", O'Reilly, 2004.

Kruegel C., Valeur F., Vigna G, "Intrusion detection and correlation: Challenges and solutions", Springer Advances in Information Security, Vol. 14, ISBN: 978-0-387-23398-7, 2005.



MAJEURES DU DOMAINE « TÉLÉCOMMUNICATIONS »

ÉLECTROMAGNÉTISME ET COMMUNICATIONS (Campus de Gif)

SYSTÈMES PHOTONIQUES ET DE COMMUNICATION (Campus de Metz)

TÉLÉCOMMUNICATIONS (Campus de Gif)

L'électromagnétisme est à la base de nombreuses applications de notre société moderne. Parmi ces applications, nous pouvons citer en premier lieu les télécommunications (faisceaux hertziens, radiodiffusion, téléphonie mobile, liaison mobile). La télédétection est aussi un domaine riche en applications (radar, radiométrie, radiolocalisation). L'imagerie, le contrôle non destructif sont aussi des applications actuelles.

La liste des applications s'allonge avec les progrès technologiques, augmentant sans cesse la complexité des systèmes. Tous ces progrès technologiques ne se font pas sans contrepartie : aujourd'hui, se pose le problème de la compatibilité électromagnétique dans tous les domaines techniques où se côtoient divers équipements électroniques (aéronautique, automobile, transport d'énergie...). Les problèmes et les phénomènes physiques présentés dans cette formation sont donc à la base de la révolution technologique actuelle.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure EC seront capables :

- de comprendre, modéliser et caractériser les systèmes utilisant la transmission de données ou d'information dans des secteurs industriels variés (télécoms, radar,... mais aussi transport, énergie, bâtiment,..).
- maîtriser les interactions entre un système et son environnement électromagnétique (compatibilité électromagnétique CEM)

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Rayonnement et antennes | 18 | 6 | 2 |
| | Propagation | 24 | 7,5 | 2,5 |
| | Communications optiques | 18 | 6 | 2 |
| | Radar et télédétection | 15 | 0 | 1,5 |
| | Compatibilité électromagnétique | 18 | 6 | 2 |
| | Techniques de transmission | 18 | 6 | 2 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 45 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

COMMUNICATIONS OPTIQUES

En partant de l'étude du point de vue "système" des composants optoélectroniques, le but de ce cours est de pouvoir concevoir et analyser les systèmes de communications optiques, et tout particulièrement les transmissions par fibre optique.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de concevoir et analyser les systèmes de transmissions optiques,
- mettre en œuvre les composants adaptés à un système de transmission optique donné,
- d'optimiser les réseaux de transmission sur fibres optiques,
- de comprendre et d'analyser les systèmes de transmission multiplexés en longueur d'onde.

PROGRAMME

Composants optiques

Fibres optiques monomodes et multimodes (propagation, affaiblissement, dispersion, effets non linéaires)

Analyse des modes de propagation, mode fondamental, fréquence normalisée, longueur d'onde de coupure.

Sources et détecteurs optiques. Diodes laser, diodes électroluminescentes, photodiodes PIN, photodiodes à avalanche, fiabilité.

Atténuateurs, coupleurs, multiplexeurs, circulateurs, commutateurs, isolateurs, connecteurs.

Amplificateurs optiques à fibre ou à semi-conducteurs, à effet Raman ou Brillouin.

Transmissions optiques

Transmission en modulation d'intensité directe et indirecte

Aspects techniques. Régulation thermique.

Bruit en réception, taux d'erreur binaire, diagramme de l'œil, bilan de liaison énergétique et en temps de montée.

Bande passante des liaisons optiques, limitation en débit

Propagation soliton dans la fibre monomode, effets des pertes de la fibre.

Transmissions cohérentes (ASK, FSK, PSK, DPSK). Hétérodynage, diversité de phase, effets de la polarisation.

Réseaux optiques

Liaisons point à point, topologie des réseaux optiques (réseaux arborescents, en étoile, en anneau).

Multiplexage des communications par fibres, cas du DWDM, multiplexage

Add and Drop, réseaux optiques passifs

Liaisons optiques en espace libre, applications.



PROFESSEURS

Alain DESTREZ

Gif - Majeure EC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/9 h TL



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

EC-CO



BIBLIOGRAPHIE

G.P. AGRAWAL, "Fiber-optic communication systems", Wiley interscience, series in microwave and optical engineering, 1992, ISBN 0-471-54286-5

I. et M. JOINDOT, "Les télécommunications par fibres optiques", Collection technique et scientifique du CENT, Dunod, 1996, ISBN 2 10 002787 5

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Les interférences électromagnétiques sont une forme grave et envahissante de pollution de l'environnement. Le cours présente plus particulièrement les mécanismes de couplage par rayonnement et les solutions envisageables pour se protéger de ces couplages. Une attention est aussi portée sur les moyens modernes à la disposition de l'ingénieur pour évaluer les risques occasionnés par ces phénomènes.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'appréhender la problématique de la compatibilité électromagnétique,
- de comprendre les principes physiques expliquant les différentes voies de couplage entre un signal perturbateur et un équipement,
- de dimensionner des systèmes de protection.

PROGRAMME

Présentation Générale de la CEM

Exemples.

Définitions.

Aspects économiques : nécessité de la prise en compte dès la phase de conception.

Une approche rationnelle.

Sources de perturbation

Sources de perturbation d'origine naturelle : classement suivant l'origine et le spectre.

Sources de perturbation d'origine naturelle : foudre, bruit atmosphérique, décharges électrostatiques.

Sources de perturbation d'origine artificielle : émetteurs, systèmes électriques quelconques, impulsions électromagnétiques nucléaires.

Etude de cas : perturbations sur le secteur.

Mécanismes de couplage

Diffraction par un objet.

Couplage sur des structures tridimensionnelles.

Protections

Règles de conception. Blindage. Plans de masse. Câbles blindés. Protection des ouvertures.

Simulation numérique

Méthodes approchées.

Méthodes exactes : équations intégrales et méthodes des moments, formulation variationnelle et éléments finis, différences finies.

Utilisation de la théorie des lignes. Equations BLT.

Tests et essais

Particularités des mesures en CEM.

Essais normalisés.

Où réaliser les mesures ?



PROFESSEURS

Dominique LECOINTE

Thierry LETERTRE

Gif - Majeure EC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/9 h TL



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

EC-CE



BIBLIOGRAPHIE

M. MARDIGUIAN, "Manuel pratique de compatibilité électromagnétique", Lavoisier.

P. DEGAUQUE, J. HAMELIN, "Compatibilité électromagnétique : bruits et perturbations radioélectriques", Collection Technique et Scientifique des Télécommunications, Dod

C. PAUL, "Introduction to electromagnetic compatibility", John Wiley.

PROPAGATION

Les transmissions radioélectriques concernent à la fois les phénomènes de propagation dans les structures de guidage amenant les signaux jusqu'aux antennes que les phénomènes de propagation dans l'espace (en général inhomogène) situé entre antennes d'émission et de réception.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'analyser les différentes structures de guidage existantes dans le monde industriel,
- de modéliser le phénomène de propagation qui résulte de chaque configuration en qualifiant les paramètres S des composants à étudier,
- comprendre la méthodologie et les mécanismes de conception des composants faisant intervenir la propagation guidée, à savoir, les diviseurs de puissance, les coupleurs directifs, les filtres et enfin, les résonateurs micro-ondes.
- d'identifier les limitations technologiques associée à chaque composant qu'ils pourront rencontrer dans le monde industriel,
- de prendre en compte les différents phénomènes qui affectent une liaison Hertzienne dans l'environnement terrestre,
- de dimensionner une liaison hertzienne dans cet environnement.

PROGRAMME

Propagation hertzienne

Généralités sur les études de propagation

Des contextes variés : milieux concernés et leurs effets ; propagation et télédétection ; diversité des services ; gammes de fréquence et leur utilisation.

Le canal de propagation et sa modélisation : modèles théoriques ou empiriques, déterministes ou aléatoires ; bande étroite ou large bande, représentation statistique, canaux variables dans le temps
Mesures de propagation : besoins et difficultés, références en espace libre, fonction de transfert, réponse impulsionnelle, directions d'arrivée.

Mécanismes de propagation

Réflexion, milieux non homogènes, diffraction, diffusion.

Milieux rencontrés et leurs effets

Troposphère, sol et sursol, hydrométéores.

Propagation guidée et applications

Analyse des structures de guidage : Lignes de transmission et guide d'ondes
Exemples de lignes : lignes micro-ruban, triplaque, guide coplanaire
Rappels sur : conditions de propagation, modes transverses et semi-transverses, dispersion, pertes. Caractérisation des jonctions : paramètres S, Paramètres S généralisés,
Modèle équivalent d'une ligne de transmission, équation des télégraphistes, paramètres d'une ligne de transmission, lignes de transmission à pertes, ligne micro-ruban : Approximation quasi-TEM.

Diviseurs de Puissances et Coupleurs Directifs

Lignes multiconducteurs homogènes, décomposition modale (cas de deux lignes)

Propriétés des diviseurs de puissance et des coupleurs

Synthèse de diviseurs de puissance et de coupleurs directifs, en guide d'ondes et en lignes couplées

Applications : Transformateur quart d'onde.

Filtres micro-ondes

Filtres à éléments réactifs, réalisations à circuits à constantes réparties.

Filtres à courts tronçons de ligne.



PROFESSEURS

François JOUVIE
Dominique PICARD
Mohammed SERHIR

Gif - Majeure EC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

24 h cours/7,5 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit commun comprenant la partie propagation guidée et la partie propagation hertzienne.



ECTS

2,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

EC-PROP



BIBLIOGRAPHIE

J. DEYGOUT, "Données fondamentales de la propagation radioélectrique", Polycopié de Supélec, Eyrolles, 1994

L. BOITHIAS, "Propagation des ondes radioélectriques dans l'environnement terrestre", Collection technique et scientifique des Télécommunications, Bordas.

D. M. POZAR, "Microwave Engineering", IEEE Press

M. HELIER, "Techniques micro-ondes", Polycopié Supélec, Ellipses, 2001.

Résonateurs

Circuits résonants série et parallèle
Résonateurs à base de lignes de transmission
Cavité Rectangulaire, Circulaire, Diélectrique
Application à la synthèse de coupleurs directifs.

RADAR ET TÉLÉDÉTECTION

Le but du cours est de pouvoir concevoir et analyser un système radar de finalité civile ou militaire. Le système radar englobe ici aussi bien les aspects technologiques (antennes, circulateurs, émetteurs) que les aspects liés au traitement du signal (traitement Doppler, imagerie radar). Dans le cas de la télédétection (imagerie radar) les aspects liés au porteur (avion, satellite) seront également abordés et illustrés à partir d'une description de systèmes existants modernes (exemple de TerraSAR) et de leurs applications (observation planétaire...).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de dimensionner un système radar en fonction de l'application visée,
- d'appréhender les enjeux actuels qui concernent les traitements en imagerie radar,
- d'interpréter une image radar, notamment dans des modes dits "avancés" (interférométrie, polarimétrie...).

Ils auront acquis une culture sur les capteurs actuels utilisés.

PROGRAMME

Définition et application des systèmes radar

Les constituants principaux, les bandes de fréquence utilisables
Exemples dans les domaines militaires et civils
Les évolutions récentes en radar (composants, traitement)
Les radars du futur (radar cognitif, multistatique, passif)

Les aspects énergétiques

L'équation du radar
La propagation : influence de la troposphère, trajets multiples, fouillis
Les différents types d'antenne et modes de balayage.

Le traitement du signal

Le signal radar et l'effet Doppler
Le récepteur idéal et la fonction d'ambiguïté
Les différents types de forme d'onde

Fonctionnement détaillé de 3 types de radar

Les radars aéroportés
Les radars secondaires pour la surveillance aérienne
Les radars météo.

L'imagerie radar

Principe de l'imagerie SAR ou radar à antenne synthétique
Comment interpréter une image radar
Les modes "avancés" : interférométrie, polarimétrie, PolInSAR
Les défis en imagerie : milieux forestiers, environnement urbain, modes avancés (bistatique).



PROFESSEURS

Elise KOENIGUER

Luc VIGNAUD

Gif - Majeure EC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

15 h cours/9 h TL



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit avec support de cours pour 3/4 de la note.

Évaluation sur la base du TL pour 1/4 de la note.



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

EC-RT



BIBLIOGRAPHIE

Soumekh, M. (1999). Synthetic aperture radar signal processing. A Wiley-Interscience publication, United States of America
O'Donnell, Robert. RES.LL-001 Introduction to Radar Systems, Spring 2007. (MIT OpenCourseWare: Massachusetts Institute of Technology),

RAYONNEMENT ET ANTENNES

Les antennes constituent un composant indispensable dans tout système de radiocommunication, et dans bien d'autres domaines comme la métrologie électromagnétique, la télédétection, les techniques d'imagerie, la radioastronomie, etc.

Le cours présentera les caractéristiques principales des antennes, et les considérations intervenant dans leur choix et dimensionnement. Ces thématiques seront abordées par deux approches complémentaires : une description macroscopique de type boîtier noir, où les contraintes d'utilisation et performance seront reliées aux différents cas applicatifs rencontrés en pratique ; une approche plus orientée physique, où les antennes seront analysées en tant que structures rayonnantes, faisant appel aux connaissances préalables en électromagnétisme introduites dans les cours de Champs et Propagation.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves sont capables :

- de comprendre le comportement, les avantages et les limitations des principales typologies d'antennes,
- d'identifier les éléments fondamentaux d'une structure rayonnante et en comprendre le choix, avec un nombre limité d'informations,
- d'appliquer les outils mathématiques et physiques introduits afin de savoir analyser/dimensionner précisément une antenne,
- dimensionner une chaîne simple de transmission radio.

PROGRAMME

Introduction aux antennes

Motivations dans l'étude des antennes. Les antennes comme transducteurs. principaux paramètres de mérite. Les contextes applicatifs et les contraintes imposées

Rappel de résultats physiques fondamentaux

Des équations de Maxwell au rayonnement

Étude du dipôle élémentaire. Introduction qualitative des caractéristiques communes des antennes. Rayonnement en champ lointain

Analyse des caractéristiques principales liées au rayonnement

Approximation de Fraunhofer. Intégrale de rayonnement. Zone réactive. Directivité. Efficacité de rayonnement. Polarisation

Modélisation circuit d'une antenne

Émission et réception. Bande passante. Adaptation. Hauteur et surface équivalentes. Équation de Friis

Interférence

Exploitation pour le contrôle de la directivité et de la diversité spatiale

Limitations physiques principales

Relations entre les performances d'une antenne et sa taille électrique

Analyse des principales typologies d'antennes

Filaires. Antennes patch et slot. À ouverture. Réflecteurs passifs planaires et paraboliques. Antennes diélectriques

Réseaux d'antennes

Géométrie (linéaire, planaire, circulaire, conforme). Réseaux phasés et couplage. Alimentation et techniques de synthèse. Réseaux adaptatifs

Éléments introductifs aux techniques de mesure d'antennes



PROFESSEURS

Andrea COZZA
Régis GUINVARC'H

Gif - Majeure EC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/9 h TL

Deux QCM permettent aux élèves de vérifier leur niveau de compréhension de la matière.

Les TL sont défini de telle sorte à compléter l'enseignement théorique, plutôt qu'à le valider/illustrer.



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

EC-RA



BIBLIOGRAPHIE

COLLIN and ZUCKER, "Antenna theory", McGraw-Hill.

BALANIS C.A., "Antenna theory", Wiley.

KRAUS J.D., "Antennas", McGraw-Hill.

TECHNIQUES DE TRANSMISSION

Les systèmes de communication numérique sont conçus pour transmettre des données en tirant parti au mieux des compromis de bande passante, bilan énergétique et de qualité de service. Pour détecter l'information numérique contenue dans le signal reçu, le récepteur doit récupérer la porteuse et le rythme. Dans les systèmes de radiocommunication, la sélectivité spatiale, temporelle et fréquentielle du canal de transmission impose, à la réception, des traitements supplémentaires pour lutter efficacement contre l'interférence entre symbole ou l'interférence d'accès multiple. L'objectif de ce cours est d'apporter les connaissances nécessaires à la compréhension et la conception d'un récepteur numérique.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

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

- d'appréhender les paramètres et le fonctionnement d'une chaîne de transmission numérique,
- d'en estimer les performances afin de concevoir un système de communication (choix de la technique, dimensionnement, réglage des paramètres) en fonction des objectifs et des contraintes.

PROGRAMME

Introduction

Chaîne de transmission en bande de base, interférences entre symboles, critère de Nyquist, filtrage adapté, probabilité d'erreur.
Modèles de transmission, sélectivité du canal, diversité des canaux à trajets multiples.
Théorie de la réception : récepteur optimal.

Transmission monoporteuse

Modulations linéaires, modulations à enveloppe constante : particularités et performances
Interférence entre symboles et égalisation.
Synchronisation : récupération de la porteuse et du rythme.
Éléments constitutifs du récepteur

Transmission multiporteuse

Principe de la modulation OFDM.
Intervalle de garde, synchronisation.
Lutte contre les non linéarités de l'amplificateur d'émission.

Transmission par étalement de spectre

Étalement de spectre par séquence directe.
Récepteur Rake.

Systèmes multi-utilisateurs multi-antennes

Techniques d'accès usuelles FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA.
Techniques MIMO



PROFESSEURS

Jacques ANTOINE

Gif - Majeure EC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/6 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

EC-TT



BIBLIOGRAPHIE

J.G. PROAKIS, "Digital Communications", Mac Graw Hill

J-C BIC, D DUPONTEIL, J-C IMBEAUX, "Éléments de communications numériques", Dunod, collection CENT-ENST, 1986

D. TSE, P. VISWANATH, "Fundamentals of Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005

A. F. MOLISCH, "Wireless Communications", Wiley-IEEE Press, 2005

A. J. GOLDSMITH, "Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005

A. J. VITERBI, "CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley Wireless Communications Series", 1995

S. VERDU, "Multiuser Detection", Cambridge University Press, 1998.

La majeure « Systèmes Photoniques et de Communication » permet d'acquérir les notions fondamentales et les compétences pratiques pour générer, amplifier, propager et traiter l'information sous forme optique.

Avec l'invention du laser et de diodes électroluminescente, l'amélioration des performances de propagation en optique guidée et nos connaissances en physique des matériaux et physique quantique, la photonique permet aujourd'hui le développement de solutions innovantes et à faible consommation pour par exemple stocker de grandes quantités d'information, mesurer avec la plus grande précision des variations de température et pression, la présence de composants chimiques, suivre l'évolution de tumeurs de façon non invasive, transmettre de l'information à très haut débit et en réseau. Les applications envisagées sont donc nombreuses et couvrent des domaines très variés du métier de l'ingénieur.

Les compétences acquises permettront à l'élève ingénieur de modéliser et simuler numériquement les systèmes photoniques, de concevoir et de fabriquer des dispositifs optiques avancés, et de traduire la physique du composant photonique en une application de traitement de l'information.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure SPC seront capables :

- de modéliser les mécanismes physiques sous-jacents au comportement d'un composant photonique actif ou passif,
- de simuler numériquement un modèle physique, incluant des équations non-linéaires différentielles ou aux dérivées partielles,
- de concevoir et fabriquer un composant photonique incluant un assemblage complexe de dispositifs optiques passifs, de systèmes micromécaniques et de milieux actifs à semi-conducteurs,
- de concevoir un banc expérimental permettant de mesurer les propriétés optiques d'un matériau ou d'un système avancé incluant des composants et dispositifs optiques.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Physique et application des lasers à semiconducteurs | 21 | 3 | 2 |
| | Nanophotonique et plasmonique | 7,5 | | 0,5 |
| | Domaines émergents de la photonique | 9 | | 0,5 |
| | Photonique verte : photovoltaïque et énergie solaire | 12 | 3 | 1,5 |
| | Optique non-linéaire | 24 | 3 | 2,5 |
| | Communications par fibres optiques et réseaux optiques | 21 | 6 | 2 |
| | Matériaux pour l'optique | 18 | | 1,5 |
| | Traitement optique de l'information | 12 | 6 | 1,5 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 32 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

COMMUNICATIONS PAR FIBRES OPTIQUES ET RÉSEAUX OPTIQUES

Le but de ce cours est de donner aux étudiants les outils de base de conception et d'analyse des systèmes de transmission modernes sur fibres optiques (réseaux de télécommunications sur fibres optiques modernes à très haut débit, réseaux sous-marins, réseaux WDM) à partir de l'étude de ses constituants (fibres optiques, diodes laser, photodiodes, multiplexeurs, circulateurs, amplificateurs et commutateurs optiques).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de:

- 1) comprendre les limitations physiques d'un système de transmission par fibres optiques
- 2) modéliser et simuler le comportement d'un signal impulsionnel se propageant dans une fibre optique
- 3) concevoir et optimiser une liaison de transmission WDM

PROGRAMME

ELEMENTS DE BASE DES COMMUNICATIONS PAR FIBRES OPTIQUES

Bases sur les fibres optiques

Propagation, rayons méridiens et des rayons gauches, fibres et équations de Maxwell. Profil d'indice, fréquence normalisée, fibres monomodes et multimodes. Limitations des fibres optiques : affaiblissement, dispersion, effets non linéaires.

Les fibres monomodes

Modes de propagation EH, HE, TM, TE, mode fondamental, existence, coupure. Solutions dans les transmissions sur fibres optiques, théorie, effets de l'affaiblissement.

Composants actifs pour fibres optiques

Diodes laser et diodes électroluminescentes, caractéristiques principales. Modulation (intensité, amplitude, phase, fréquence), régulation thermique. Photodiodes PIN et à avalanche, caractéristiques principales. Amplificateurs à fibre optique (dopée ou non), à semi-conducteurs, utilisations.

Composants passifs pour fibres optiques

Bruit en réception optique, diversité de polarisation, de phase. Atténuateurs, coupleurs, multiplexeurs, circulateurs, commutateurs, isolateurs.

Application aux réseaux optiques

Liaison point à point, réseau arborescent, réseaux en étoile (étoile distribuée). Réseau en anneau (simple, bidirectionnel, bus optique, double anneau bidirectionnel). Multiplexage des communications par fibres, WDM, TDM. Liaisons optiques par solutions de propagation.

Bureau d'étude

Analyse détaillée d'un système de transmission optique.

RESEAUX OPTIQUES WDM

Bref historique des télécoms optiques

Les principaux acteurs du marché télécom optiques dans le monde

Analyse rapide du marché. Description du portfolio Alcatel-Lucent

Les différentes limitations physiques

Atténuation. Dispersion Chromatique. Propriétés des différentes fibres commerciales. Dispersion des modes de Polarisation. Effets non linéaires liés à l'effet Kerr et à l'interaction avec le milieu. Bilan des limitations. Design d'une transmission WDM longue distance.



PROFESSEURS

Alain DESTREZ

David FILET

Metz - Majeure SPC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/6 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-CFO



BIBLIOGRAPHIE

G. P. Agrawal, "Fiber-optic communication systems", Wiley interscience, series in microwave and optical engineering, 1992, ISBN 978-0471215714

I. et M. Joindot, "Les télécommunications par fibres optiques", Collection technique et scientifique du CENT, Dunod, 1996, ISBN 978-2-1000-2787-3.

Les fonctions optiques de base

En Emission : principe de modulation. Dans la ligne de transmission : Amplification, gestion de la compensation de dispersion chromatique, gestion de la platitude spectrale. En Réception : Code correcteur d'erreur (FEC), compensation de la dispersion des modes de polarisation, introduction aux récepteurs cohérents.

Critères de qualités d'un système de transmission WDM

OSNR. Facteur de bruit des amplificateurs. Diagramme de l'œil. Facteur Q, BER. Pénalités.

Evolutions récentes et futures des réseaux WDM

Comment accroître encore la capacité ? Réseaux flexibles : les différents types de MIE (Multiplexeur Insertion Extraction). Réseaux transparents. Réseaux dynamiques. Réseau OTN. Réseaux optiques cohérents. Réseaux WDM terrestres et sous marins.

DOMAINES ÉMERGENTS DE LA PHOTONIQUE

Ce cours présentera sous la forme de 4 séminaires les travaux de recherche et développement récents en photonique dont les applications au traitement de l'information ne sont pas encore d'actualité mais sont envisageables à court ou moyen terme.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- mettre en relation leurs connaissances fondamentales en photonique avec des sujets multi-disciplinaires et émergents
- comprendre les enjeux de la recherche et développement en photonique
- apprendre un sujet présenté en anglais dans un langage scientifique approfondi
- faire une présentation orale en max. 15 minutes de travaux originaux en développant les aspects pédagogiques

PROGRAMME

Seminar 1: neuronal computing using laser diode dynamics and reservoir computing

Seminar 2: engineering of new wave shapes and geometry in optics and their applications

Seminar 3: applications of optical chaos to secure communications

Seminar 4: silicon photonics



PROFESSEURS

Jean FOMPEYRINE

Damien RONTANI

Marc SCIAMANNA

Delphine WOLFERSBERGER

Metz - Majeure SPC



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

9 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-DEP



BIBLIOGRAPHIE

G. P. Agrawal, N. K. Dutta, "Semiconductor Lasers", Springer (1993), ISBN 978-0442011024

MARCHÉS DE LA PHOTONIQUE

Ce cours illustre les différents aspects des marchés de la photonique et particularise la situation des marchés des télécommunications optiques, éclairage, énergie solaire, etc. Ce cours est donné par des acteurs importants de la photonique de la Vrije Universiteit Brussel (VUB) en liaison avec la Commission Européenne et la plateforme technologique Photonics21.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- comprendre les secteurs de marché associés à la photonique
- développer des capacités d'investir dans ces secteurs clés de marché

PROGRAMME

Analyse des technologies clefs de la photonique

Analyse générale du marché de la photonique

Analyse du marché de la photonique par secteurs

télécommunications optiques

éclairage

affichage

énergie solaire



PROFESSEURS

Tom GULDEMONT

Metz - Majeure SPC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

6 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

Pas de crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-MAP

MATÉRIAUX POUR L'OPTIQUE

Ce cours concerne la fabrication et la mise en oeuvre des matériaux dédiés à l'optique et l'optoélectronique. Une vision globale du domaine sera proposée, depuis l'étude des règles de conception, en passant par les étapes de fabrication, de caractérisation et d'intégration pour la réalisation de circuits et composants optiques opérationnels. Ce module permettra l'acquisition des compétences nécessaires à tous ceux qui mettront en oeuvre des systèmes utilisant des composants optiques.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de: fabriquer et caractériser des assemblages de matériaux semi-conducteurs dans l'objectif de réaliser des circuits et composants optiques, incluant la connaissance des techniques de nano-hétéro-épitaxie.

PROGRAMME

Propriétés fondamentales des matériaux pour l'optique et l'optoélectronique

crystallographie, structure de bandes, indices de réfraction, dopage...

Présentation d'une salle blanche

Technique de fabrication des matériaux

Epitaxie, dépôt...

Procédés technologiques de réalisation et d'intégration des composants

Lithographie, gravure, implantation...

Exemple de réalisation de composants opérationnels



PROFESSEURS

Jean-Paul SALVESTRINI

Metz - Majeure SPC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-MO



BIBLIOGRAPHIE

Joseph Simmons and Kelly S. Potter, "Optical Materials", Academic Press (1999), ISBN: 978-0126441406.

Mark Fox, "Optical Properties of Solids", Oxford University Press (2002), ISBN: 978-0198506126.

OPTIQUE NON-LINÉAIRE

L'enseignement dispensé dans ce cours propose une ouverture d'esprit sur la physique de l'optique non linéaire et constitue, pour tout ingénieur, un complément essentiel à toute formation en relation avec les télécommunications optiques ou le traitement optique de l'information.

Les phénomènes optiques non linéaires permettent de réaliser des dispositifs plus efficaces et plus compacts assurant des fonctions telles que la conversion de fréquence ou le traitement du signal. Les thèmes étudiés concerneront, à la fois, les fondements et les applications de systèmes photoniques basés sur l'interaction non linéaire lumière-matière.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- comprendre les mécanismes de base de l'optique non-linéaire et leurs applications au traitement tout optique de l'information
- modéliser et simuler numériquement les effets physiques d'optique non-linéaire
- mesurer expérimentalement les effets d'optique non-linéaire, et plus spécifiquement mesurer l'effet électro-optique exploité dans un modulateur électro-optique basé sur LiNbO₃

PROGRAMME

Introduction à l'Optique Non-Linéaire

Principes de base et formalisme de l'Optique Non-Linéaire

Equations d'ondes couplées et applications à la description de processus du 2e ordre

Génération de second harmonique, somme de fréquences, différence de fréquences, accord de phase, oscillateur paramétrique optique.

Indice de réfraction dépendant de l'intensité et applications à la bistabilité optique, à l'auto-focalisation de lumière, et à la conjugaison de phase

Diffusion spontanée et stimulée de la lumière

Rayleigh, Brillouin, Raman

Effet photoréfractif et application à la création de guides d'onde photo-induits

Dynamique non-linéaire de lasers à semi-conducteurs



PROFESSEURS

Marc SCIAMANNA

Delphine WOLFERSBERGER

Metz - Majeure SPC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

24 h cours/3 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-ONL



BIBLIOGRAPHIE

R. W. Boyd, "Nonlinear Optics", Academic Press (2008), ISBN 978-0123694706.

D. L. Mills, "Nonlinear Optics: Basic Concepts", Springer (2008), ISBN 978-35406418276.

PHOTONIQUE VERTE : PHOTOVOLTAÏQUE ET ÉNERGIE SOLAIRE

Ce cours permettra aux étudiants d'acquérir les notions fondamentales nécessaires pour une contribution à la photonique verte : 1/ physique du solide, optique et instrumentation pour la conception de cellules solaires à très haut rendement (dans des applications notamment de télécommunications), 2/ rayonnement solaire et instrumentation nécessaire à la mesure du rayonnement. Ces notions seront ensuite appliquées comme entrées à la simulation du comportement des modules photovoltaïques ainsi qu'à l'analyse de leur performance. La matière enseignée doit permettre aux élèves ingénieurs de bien identifier les performances de la filière en matière de production d'énergie ainsi que les besoins en Recherche et Développement pour accompagner leur développement.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de:

- comprendre la physique sous-jacente au fonctionnement d'une cellule solaire
- concevoir une nouvelle structure de cellule solaire impliquant un choix de matériau et une technologie pour améliorer son rendement
- concevoir une installation d'exploitation de rayonnement solaire

PROGRAMME

Photo-détecteurs : principes de base

L'effet photoélectrique, Interaction photon semi-conducteur.

Un cas particulier l'homo jonction PN en silicium. La loi du corps noir ou loi de Planck. Le rayonnement solaire. Principes de base de la cellule photovoltaïque.

Différentes technologies de cellules solaires

Les cellules solaires de première génération (le silicium). Les cellules solaires couches minces (seconde génération). Les cellules solaires de troisième génération (quelques exemples). Les cellules solaires organiques. Les cellules photovoltaïques de Grätzel.

Instrumentation et limitations physiques des cellules solaires

Mesures électriques. Mesure du rendement global. Mesure du rendement quantique. La limite Queisser et de W. Shockley. Les autres limites physiques du rendement des cellules solaires

Recherche en solaire et applications pour les télécoms

Filières de recherche: les matériaux III-V et les cellules solaires multi jonctions, les plasmons, les cristaux photoniques.

Applications télécoms: les stations de base, les réseaux de capteur dits machine to machine (réseaux M2M)

Exploitation de la ressource solaire

Dimensionnement des systèmes PV (architecture type d'un système PV, systèmes PV raccordés au réseau, systèmes PV autonomes dits off-grid, évolution du rendement des modules)

Evolution du marché PV et données technico-économiques

Répartition de la fabrication mondiale de PV. Répartition des systèmes PV installés. PV face aux autres énergies Green. Retour sur investissement (energy payback time). Feed-in tariff et grid-parity.

Energy harvesting pour l'Internet des Objets (IOT)

Concept du energy harvesting. Sources d'énergie green du IoT. Stockage de l'énergie green de l'IoT. Standards radio de l'IoT et exemples d'architecture réseau. Exemples d'objets connectés autonomes en énergie.



PROFESSEURS

Thomas RIVERA

Metz - Majeure SPC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/3 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-PHOT



BIBLIOGRAPHIE

Charles Kittel, "Physique de l'état solide", Dunod, Collection Sciences Sup - 2007 - 8e édition, ISBN-10 2100032674

Simon M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley and Sons Inc; 3rd Revised edition (2006), ISBN-10 0471143235.

Bernard Equer et Jacques Percebois, "Energie solaire photovoltaïque", Edition Ellipses, vol1 ISBN 978-2-7298-9345-3 (Physique et technologie de la conversion photovoltaïque), vol2 ISBN 978-2-7298-9390-3 (Aspects socio-économiques).

PHYSIQUE ET APPLICATIONS DES LASERS À SEMI-CONDUCTEURS

Ce cours donnera les principes physiques de base qui gouvernent le fonctionnement des lasers à semi-conducteurs, et détaillera leurs caractéristiques de fonctionnement et performances. Ce cours permettra d'appréhender la problématique des transmissions optiques du point des composants et servira de base à une spécialisation en télécommunications, capteurs optiques, nanophotonique, etc.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de :

- comprendre la physique sous-jacente au comportement d'une diode laser ou d'une diode électro-luminescente, d'un composant opto-électronique
- modéliser les comportements physiques essentiels des composants opto-électroniques pour analyser leurs performances
- simuler numériquement le comportement dynamique d'une diode laser
- analyser les marchés clés relatifs aux composants opto-électroniques

PROGRAMME

Principes de base, modèle statique et dynamique d'un laser à semi-conducteur (gain optique, cavité optique, modes longitudinaux, modes transverses, guidage par gain/indice, équations de taux, loi puissance-courant, courant de seuil, couplage amplitude-phase (facteur de Henry), spectre optique)

Caractéristiques dynamiques et performances de modulation d'un laser à semi-conducteur (délai d'établissement, oscillations de relaxation, bande passante limite de modulation, chirp, valeur limite débit x longueur en transmission par fibre optique)

Propriétés de bruit d'un laser à semi-conducteur (équations de taux stochastiques, bruit relatif d'intensité RIN, bruit de partition de mode, bruit de phase et largeur de raie minimale)

Nouvelles structures lasers à semi-conducteurs : lasers à boîtes quantiques, lasers à cascade quantique, lasers à cavité verticale.



PROFESSEURS

Marc SCIAMANNA

Metz - Majeure SPC



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/3 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-PAL



BIBLIOGRAPHIE

G. P. Agrawal, N. K. Dutta, "Semiconductor Lasers", Springer (1993), ISBN 978-0442011024

TRAITEMENT OPTIQUE DE L'INFORMATION

Ce cours vise à introduire à une discipline qui a toujours été pressentie comme riche en perspectives d'application depuis que l'on sait que la lumière calcule en se propageant. Les difficultés de réalisation ont freiné le développement de technologies utilisant cette discipline, malgré des inventions capitales, le laser, l'holographie, et les progrès de l'optique non linéaire. Ce n'est pas encore l'ordinateur optique mais probablement et prochainement verra-t-on apparaître des fonctions optiques dans l'ordinateur, en commençant par les interconnexions

PROGRAMME

L'optique de Fourier et la formation des images

Rappels d'analyse de Fourier. De la diffraction à la formation des images. Formation des images par double diffraction.

Traitement analogique des images

Filtrage des fréquences spatiales en lumière cohérente. Les fonctions caractéristiques. Filtrage linéaire. Applications. Filtrage des fréquences spatiales en lumière naturelle. Eclairage spatialement incohérent. Reconnaissance de forme en lumière cohérente. Echantillonnage et degrés de liberté d'une image.

Holographie

Présentation et principes. L'imagerie holographique. Visualisation et restitution 3D. Supports. Différents types d'hogrammes et hologrammes couleurs. Les éléments optiques holographiques. Holographie numérique..Interférométrie Holographique.

Modélisation système de fonctions holographiques et optiques dans l'ordinateur.

Métrologie : Principe d'instruments de mesure des déformations, architectures et modèles de dimensionnement. Reconnaissance de formes et corrélation. Composants d'intercommunications : capacités des éléments optiques holographiques, architectures et modèles.



PROFESSEURS

Nicolas MARSAL

Jean MAUFOY

Metz - Majeure SPC - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/6 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SPC-TOI



BIBLIOGRAPHIE

Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier optics", McGraw-Hill, 1988, ISBN 0-07-023776-X

Paul Smigiels "Holographie industrielle", Teknea, 1994, ISBN 2-87717-041-1

Thomas W. Cathey, "Optical information processing and holography", John Wiley & sons, 1974, ISBN 0-471-14078-3

Les télécommunications sont un des domaines qui a le plus marqué notre vie quotidienne des 20 dernières années. Les radiocommunications sont au cœur de ce développement. GSM, Internet, 3G/4G, modems câble, Wifi, objets connectés, smart grid, télévision numérique... Nous évoluons rapidement vers une société de l'information où tout le monde a accès à toutes les informations partout et à tout instant ; le besoin en haut débit, performance et forte mobilité n'arrête pas de croître.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure TEL seront capables :

- d'appréhender les paramètres et le fonctionnement des couches basses d'un système de transmission numérique,
- de comprendre l'impact des couches physique et réseau sur les couches supérieures,
- de concevoir un système de communication en fonction d'objectifs et de contraintes,
- d'appréhender de façon synthétique l'architecture et le fonctionnement des réseaux cellulaires,
- d'avoir une vue d'ensemble des systèmes cellulaires actuels (2G/3G/4G) et de porter un jugement sur des choix architecturaux et protocolaires effectués dans la construction des réseaux mobiles de prochaine génération

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Architectures et protocoles des réseaux sans fil | 21 | 3 | 2 |
| | Codage canal | 18 | 6 | 2 |
| | Communications MIMO et accès multiple | 21 | 3 | 2 |
| | Fondements et performance des réseaux | 21 | 3 | 2 |
| | Principes des communications numériques | 21 | 3 | 2 |
| | Systèmes cellulaires | 21 | 3 | 2 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 63 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

ARCHITECTURES ET PROTOCOLES DES RÉSEAUX SANS FIL

Les réseaux sans fil mobiles évoluent pour supporter de multiples services, en convergence avec les réseaux fixes. Ils s'appuient sur des réseaux d'accès radio hétérogènes et un réseau de cœur où l'approche paquet et tout IP dominera à terme, l'héritage d'une scission en domaine circuit et domaine paquet s'estompant et une architecture de commande IMS permettant de piloter ce domaine paquet pour tous services IP multimédia. Ce cours présente tout d'abord les problématiques liées au support de classes de services et à la mobilité des utilisateurs. Il introduit ensuite des principes, hérités d'Internet et des réseaux fixes multimédia de nouvelle génération (NGN), qui ont progressivement influencé la conception des réseaux mobiles 3G et au-delà. La partie finale du cours montre l'évolution des modèles, architectures et protocoles d'un système UMTS hérité du GSM/GPRS vers un système encore plus puissant (EPS) pour la 4G puis la 5G.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'analyser les problématiques de la fourniture omniprésente de services multimédias (qualité de service et support de la mobilité en particulier),
- d'évaluer les impacts des mouvements de convergence entre réseaux fixes et réseaux mobiles,
- de porter un jugement pertinent sur des choix architecturaux et protocolaires effectués dans la construction des réseaux mobiles de prochaine génération.

PROGRAMME

Réseaux hybrides (fixes et sans fil) et problématiques de qualité de service et mobilité

Qualité de service : Exigences applicatives et médias. Classes de services. Contrats de niveau de service. Architectures réseau à support de QoS, composantes et associations dans les plans C et U. Pionnier ATM. QoS dans Internet : Best Effort, RSVP/Intserv, DiffServ. MPLS : couche signalisation et acheminement, principales applications (TE, VPN...). QoS dans les réseaux sans fil.

Gestion de la mobilité en couche application/réseau/liaison. Adressage, itinérance, handovers. Mobilité dans les réseaux IP, macro (MIP), micromobilité (PMIP). Mobilité WLAN. Mobilité dans les réseaux 3GPP, interfonctionnements.

Évolutions des réseaux vers des architectures de nouvelle génération

Présentation des évolutions des architecture de commande de réseau et de services pour permettre la convergence fixe-mobile et la migration vers le tout-IP : a) Historique des évolutions pour permettre la mobilité, l'introduction de nouveaux services, la VoIP. Motivations et principes des architectures NGN.

b) VoIP : Principes de base. Protocoles de commande de sessions et de commande de passerelles. Introduction à SIP et à H.248. c) Architecture IMS du 3GPP : Normalisation et architecture fonctionnelle. Convergence fixe-mobile. Commande de QoS et gestion de la mobilité à travers l'exemple de la VoLTE. Exemple d'un service IMS non-téléphonique : RCS. d) Une approche en rupture avec WebRTC : Principes. Protocoles et API. WebRTC et IMS.

Systèmes 3G/3G+ et évolutions vers la 4G et la 5G

Système UMTS : Services (terminal, VHE/OSA, classes de services et qualité de service (QoS), évolutions vers IP). Fonctions, architecture et protocoles de l'UTRAN. Fonctions, architecture et protocoles du cœur de réseau. Gestion des appels/sessions, de la mobilité, de la qualité de service.



PROFESSEURS

Olivier CLEUZI
Marcel DUMAS

Gif - Majeure TEL - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

TEL-APRSF



BIBLIOGRAPHIE

HARDY, MALLEUS, MEREUR, "Réseaux : Internet, téléphonie, multimedia. Convergences et complémentarités", De Boeck Université.

X. LAGRANGE, "Principes et évolutions de l'UMTS", Hermes Science Publications, 2005.

CAMARILLO G., GARCÍA-MARTÍN M-A, "The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular Worlds", 2006.

S. SESIA, I. TOUFIK, M. BAKER, "LTE: The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice", Wiley, 2009.

Fonctionnement global et procédures système.

Evolutions de l'UMTS, LTE/SAE. Besoins en performances. Allocation du spectre. Processus de normalisation 3GPP. Architecture et fonctionnement du système EPS (Evolved Packet System). E-UTRAN (Evolved UTRAN). Intégration de technologies 3GPP et non-3GPP (WLANs, WiMax, Ethernet...). Réseau cœur EPC (Evolved PacketCore). Intégration de mobilités 3GPP et MIP. Architecture nodale logique de EPS et interfaces. QoS dans EPS. Plans U, plan C et procédures système de EPS (4G). Services supportés. LTE Advanced Pro (4.5G). Scenarii d'usage et grands principes pour la 5G. Nouveaux paradigmes RAN et nouveaux concepts architecturaux de EPS pour une plus grande souplesse d'adaptation aux contextes et services.

CODAGE CANAL

Le codage détecteur ou correcteur d'erreur (codage canal) est la technique permettant, dans une communication numérique, d'approcher les performances données par la limite théorique de Shannon. Durant les dernières années, la théorie et l'implémentation du codage a beaucoup évolué, en particulier grâce aux techniques de décodage itératif qui ont rendu possible des mutations significatives. Ce cours apporte des compléments aux notions de base introduites au niveau de la deuxième année et donne une ouverture sur les techniques plus récentes.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours les élèves seront capables :

- d'analyser l'impact du codage canal dans une grande variété de systèmes de communications,
- d'effectuer le dimensionnement en fonction de contraintes telles que la qualité, la complexité et les performances,
- de comprendre les mécanismes, choisir ou définir un ou plusieurs codes et les mettre en œuvre avec une stratégie appropriée.

PROGRAMME

Introduction

Codage canal une chaîne de transmission. Objectifs, stratégies, moyens, contraintes et indicateurs. Capacité du canal CBS et BBAG. Intérêt du décodage à entrées pondérées.

Codes en bloc

Codes linéaires et codes cycliques. Introduction aux corps de Galois ; codes BCH, codes RS.

Décodage à entrées dures : algorithme de Berlekamp. Taux d'erreur résiduel.

Décodage à entrées souples : algorithme de Chase.

Codes convolutifs

Représentation des codes convolutifs : diagramme d'état, treillis...; Codes systématiques, codes récursifs, codes catastrophiques, codes poinçonnés.

Décodage à entrées dures ou souples : algorithme de Viterbi ; performances pour les canaux sans mémoire.

Assemblage de codes. Intérêt des codes concaténés et de l'entrelacement ; exemples de systèmes utilisant des codes concaténés (satellite, TNT).

Décodage itératif

Algorithmes de décodage SISO : algorithme BCJR, SOVA.

Turbo-codes : Construction, propriétés, décodage itératif. Performances.

Codes LDPC : Construction des codes, décodage itératif. Performances.

Associations de codage et de modulation Modulations codées en treillis (TCM), codage multiniveau (MLC).



PROFESSEURS

Lionel HUSSON

Gif - Majeure TEL - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/6 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

TEL-CC



BIBLIOGRAPHIE

PETERSON and WELDON, "Error correcting codes", 1972, The MIT Press.

VITERBI and OMURA, "Principes des communications numériques", 1982, Dunod.

B. VUCELIC and J. YUAN, "Turbo codes: Principles and applications", Kluwer Academic Publishers.

BERROU C., "Codes et turbocodes", 2007, Springer.

MACKAY D., "Information theory, inference and learning algorithms", 2003, Cambridge University Press.

COMMUNICATIONS MIMO ET ACCÈS MULTIPLE

Dès la fin des années 90, face aux besoins croissants des communications radio (3G, WiMAX, Wi-Fi...), en débit et en qualité de service, l'utilisation des systèmes à antennes multiples (MIMO) est devenue une nécessité. Après avoir présenté les avantages et analysé les performances des systèmes MIMO, ce cours présente comment les ressources disponibles sont partagées entre les différents utilisateurs (techniques d'accès multiple).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de caractériser les limites fondamentales des systèmes MIMO,
- de construire des schémas de codage,
- d'analyser de diverses métriques de performance,
- d'appréhender les différentes techniques d'accès multiple dans les réseaux cellulaires,
- d'établir une chaîne de simulation pour communications MIMO.

PROGRAMME

Capacité et limitations des canaux MIMO

Introduction, motivation, exemples

Capacité du canal gaussien

Capacité des canaux à évanouissement rapide ou lent

Diversité

Schéma de transmission espace-temps

Architecture : V-BLAST, D-BLAST

Codage espace-temps

Code d'Alamouti

Récepteurs

Récepteurs linéaires : zéro-forcing, MMSE

Récepteurs à annulation d'interférences

Techniques d'accès multiples I

Introduction-Approches traditionnelles

Définitions : multiplexage, architecture cellulaire, allocation des ressources, etc.

Techniques d'accès en monoporteuses : FDMA, TDMA,

CDMA : séquences, récepteurs CDMA (récepteur "rake", détection multi-utilisateurs), capacité et couverture

SDMA

Techniques d'accès en multiporteuses : OFDMA, MC-CDMA

Techniques d'accès multiples II

Point de vue théorique

Accès opportuniste et diversité multi-utilisateurs

Modélisation spatiale de réseaux sans fil



PROFESSEURS

Marios KOUNTOURIS

Sheng YANG

Gif - Majeure TEL - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

TEL-MIMO



BIBLIOGRAPHIE

D. TSE, P. VISWANATH, "Fundamentals of Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.

A. F. MOLISCH, "Wireless Communications", Wiley-IEEE Press, 2005.

A. J. GOLDSMITH, "Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.

A. J. VITERBI, "CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication", Addison-Wesley Wireless Communications Series, 1995.

S. VERDU, "Multiuser Detection", Cambridge University Press, 1998.

FONDEMENTS ET PERFORMANCES DES RÉSEAUX

Les réseaux de télécommunications actuels, issus des réseaux téléphoniques et des réseaux de données, évoluent pour permettre de supporter de multiples services avec des qualités adaptées dans des environnements fixes et mobiles. La forte augmentation du trafic de données et la recherche de solutions économiques conduisent à repenser coexistence ou remplacement des infrastructures circuit par des infrastructures paquet. Ce cours introduit des problématiques importantes liées aux réseaux et développe principalement les concepts et techniques des liaisons locales et du transfert longue distance, notamment en direction de la compréhension des enjeux précités.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de maîtriser les bases des techniques de transfert de flux multimédias
- d'effectuer le dimensionnement de réseaux simples à commutation de circuits ou commutation de paquets en fonction de contraintes de qualité de service et de performances,
- de porter un jugement critique et effectuer une évaluation sur les stratégies et mises en œuvre adoptées dans d'autres environnements (industriel, embarqué, etc).

PROGRAMME

Fondements des architectures de réseaux et évolutions

Téléphonie numérique et principales fonctions du RTCP. Mode de transfert synchrone. Réseaux de transmission PDH et SDH. Réseau de commutation. Traitement d'appel. Rôle de la signalisation et principes des systèmes de signalisation (abonné, réseau). Concepts de réseau numérique à intégration de services.

Réseaux de données et Internet : Mode paquet, datagrammes, circuits virtuels et principales fonctions internes des réseaux étendus à commutation de paquets. Réseaux IP et architecture TCP-UDP/IP. Protocoles IPv4 et IPv6. Transport avec (TCP) et sans connexion (UDP) et évolutions. Brève introduction aux services Internet.

Routage

Principes et algorithmes de routage (vecteurs de distance et états de lien). Hiérarchisation de réseau. Principaux protocoles de routage intra-domaine (RIP et OSPF) et inter-domaines (BGP). Exemple pratique d'un réseau (topologie, configuration et routage).

Bases d'ingénierie du trafic

Caractéristiques du trafic (temps réel, non temps réel, mixte). Notions de configurations réseau. Introduction à la modélisation de trafic et au dimensionnement de réseau. Systèmes à appels perdus. Systèmes à attente. Formules d'Erlang. Systèmes à accès aléatoire. Applications à des réseaux circuit et réseaux paquet.

Réseaux locaux câblés

Architectures de LANs. Normalisation IEEE 802. Protocoles d'accès (MAC) : accès déterministe, accès aléatoire. Contrôle de liaison logique (LLC). Ethernet : solution partagée, solution commutée, évolutions vers le haut débit et de plus longues distances. Notion de VLAN. Qualité de service. IEEE 802.1Q/p.



PROFESSEURS

Marcel DUMAS

David JACQUET

Gif - Majeure TEL - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

TEL-FPR



BIBLIOGRAPHIE

FREEMAN, "Telecommunication System Engineering", 4th edition, Wiley.

G. PUJOLLE, "Les réseaux", Eyrolles.

FICHE and HEBUTERNE, "Trafic et performances des réseaux de télécoms", Coll. Technique et scientifique des télécommunications, Hermès-Lavoisier.

L. KLEINROCK, "Queueing Systems", Wiley.

PRINCIPES DES COMMUNICATIONS NUMÉRIQUES

Les différentes techniques des transmissions numériques en bande de base et sur fréquence porteuse visent à effectuer un compromis entre le débit d'information, l'encombrement spectral, le taux d'erreur après démodulation et la facilité de mise en oeuvre. Ce cours présente les différents procédés utilisés en pratique et leurs caractéristiques.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

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

- d'appréhender les paramètres et le fonctionnement d'une chaîne de transmission numérique
- d'en estimer les performances afin de concevoir un système de communication (choix de la technique, dimensionnement, réglage des paramètres) en fonction des objectifs et des contraintes.

PROGRAMME

Introduction

La chaîne de transmission en bande de base, codage en ligne
Canal à bande limité, interférences entre symboles
Critère de Nyquist, filtrage adapté, probabilité d'erreur.
Théorie de la réception : récepteur optimal.

Transmission monoporteuse

Modulations linéaires, modulations à enveloppe constante.
Modèle du canal
Egalisation adaptative : MLSE, DFE ; algorithme de Viterbi ; analyse des performances.
Synchronisation fréquentielle et temporelle.

Transmission multiporteuse

Principe de l'OFDM.
Bit and power loading
Synchronisation fréquentielle et temporelle.

Transmission par étalement de spectre

Etalement de spectre par séquence directe.
Récepteur Rake, performances.
Sauts de fréquence
Synchronisation

Canaux sélectifs et diversité

Canaux de Rayleigh, capacité.
Techniques de diversité, performances.



PROFESSEURS

Jocelyn FIORINA
Hikmet SARI

Gif - Majeure TEL - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

TEL-PCN



BIBLIOGRAPHIE

- J. G. PROAKIS, "Digital Communications", Fourth Edition, McGraw Hill, 2001.
- A. F. MOLISCH, "Wireless Communications", Wiley-IEEE Press, 2005.
- A. J. GOLDSMITH, "Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.
- A. J. VITERBI, "CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication", Addison-Wesley Wireless Communications Series, 1995.
- D. TSE, P. VISWANATH, "Fundamentals of Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.

SYSTÈMES CELLULAIRES

L'augmentation de l'utilisation de l'Internet et des services vidéo a motivé l'évolution des réseaux cellulaires vers des systèmes orientés parquets. Cette évolution est engagée au sein des forums/réseaux de standardisation (3GPP et IEEE). Ce cours décrit le concept cellulaire et présente les objectifs et étapes de l'évolution. Le focus du cours est sur la description des couches PHY/MAC des différents systèmes cellulaires (GSM, WCDMA, and OFDMA). Le cours décrit l'architecture générale et les différentes technologies utilisées/introduites afin de permettre cette évolution des systèmes cellulaires. Certains aspects théoriques et pratiques permettant le bon fonctionnement et l'optimisation des performances des réseaux seront décrits (allocation intelligente de ressources, ordonnancement, etc.).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables :

- d'appréhender de façon synthétique l'architecture et le fonctionnement des réseaux cellulaires,
- de disposer d'une vue d'ensemble des systèmes 3G-HSPA-LTE et approfondir l'étude du réseau d'accès radio et de son fonctionnement avec les réseaux de cœur actuels,
- d'appréhender de façon synthétique les techniques avancées d'optimisation de ressources.

PROGRAMME

Concept cellulaire

GSM

Architecture générale. Description de la couche physique. Canaux Logiques/physiques. Planification. Signalisation (exemples d'un établissement d'appel). Handover. Description du GPRS.

Système WCDMA (UMTS)

Description brève du CDMA. Description de la couche MAC. Canaux Logiques/Transport/physiques. Arbre de code OVSF. Signalisation. Procédures physiques. Planification.

Contrôle de puissance dans les systèmes cellulaires CDMA

Contrôle centralisé/distribué avec SINR cible fixe. Contrôle de puissance robuste. Contrôle de puissance opportuniste avec SINR variable. Allocation de BS et contrôle de puissance. Contrôle d'admission, Algorithmes implémentés en pratique.

HSPA

Description PHY/MAC. Canaux Transport/physiques. Procédures physiques. Notion de eNode B. Modulation et Codage adaptatif. HARQ. Ordonnancement.

LTE

Description PHY/MAC. Canaux Transport/physiques. Synchronisation et procédures physiques. Optimisation PHY/MAC. Abstraction PHY au niveau MAC. Interface lien système. Introduction au "cross layer design" (conception PHY/MAC).

Description succincte des techniques avancées d'allocation de ressources

Allocation de ressources comme un problème d'optimisation convexe. Ordonnancement fréquentiel. Contrôle de beamforming et ordonnancement dans les systèmes MIMO. Stabilité et allocation de ressources. Problèmes ouverts. Algorithmes implémentés en pratique.



PROFESSEURS

Mohamad ASSAAD

Vinod KUMAR

Dinh Thuy PHAN HUY

Gif - Majeure TEL - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

21 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

TEL-SC



BIBLIOGRAPHIE

HOLMA H., TOSKALA A., "WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications", Wiley, 2004.

HOLMA H., TOSKALA A., "HSDMA/HSUPA for UMTS", Wiley, 2006.

ASSAAD M., ZEGHLACHE D., "TCP performance over UMTS-HSDPA Systems", CRC Press, NY, 2006.

LAGRANGE X., GODLEWSKI P., TABBANE S., "Réseaux GSM", Hermes Science, Publications, 2000.

ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., "Fundamentals of WiMAX", Prentice-Hall, 2007.

LTE Standard (e.g. TR 25.814).

S. Stanczak, M. Wiczanowski, and H. Boche, W. Utschick, H. Boche, R. Mathar, "Fundamentals of Resource Allocation in Wireless Networks: Theory and Algorithms. Foundations in Signal Processing, Communications and Networking", Springer, Second Expanded Edition ed., 2008, vol. 3, 978-3-540-79385-4.

M. Chiang, P. Hande, T. Lan, and C. W. Tan, "Power Control in Wireless Cellular Networks", Foundation and Trends in Networking, vol. 2, no. 4, pp. 381-533, July 2008.



MAJEURES DU DOMAINE « TRAITEMENT DU SIGNAL ET ÉLECTRONIQUE »

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES (Campus de Gif)

MICRO ET NANO ÉLECTRONIQUE (Campus de Gif)

SYSTÈMES, ÉLECTRONIQUE, RÉSEAUX ET IMAGES SÉCURISÉS (Campus de Rennes)

SYSTÈMES INTERACTIFS ET ROBOTIQUE – Parcours Mathématiques (Campus de Metz)



OMA

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Professeur responsable : Emmanuel VAZQUEZ

**Les cours de majeure sont décrits dans
le catalogue de cours du cursus centralien**

La majeure « Micro et Nanoélectronique » s'oriente autour de la conception de systèmes électroniques intégrés analogiques, numériques et mixtes.

Les enjeux industriels derrière cette discipline sont cruciaux car, le domaine numérique étant bien maîtrisé grâce aux processeurs et aux FPGA, la plupart des défis technologiques actuels se situent autour de l'électronique analogique et de conversion.

Les enseignements de base de cette majeure (électronique numérique, analogique, mixte, radiofréquence, et optoélectronique) vont bien plus loin que l'électronique puisque les compétences acquises sont l'approche système, la modélisation et la simulation multi-technologique.

Des moyens de CAO professionnels sont mis à la disposition des élèves tout au long des enseignements. Ainsi les élèves-ingénieurs ayant suivi la majeure peuvent être rapidement opérationnels pour manager des projets complexes, en particulier en électronique.

Cette majeure se distingue des autres majeures d'électronique proposées au sein de l'École par la composante « conception de circuits intégrés mixtes (analogique + numérique) » qui fait de ce parcours une formation unique à très forte valeur ajoutée vis-à-vis de l'industrie française et des laboratoires de recherche partout à travers le monde.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure MNE seront capables :

- de spécifier, modéliser et concevoir des systèmes électroniques, analogiques, numériques ou mixtes,
- de concevoir des fonctions numériques au moyen du langage VHDL (aussi bien pour des applications FPGA qu'Asics),
- de simuler des fonctions analogiques ou mixtes et aller jusqu'à leur implantation,
- de mettre en œuvre une démarche de conception descendante d'un système, depuis la validation Matlab jusqu'au circuit fonctionnel en passant par la simulation fonctionnelle et la synthèse logique.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Conception de circuits numériques | 7,5 | 7,5 | 1,5 |
| | Électronique et composants intégrés analogiques | 21 | 9 | 3 |
| | Conception de systèmes intégrés mixtes | | 15 | 1,5 |
| | Composants optoélectroniques | 9 | 3 | 1 |
| | Conception de l'électronique radiofréquence pour les chaînes de communication numérique | 12 | 4,5 | 1,5 |
| | Économie de l'électronique | 6 | | 0,5 |
| | More than Moore : diversification fonctionnelle des dispositifs intégrés | 18 | | 3 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 93 | | |
| | Étude Industrielle | 225 | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

CONCEPTION DE L'ÉLECTRONIQUE RADIOFRÉQUENCE POUR LES CHÂÎNES DE COMMUNICATION NUMÉRIQUE

Les communications sans-fil connaissent une croissance soutenue depuis plusieurs années.

Des nouveaux besoins émergent chaque jour, obligeant les concepteurs à trouver des moyens pour raccourcir les cycles de conception. La Radio Logicielle (ou Software Defined Radio) est une des solutions mise en oeuvre : on déporte un maximum de traitement vers le processeur pour du traitement numérique du signal, en se reposant sur une architecture matérielle reconfigurable en fonction des applications.

Ce cours propose d'étudier les composants et les architectures radiofréquences présents dans les chaînes de communication numérique.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Donner aux élèves une vue d'ensemble des chaînes RF utilisées dans les communications numériques, des évolutions technologiques en cours et des difficultés liées aux systèmes reconfigurables dynamiquement.

PROGRAMME

Introduction

Rappel historique, présentation des enjeux technologiques

Composants : description fonctionnelle et modèles

Composants actifs et passifs utilisés en RF

Architecture : blocs élémentaires

Rappel sur l'amplification. Amplificateurs à faible signal en bande étroite et à large bande. Amplificateurs à faible bruit. Amplificateurs de puissance. Commutateurs ; Déphaseurs ; Oscillateurs ; Mélangeurs.

Modulation /démodulation numérique

Rappels sur l'échantillonnage, modulation/démodulation I/Q, facteurs de bruit, bande passante, interpolation et décimation.

Intégration/Systèmes

Couplage et interférences, bruits, jitter horloge.



PROFESSEURS

Sylvain AZARIAN

Didier FLORIOT

Gif - Majeure MNE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

MNE-CONCEPELEC



BIBLIOGRAPHIE

"Implementing Software Defined Radio" - Eugene Grayver - ISBN: 978-1-4419-9331-1

"RF Circuit Design" - Richard C. Li - Wiley - ISBN: 978-1-118-12849-7

"Digital Radio System Design" - Grigorios Kalivas - Wiley - ISBN: 978-0-470-84709-1

CONCEPTION DES SYSTÈMES INTÉGRÉS MIXTES

Les systèmes électroniques intégrés mixtes (avec une partie analogique et numérique) permettent de répondre à des nouveaux besoins en termes d'intégration, de consommation, de confidentialité ou de sensibilité aux radiations. Les systèmes électroniques intégrés mixtes (avec une partie analogique et numérique) permettent de répondre à des nouveaux besoins en termes d'intégration, de consommation, de confidentialité ou de sensibilité aux radiations.

Leur conception demande la connaissance de méthodes, de langages, et d'outils de conception, parfois complexes à prendre en main.

Ce module est la suite logique des cours d'introduction à l'électronique analogique et numérique de première année, et des cours d'électronique analogique et numérique de début d'année. Il aborde grâce à un projet 'fil rouge' les méthodes utilisées pour la conception des circuits intégrés mixtes, depuis la spécification jusqu'au placement routage et les vérifications finales.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de spécifier un système électronique simple puis de le concevoir,
- de décrire la partie numérique en langage VHDL puis de la synthétiser et de la placer-router avec des outils automatiques,
- de concevoir la partie analogique au niveau transistor, de la placer-router, et enfin de vérifier par simulations le bon fonctionnement de l'ensemble,
- de rédiger un rapport technique synthétique décrivant le fonctionnement de leur système avec ses performances.

PROGRAMME

CAO des circuits intégrés analogiques

L'objectif de ce cours est de fournir les connaissances fondamentales concernant les méthodes et les contraintes industrielles pour la conception de circuits intégrés.

Étude : conception d'un système intégré mixte

L'objectif de cette étude est la réalisation complète d'un circuit intégré, dans une approche top/Down depuis la spécification système jusqu'au layout du circuit complet. L'approche pédagogique privilégie largement les bureaux d'étude et les travaux de laboratoire, dans le cadre desquels on utilisera des outils de CAO industriels (CADENCE). Elle se décompose en les étapes suivantes :

- BE de préparation : révision des notions de signal nécessaire à la compréhension de l'étude.
- Validation des spécifications : validation de l'approche système par la création d'un modèle complet du système à réaliser.
- Conception de l'étage numérique : description en langage VHDL, test et caractérisation au moyen d'une carte de développement à base de FPGA, puis layout en vue d'une réalisation intégrée.
- Conception d'une fonction analogique intégrée : mise en place une démarche de conception d'une fonction analogique au moyen d'outils de modélisation simples.
- Layout de l'étage analogique et floorplanning du circuit complet : placement routage de l'étage analogique, puis du circuit complet.



PROFESSEURS

Anthony KOLAR

Filipe VINCI

Gif - Majeure MNE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

3 h cours/21 h BE

Ce cours s'articule avec un projet fil rouge de 81h (comptabilisé sur 6 crédits ECTS) permettant de mettre directement en application les notions apprises en cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

La notation se fera à partir des rapports rendus sur chaque partie du projet fil rouge.



ECTS

1,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

MNE-CONCEPSYST



BIBLIOGRAPHIE

Meaudre M., Weber J., "VHDL", Masson, 2001.

Rushton Andrew, "VHDL for logic synthesis", Wiley.

R. Jacob Baker, Harry W. Li, David E. Boyce, "CMOS circuit design, layout and simulation", Ed. IEEE Press, 1998, ISBN 0-7803-3416-7.

Alan Hastings, "The art of analog layout", Ed. Prentice Hall, 2001, ISBN 0-13-087061-7.

MODÉLISATION ET SIMULATION DES MICROSYSTÈMES

L'objectif de la partie "modélisation mathématique des microsystèmes" est de présenter les outils de modélisation et de simulation et la méthodologie de conception des microsystèmes électro-mécaniques (MEMS).

Le cours consiste en :

- une partie théorique, dédiée aux principes de détection et d'actionnement mis en œuvre dans les microsystèmes et aux méthodes de réduction d'ordre de modèle.

- une partie pratique, dans laquelle une cellule d'accéléromètre est modélisée et optimisée, avec l'aide du logiciel ANSYS, comme préalable à la conception de l'électronique associée.

L'objectif de la partie « Modélisation de systèmes multi-technologiques » est de présenter une méthodologie de modélisation de systèmes multi-physiques en s'appuyant sur le langage VHDL-AMS. Le cas exemple utilisé est la cellule d'accéléromètre étudiée dans la première partie, associée à des circuits électroniques analogiques et numériques. Le cours consiste dans un exposé d'introduction générale au langage VHDL-AMS, suivi de bureaux d'étude. Les bureaux d'étude permettent de mettre en œuvre outils, techniques de programmation et méthodologie de modélisation dans le but de concevoir un accéléromètre à sortie numérique directe de type sigma delta.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves élèves seront capables :

- de comprendre les principes généraux des capteurs inertiels MEMS.
- d'extraire les grandeurs caractéristiques (fréquence de résonance, facteur de qualité, etc.) d'une structure MEMS donnée.
- de réduire une EDP à un jeu d'EDO pour sa simulation.
- d'utiliser ANSYS pour des calculs de structure simples.
- de comprendre les principes généraux du langage VHDL-AMS
- d'établir le rapport entre les contraintes d'un cahier de charges et les grandeurs caractéristiques d'une structure MEMS donnée
- d'identifier les interfaces entre les domaines physiques
- de traduire le jeu d'EDO en code VHDL-AMS pour sa simulation
- de choisir puis affiner les paramètres d'un circuit électronique mixte simple

PROGRAMME

Physique des MEMS

Généralités sur les MEMS. Accéléromètres, gyroscopes, interrupteurs. Actionnement et détection électrostatiques. Autres méthodes d'actionnement et de détection.

Réduction d'ordre de modèle

Méthodes des résidus pondérés. Analyse modale. Méthode des éléments finis.

Bureau d'étude – Conception et optimisation d'un accéléromètre MEMS

Prise en main du logiciel ANSYS. Modélisation d'une cellule physique d'accéléromètre. Optimisation de la structure pour répondre à un cahier des charges.

Concepts, méthodologie, outils, langages pour la



PROFESSEURS

Jérôme JUILLARD

Filipe VINCI

Gif - Majeure MNE - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

4,5 h cours/30 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Mémoire et exposé orale



ECTS

2,5 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

MNE-MODSIMUL



BIBLIOGRAPHIE

M. H. Bao, Micro Mechanical Transducers

G. T. A. Kovacs, Micromachined Transducers Sourcebook

James F. Epperson, An Introduction to Numerical Methods and Analysis.

Peter J. Ashenden, Gregory D. Peterson, Darrell A. Teegarden, The System Designer's Guide to VHDL-AMS.

Yannick Hervé, VHDL-AMS : Applications et enjeux industriels.

conception de systèmes multi-physiques

Modélisation : niveaux de modèle, description fonctionnelle/structurelle, formalismes mathématiques usuels, modèles de calcul. Simulation numérique : régimes d'étude (statique, transitoire, harmonique), principales caractéristiques des algorithmes de résolution des équations différentielles ordinaires (pas de calcul, précision, stabilité). Méthodologie de conception descendante et conjointe. Vue d'ensemble des outils et langages : outils aux éléments finis, outils de description haut-niveau, outils pour la conception de circuits analogiques et numériques (SPICE, VHDL). Zoom sur le langage VHDL-AMS.

Bureau d'étude – Conception et modélisation d'un accéléromètre MEMS avec VHDL-AMS

Prise en main du logiciel Simplorer. Modélisation d'une cellule physique d'accéléromètre. Exemples de blocs composés de circuits analogiques, numériques et mixtes. Mise en œuvre de techniques de détection capacitive, actionnement électrostatique. Optimisation des paramètres de chaque bloc du système pour répondre à un cahier des charges.

Étude de cas

Mise en œuvre dans le cadre de la conception d'un accéléromètre à sortie numérique de type sigma-delta

Dans notre quotidien, qu'il soit personnel ou professionnel, nous manipulons de plus en plus de systèmes électroniques embarqués (objets connectés, smartphones, domotique, RFID, NFC, systèmes de localisation, ...). La réalisation de tels dispositifs nécessite une conception soignée pour tirer le maximum de performances (vitesse, consommation, portée...) des technologies électroniques du moment.

La Majeure « Systèmes, Électronique, Réseaux et Images » vise à former des ingénieurs de haut niveau dans le domaine de l'ingénierie des systèmes électroniques et notamment des systèmes embarqués et nomades.

Elle s'articule autour de trois axes majeurs :

- *le traitement des signaux et de l'information, pris notamment dans les domaines de l'image, des télécoms et des réseaux de communication,*
- *l'électronique et l'architecture des systèmes analogiques et numériques respectant l'ensemble des contraintes imposées par l'application (processeurs, FPGA, SOC, ...),*
- *le partitionnement logiciel-matériel, l'implémentation d'un système d'exploitation embarqué et le développement de couches logicielles applicatives,*
- *le management de la conception incluant les méthodes et outils nécessaires à l'ingénieur pour spécifier, concevoir, réaliser et valider des systèmes électroniques.*

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure SERI auront un niveau d'expertise élevé dans l'analyse des besoins, dans la spécification et la définition d'architectures de systèmes complexes et hétérogènes (multi-technologies). Ils seront également capables de concevoir et de valider ces systèmes dans des environnements variés.

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Analyse et synthèse d'images | 13,5 | 21 | 2 |
| | Architectures matérielles (FPGA et processeurs) | 18 | 18 | 2 |
| | Compression des images et du son | 13,5 | 3 | 2 |
| | Conception des systèmes électroniques | 16,5 | 9 | 2 |
| | Réseaux de communication et de diffusion | 9 | | 1 |
| | Technologies nanoélectroniques | 12 | 6 | 1 |
| | Transmissions numériques et modulations | 12 | 6 | 1 |
| | Validation et test des systèmes électroniques | 13,5 | | 1 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 144 | | |
| | Étude Industrielle | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

ARCHITECTURES MATÉRIELLES (FPGA ET PROCESSEURS)

Les processeurs et les composants programmables constituent le cœur de la plupart des réalisations électroniques ; on en trouve dans tous les domaines, notamment : l'informatique (de la calculatrice à l'ordinateur), l'automobile (ABS, injection, ...), l'automatique (automates programmables, contrôle de processus, ...), l'électronique domestique (thermomètre, télécommande, carte à puce...).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de comprendre les architectures des composants numériques utilisés dans les systèmes électroniques,
- d'associer les évolutions de ces architectures à celles des technologies microélectroniques pour guider leur choix dans la construction de systèmes électroniques.

PROGRAMME

Composants programmables

Les composants programmables permettent de réaliser des fonctions arithmétiques logiques complexes et très rapides avec un temps de développement très court. Avec l'évolution des technologies, il est maintenant possible d'intégrer dans un FPGA tout un système électronique (cœurs de processeurs, mémoire, périphériques), ce qui ouvre de nouveaux champs d'applications.

Approches de conception et marché des composants programmables

Critères de choix d'une filière technologique : les aspects techniques, industriels et économiques.

Environnements de développement FPGA : synthèse VHDL, simulation et validation.

Architectures et performances des composants programmables

Analyse des éléments de base des CPLD et FPGA actuels. Évolution des familles.

Concept SoPC : Hard et Soft cores.

Architectures reconfigurable et reconfiguration dynamique de FPGA.

Domaines d'application ; Performances et limitations technologiques internes et externes au composant.

Processeurs et Systèmes informatiques

Ce cours présente les principaux concepts architecturaux utilisés dans les processeurs, microcontrôleurs et cœurs de processeurs, en justifiant leurs mises en œuvre par la recherche de la meilleure adéquation architecture-application ; l'accent est mis sur la plate-forme (processeur dans son environnement) pour la constitution d'un système.

Architecture des processeurs

Optimisation des performances et gestion de la consommation ; structuration de l'espace mémoire.

Structures pipe-line, super-scalaire ; prédiction de branchements, exécution spéculative, hyper-threading.

Architecture de systèmes de calcul intensif

Architectures de calcul pour le traitement du signal : structures parallèles, pipe-lines, systoliques.

Processeurs dédiés (DSP) ou spécialisés (GPU et GPGPU)



PROFESSEURS

Pierre LERAY

Jacques WEISS

Rennes - Majeure SERI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

18 h cours/18 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé (en binôme ou trinôme)



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SERI-AM



BIBLIOGRAPHIE

J.L. HENNESSY, D.A. PATTERSON, "Computer Architecture, A Quantitative Approach", 3rd edition, M. Kaufmann, 2002.

W. STALLINGS, "Computer Organization and Architecture", 5th ed., 2000.

R. AIRIAU and al., "VHDL, langage, modélisation, synthèse", 2e édition.

J. RUDMAN, "Digital Computer Operator", Paperback.

COMPRESSION DES IMAGES ET DU SON

En plus des fonctions de filtrage couramment rencontrées dans les systèmes de traitement, le traitement numérique permet la mise en oeuvre d'algorithmes beaucoup plus performants tels que le filtrage adaptatif et la prédiction utilisés notamment dans les opérations de compression de la parole. L'implémentation temps réel de ces algorithmes nécessite de prendre en compte le temps de traitement et impose un compromis entre performance et nombre de calculs. Les structures multi-cadences vont dans ce sens. Enfin les propriétés des transformées (Transformées de Fourier, en cosinus, en ondelettes) facilitent également l'analyse et le traitement.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves auront acquis une bonne connaissance des algorithmes et des techniques mis en oeuvre dans le domaine du traitement du signal appliqué au codage du son et de l'image.

Ils seront capables de les spécifier et de les mettre en oeuvre dans des systèmes audiovisuels.

PROGRAMME

Le traitement numérique

Numérisation des signaux. Représentation des nombres. Fonctions de filtrage (structures et synthèse).

Bases de codage du signal

Propriétés statistiques du signal, méthodes de codage
Codages entropiques (Huffman, Arithmétique, LZW, Golomb).

Filtrage adaptatif. Prédiction linéaire

Algorithmes dans les domaines temporels et fréquentiels. Applications au traitement de la parole.

Systèmes de traitement multi-cadence

Structures. Banc de filtres. Codage en sous-bandes.

Transformées (Fourier, DCT, ondelettes...)

Algorithmes. Propriétés. Exploitation des espaces transformés.

Compression du son et des images (MPEG)

Compression du signal audio dans les radiocommunications et la télévision numériques (CELP, MPEG Audio, Dolby AC3, ...). Compression des images : transformation, quantification, estimation de mouvement...

Compression des images fixes (JPEG, JPEG2000...)

Standards MPEG -1, -2 et -4/AVC, DCI (cinéma numérique), HEVC



PROFESSEURS

Pierre LERAY

Jacques WEISS

Rennes - Majeure SERI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

13,5 h cours/3 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen oral



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SERI-CIS



BIBLIOGRAPHIE

M. BELLANGER, "Traitement numérique du signal : théorie et pratique", Dunod.

V.K. MADISETTI, D.B. WILLIAMS, "The Digital Signal Processing Handbook", CRC Press.

P.P. VAIDYANATHAN, "Multirate Systems and Filter Bank", PTR Prentice Hall.

B. GOLD B, N. MORGAN, "Speech and Audio Signal Processing", Wiley.

S.J. SOLARI, "Digital Video and Audio Compression", McGRAW-HILL.

CONCEPTION DE SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES (SOC, SIP ET CARTES)

Pour la recherche de performances (en efficacité énergétique, en puissance de traitement, en coût et en fiabilité), les systèmes électroniques tirent sans cesse profit des évolutions technologiques, du silicium et de l'assemblage.

Les SoC (System on a Chip) exploitent les possibilités d'intégration offertes par la technologie silicium ; ainsi, on regroupe sur une même puce un ou plusieurs processeurs, de la mémoire, des périphériques (numériques, analogiques) et des capteurs.

Les SIP (Systèmes In Package) et les cartes électroniques permettent l'intégration de technologies hétérogènes dans un volume restreint ; il faut alors maîtriser les technologies d'assemblage et d'interconnexion et prendre en compte les interactions potentielles entre modules.

Dans un cas comme dans l'autre, il faudra employer une méthodologie et des outils adaptés, de la conception jusqu'à la validation.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de spécifier et concevoir des systèmes électroniques complexes et hétérogènes, en mettant en œuvre des méthodologies de haut niveau.

PROGRAMME

Introduction

Le marché, les prix, l'intégration, les technologies actuelles

Les techniques de conception, description et comparaison

Méthodologie et cycles de développement de cartes et systèmes électroniques

Technologies ASIC - Les relations fondeur/concepteur

Conception des bibliothèques de circuits

Des circuits de base aux fonctions complexes (blocs IP)

La conception électrique - la conception physique

Le System On a Chip

Les composants d'un SOC

Les cœurs de processeurs - Les bus de communication - Les fonctions réutilisables.

Spécification - Conception fonctionnelle, architecturale, matérielle.

Conception système : les plates-formes

Systèmes embarqués : ressources, système d'exploitation (Linux, Android, ...), connectivité.

Conception des systèmes complexes, évolutions des approches de conception

Flot de conception de haut niveau de systèmes hétérogènes

Flot de conception : description de circuits et systèmes en C++.

Partitionnement logiciel-matériel. Cosimulation, modélisation

Différents niveaux d'abstraction

Optimisation et Recherche opérationnelle

Théorie des graphes. Ordonnancement. Allocation de ressources.

Parallélisation des opérations



PROFESSEURS

Pascal COTRET

Bruno DUFRIEN

Didier LOUIS

Christophe MOY

Amor NAFKHA

Rennes - Majeure SERI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

16,5 h cours/9 h BE



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé (en binôme ou trinôme)



ECTS

2 crédits ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SERI-CSI



BIBLIOGRAPHIE

Jean-Philippe Babau, Joël Champeau, Sébastien Gérard, "From Model Driven Engineering (MDD)", Ed. ISTE (2006)

Maheshwari and S. S. Sapatnekar, Timing Analysis and Optimization of Sequential Circuits, Springer, 1999.

Al-Hashimi Bashir : System-on-Chip : Next Generation Electronics ; IEE Circuits, Devices and Systems Series 18 ; Éd. Lee, 2006

RÉSEAUX DE COMMUNICATION ET DE DIFFUSION

Un spécialiste de l'architecture et de l'intégration des systèmes électroniques est doublement concerné par les réseaux d'informations : à la fois comme concepteur de systèmes et d'équipements et comme utilisateur. Ce cours complète les connaissances acquises en tronc commun et décrit les réseaux longues distances des opérateurs, les réseaux sans fil (radio) ou à courants porteurs de communication (informatique et téléphonie) et de diffusion (télévision).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de comprendre, spécifier et utiliser les réseaux de communication utilisés dans les systèmes électroniques, informatiques et multimédia.

PROGRAMME

Protocoles de réseaux longues distances (WAN)

Le protocole ATM : couches physique, ATM et d'adaptation (AAL). La signalisation ATM, le contrôle d'admission.

Le relais de trame (Frame Relay) : la signalisation, le contrôle d'admission. Multi Protocol Label Switching (MPLS) : rappels sur IP, Quality of Service (QoS), Virtual Private Network (VPN).

Réseaux de communication sans-fil (WiFi, WiMAX, Bluetooth et ZigBEE)

Protocoles et topologie

Réseaux de téléphonie mobile (GSM, UMTS)

Protocoles et topologie ; maillage et planification des fréquences

Réseaux de télévision numérique nomade et mobile (TNT et DVB-H)

Protocoles et topologie des réseaux de diffusion ; maillage et planification des fréquences



PROFESSEURS

Gérard CORDELIER

Eric DENIAU

Pascal PORCON

Jacques WEISS

Rennes - Majeure SERI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

9 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé (en binôme ou trinôme)



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SERI-RCD



BIBLIOGRAPHIE

H. NUSSBAUMER, "Téléinformatique", volumes 1 à 4, Presses Polytechniques Romandes.

G. PUJOLLE, "Les réseaux", Eyrolles.

P. ROLIN, "Réseaux hauts débits - Réseaux et télécommunications", Hermes.

A. TANENBAUM, "Réseaux", Prentice Hall - InterEditions.

A. TANENBAUM, "Réseaux : Architectures, protocoles, applications", InterEditions.

C. SERVIN, "Télécoms, de la transmission à l'architecture de réseaux", Collection Systèmes distribués.

TECHNOLOGIES NANOÉLECTRONIQUES

Les technologies nanoélectroniques sont le socle de toute réalisation électronique, leurs évolutions (telle la loi de Moore) permettent la réalisation de systèmes de plus en plus complexes et sophistiqués en étant de plus en plus intégrés. Ce cours complète les connaissances acquises en tronc commun en présentant les dernières technologies silicium (procédés, performances, prospective).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de comprendre le comportement et les évolutions des technologies actuelles et d'anticiper sur celles à venir,
- de faire des choix judicieux de composants et d'architectures pour la réalisation de systèmes électroniques,
- de comprendre les origines des limites de performances (vitesse, consommation, ...) des composants employés.

PROGRAMME

Différentes étapes technologiques : procédés mis en œuvre et équipement

Obtention du matériau Silicium. Oxydation thermique. Isolation localisée. Épitaxie, diffusion, implantation ionique. Photolithographie. Dépôts de silicium polycristallin et de diélectriques. Gravure. Dépôts des métallisations.

Filières technologiques

Technologies Silicium (CMOS et BiCMOS) Arséniure de gallium et Nitrure de Gallium

Technologies MEMS et nano-technologies.

Défauts, mécanismes de dégradation et améliorations technologiques

Latch-up. Vieillesse par électrons chauds, effet canal court (DIBL), courants sous seuil, fuites de grille, évolution vers des technologies soit rapides soit basse-consommation.

Évolution des technologies des circuits intégrés

Silicium sur isolant (FinFET et FDSOI), nouvelles topologies, puces 3D.

Production de circuits intégrés

Cycle de développement des circuits intégrés. Organisation d'une chaîne de fabrication. Outils de gestion de la qualité en production.

Conception analogique en technologie CMOS

Méthodologie, approches et outils de conception ASIC (Cadence). Composants et Structures élémentaires intégrées, amplificateurs, compromis vitesse/consommation/bruit.



PROFESSEURS

Christian MOREAU

Gilles TOURNEUR

Rennes - Majeure SERI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

12 h cours/6 h TD



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Examen écrit



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SERI-TN



BIBLIOGRAPHIE

M. MADOU, "Fundamentals of microfabrication", CRC Press, 1997.

P. RAI-CHOUDHRY (Ed), "Handbook of Microlithography, micromachining and microfabrication", SPIE Press, 1997.

VALIDATION ET TEST DES SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES

Le test des systèmes est un maillon de la stratégie des fabricants, il permet de mesurer la qualité et la fiabilité des produits et donc de valider l'ensemble de la chaîne de production. Compte tenu de la complexité et des performances croissantes des systèmes, le test est de plus en plus coûteux en temps et en équipement, ce qui impose des stratégies de conception facilitant le test pour en réduire le coût. Le test doit être réalisé à chaque étape de fabrication du produit (du composant intégré au système fini, en passant par la carte imprimée), les équipements et les stratégies de test seront alors adaptés au contexte ; la caractérisation, la validation et la maintenance posent également des contraintes spécifiques.

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'appréhender la problématique de la validation et du test des systèmes,
- de mettre en œuvre des méthodologies de développement adaptées au contexte.

PROGRAMME

Mise en œuvre du test

Intégrité du signal, caractérisation des interconnexions, sources de perturbations, notions de CEM.

Alimentation des systèmes et réjection des parasites

Circuits d'alimentation, composants spécifiques, découplage.

Caractérisation

Vérification fonctionnelle, caractérisation statique et dynamique, test fonctionnel et paramétrique. Diagnostic et localisation des défauts. Banc de test : organisation et flux quantitatif de test.

Validation et Test de cartes électroniques

Méthodes et outils d'investigation.

Test visuel. Test in-situ. Test fonctionnel, norme JTAG.

Test de circuits intégrés.

Test avec et sans contact. Test des circuits mixtes : analogique et numérique.

Évolutions et tendances

CAO et équipements de test. Jusqu'où peut-on tester ? Évolutions des approches de conception et de test.

Testabilité

Problèmes liés au test des CI. Modélisation des fautes ; analyse et mesure de la testabilité ; simulation de fautes. Génération automatique des vecteurs de test (ATPG). Conception en vue du test.



PROFESSEURS

Bruno DUFRIEN
Dominique GUÉRIN
Jacques WEISS

Rennes - Majeure SERI - en français



MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

13,5 h cours



MODALITÉS D'ÉVALUATION

Exposé (en binôme ou trinôme)



ECTS

1 crédit ECTS



RÉFÉRENCE DU MODULE

SERI-VTSE



BIBLIOGRAPHIE

Sun Yichuang : Test and Diagnosis of Analogue, Mixed-signal and RF Integrated Circuits ; Ed. Iet, 2008

Perelroyzen Evgeni : Digital Integrated Circuits : Design-for-Test Using Simulink and Stateflow ; Ed. Crc press, 2007

Rajsuman Rochit : System-on-a-Chip : Design and Test ; Ed. Artech house, 2000

La majeure Systèmes Interactifs et Robotique a deux objectifs :

- *l'acquisition d'un solide bagage de compétences en apprentissage automatique (reconnaissance de forme, prise de décision, gestion de l'incertain) et en traitement du signal et des images (analyse spectrale, image, son, parole), permettant de modéliser un problème de décision (dans un sens très large) et d'identifier une méthode pertinente de résolution ;*
- *l'acquisition d'un savoir-faire de mise en œuvre et d'intégration de ces méthodes dans un système, grâce à la maîtrise d'un langage de programmation et d'outils standards du domaine (OpenCV, scikit-learn, ROS, etc.).*

Les domaines d'applications étudiés sont les systèmes interactifs et la robotique. Toutefois, l'étude de la cinématique et des asservissements de robots n'est pas approfondie et les sujets des Études Industrielles (CEI) couvrent un large éventail : apprentissage, calcul haute performance, co-simulations, traitement des images, traitement statistique du signal, etc.

Deux parcours d'approfondissement sont proposés aux étudiants de ce cursus pour leur permettre d'acquérir une spécialisation en traitement du signal et statistiques (parcours mathématiques) ou en informatique (parcours informatique).

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

À l'issue de leur cursus, les élèves ayant suivi avec succès la majeure SIR seront capables :

- de comprendre les différents modèles d'apprentissage (bayésien, fréquentiste, supervisé ou non, etc.) et de signaux (aléatoires ou non, stationnaires, etc.)
- de modéliser un problème pratique de décision sous forme abstraite
- d'identifier les méthodes d'apprentissage et de traitement du signal pertinentes pour résoudre un problème
- d'appliquer et évaluer les performances des méthodes identifiées sur un problème
- de maîtriser un langage de programmation et avoir une expérience d'un middleware de robotique.

De plus, en fonction de leur choix de mineures, les élèves pourront approfondir leurs connaissances et compétences en :

- apprentissage statistique, traitement statistique du signal, analyse des signaux et des images, ...
- fouille de données (datascience), calcul haute performance, robotique, vie artificielle, objets communicants, ...

PROGRAMME

| RUBRIQUE | TITRE | COURS | TD/BE | CREDITS ECTS |
|--------------------------------|---|-------|-------|--------------|
| MAJEURE | Modèles de perception et de production | 6 | | 2 |
| | Interfaces innovantes et immersives | 15 | | |
| | Modélisation et analyse spectrale | 13,5 | 4,5 | 1,5 |
| | Traitement de la parole | 12 | 3 | 1 |
| | Traitement des images | 15 | 6 | 2 |
| | Apprentissage automatique | 21 | 10,5 | 2,5 |
| | Gestion de l'incertain | 15 | 10,5 | 2 |
| | Robotique autonome | 12 | 3 | 1 |
| | Introduction à la robotique médicale | 6 | | 1 |
| | | | | 12 |
| MINEURE | Six unités d'enseignement de mineure | | | 12 |
| ÉTUDES ET PROJET | Études de laboratoire | 72 | | |
| | Étude Industrielle | 150 | | |
| | | | | 12 |
| LANGUES | | | | 2 |
| SÉMINAIRE | | | | 2 |
| TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES | Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche | | | 20 |

**Les cours de majeure sont décrits dans
la présentation de la majeure SIR - parcours Informatique (page 70)**