

DOMAINE SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTE  
PROGRAMME PEDAGOGIQUE MASTER 2

## MASTER RESEAUX ET TELECOMMUNICATION

Parcours Systèmes communicants



### Objectifs de la formation

Les évolutions technologiques de ces dernières années ont profondément modifié le monde des réseaux et télécommunications. Outre la transmission simultanée de voix, données, images, à haut débit par réseaux fixes ou mobiles (4G/4G+), se prépare déjà la 5G pour permettre l'interconnexion et l'interopérabilité d'objets communicants, les réseaux intelligents dans un environnement domotisé et des villes intelligentes, le cloud computing, etc.

Parallèlement, les capteurs deviennent miniaturisés, distribués, autonomes, communicants, et organisés en réseaux pour communiquer entre eux, avec différents réseaux ou avec l'homme, et sont souvent à présent dotés d'une capacité de traitement et stockage de l'information. Ils peuvent se combiner à presque tous les objets de la vie courante (internet des objets), ces derniers pouvant potentiellement devenir des éléments de réseaux avec la capacité de déclencher un échange spontané d'informations, sans interaction avec leur utilisateur. Par ailleurs, les systèmes de traitement de l'information eux-mêmes sont en pleine mutation pour faire face à l'extrême quantité d'information générée comme en témoigne par exemple l'active recherche sur les réseaux neuromorphiques.

Ainsi, les systèmes communicants, et les technologies sous-jacentes, sont les éléments clés sur lesquels se construisent ces nouveaux champs applicatifs. Ils constituent le cœur de la présente formation.

Capitalisant sur les approches généralistes et systèmes, marques de fabrique de Centrale Lille, la formation du parcours Systèmes Communicants offre un solide approfondissement à la fois fondamental et appliqué, physique et technologique, pour fournir des ingénieurs et/ou chercheurs du plus haut niveau, mais également à large spectre, capables d'opérer professionnellement avec une vision globale dans ce monde des télécommunications en pleine mutation.

Pour compléter ce solide volet scientifique, la formation met également l'accent sur le développement de savoir-faire et compétences transversales nécessaires pour tout ingénieur et/ou chercheur : enseignements d'intelligence économique, de propriété intellectuelle, de démarche qualité, de management de projet, de langues, etc., et mise en pratique au travers d'un projet individuel.

## Organisation de la formation

La formation est organisée autour :

- 1) d'un ensemble de modules disciplinaires (435 H) couvrant la partie fortement scientifique,
- 2) des enseignements transversaux et langues (150 H),
- 3) du projet individuel (150 H)
- 4) d'un stage de fin de formation en entreprise ou laboratoire, en France ou à l'Étranger (4 à 6 mois).

Les modules disciplinaires couvrent les domaines allant des matériaux fonctionnels et de la physique ondulatoire (électromagnétisme, acoustique), nécessaires pour l'élaboration conceptuelle des systèmes communicants visés, de la modélisation multiphysique, nécessaire pour leur conception, élaboration et dimensionnement relativement à un cahier des charges, des Micro-Nano-Technologies, nécessaires pour leur fabrication et leur caractérisation, jusqu'aux Applications des systèmes communicants complexes mentionnés ci-dessus, une large part de la formation étant dédiée à ces dernières.

Afin d'élargir le spectre de la formation et sa professionnalisation, des projets transversaux inter-spécialités, des séminaires et de cours communs entre masters sont proposés. Ceci est également accompagné de cours de langue, d'intelligence économique, propriété intellectuelle, qualité, management de projet, etc. La structure proposée ne fait plus apparaître la notion de spécificité "recherche" ou "professionnelle". Notre objectif est de proposer à tous les étudiants du master 2 une formation leur permettant d'intégrer directement le monde professionnel ou de poursuivre en doctorat.

Une importance est apportée à la formation pratique, grâce à de nombreux TP, au projet individuel et au stage de fin d'étude, ce dernier pouvant s'effectuer en entreprise ou en laboratoire de recherche, en France ou à l'étranger.

Sur le plan pédagogique, notre objectif est de former des ingénieurs et/ou chercheurs de haut niveau capables de répondre aux besoins actuels des entreprises et des laboratoires de recherche, et ayant une grande faculté d'adaptation, pour rester à la pointe de l'innovation. Les enseignements, sous forme de Cours/TD/TP applicatifs, accordent une large part à la mise en pratique de manière à accompagner l'étudiant dans son processus d'acquisition de connaissances. Au-delà de ces aspects théoriques et pratiques, les étudiants seront sensibilisés: (i) aux problématiques actuelles et futures de leur spécialité, par des séminaires assurés par des professionnels du monde de l'entreprise et de la recherche; (ii) sur le monde de l'entreprise et de la recherche par l'UE "Outils pour l'ingénieur" commune à toutes les spécialités. Les projets techniques permettront aux étudiants de mettre en application les différentes connaissances acquises durant la formation pour résoudre des problèmes concrets.

## Atouts de la formation

Une grande force de la formation est de s'appuyer sur des compétences, plateformes technologiques et équipements d'excellence à l'échelle nationale et internationale disponibles localement dans les domaines visés.

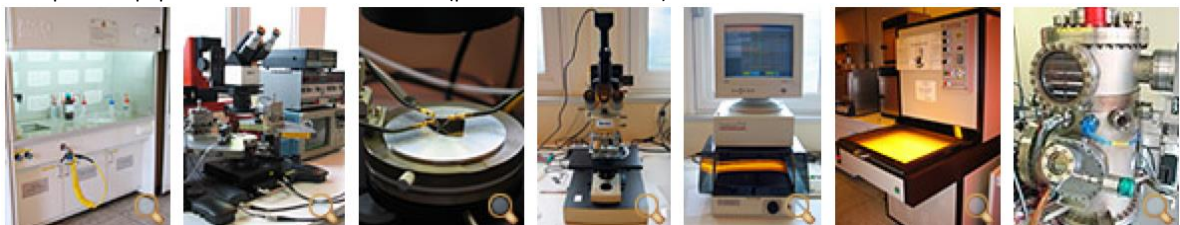
Tous les cours sont réalisés par des spécialistes reconnus dans chacun des domaines enseignés. Les projets et travaux pratiques proposés dans le cursus bénéficient par ailleurs directement des moyens évoqués ci-dessus.

Ceci comprend notamment :

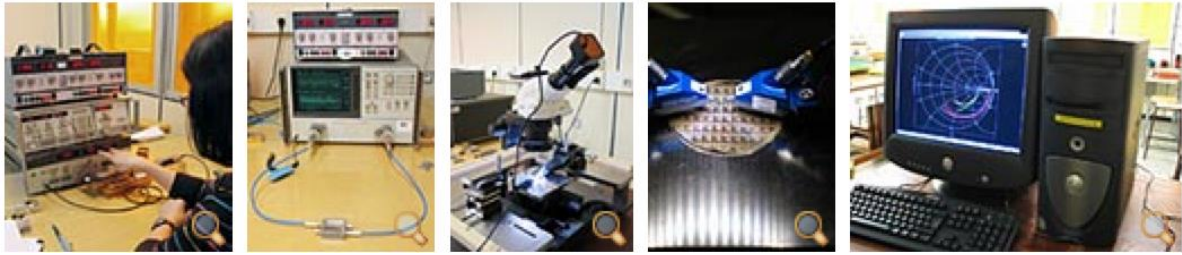
- Les centrales et plateformes d'excellence de formation du CNFM de Lille :

Le Master intègre en particulier des projets et travaux pratiques dans les salles blanches de microfabrication de la centrale de technologie, et sur les plateformes de caractérisation et de CAO sur logiciels industriels du CNFM de Lille (Centre National de Formation en Microélectronique).

Exemples d'équipements de microfabrication (photos CNFM de Lille) :



Exemples d'équipements de caractérisation (photos CNFM de Lille) :



- Des Laboratoires et Instituts de Recherche de niveau international et leurs équipements et plateformes recherche d'excellence (accessibles via les projets et stages) :
  - L'Institut d'Electronique, de Micro-électronique et de Nanotechnologie (IEMN) avec Centrale de technologie, Centrale de caractérisation hyperfréquences, Plateforme de microscopie champ proche
  - L'Institut de Recherche en Composants logiciel et matériel pour l'Information et la Communication Avancée (IRCICA) avec Plateforme de télécommunications, Plateforme Interactions-Réalités Virtuelle-Images, Plateforme photonique Fibertech
  - L'INRIA Lille



## Débouchés de la formation

Le secteur High-Tech des systèmes communicants est en évolution rapide et est de plus en plus diffusant dans les autres secteurs. Il se nourrit fortement d'innovations conceptuelles et technologiques et est lui-même générateur d'innovations dans ces autres secteurs. Il est bien sûr porté par **les grands groupes du secteur des télécommunications et de l'électronique**, mais le dynamisme dont fait preuve ce secteur a fortement glissé aussi vers les **PME/ETI et de nombreuses Startups** voient actuellement le jour chaque mois. **L'éventail des débouchés est ainsi très large** avec des opportunités particulièrement intéressantes et des parcours particulièrement riches pour des étudiants à vision généraliste, disposant en plus d'une solide formation d'approfondissement dans ce domaine high-tech.

En ce qui concerne la poursuite d'études en doctorat, ce master s'appuie sur les compétences de recherche développées au sein de l'IEMN (Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie), des fédérations de recherche que constituent l'IRCICA (Institut de Recherche sur les Composants logiciels et matériels pour l'Information et la Communication Avancée), de l'INRIA, ou encore l'INRETS (Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité). Ces laboratoires, qui regroupent un très important volant de chercheurs et enseignants chercheurs, ont d'importantes capacités d'accueil d'étudiants souhaitant poursuivre leurs études et atteindre le niveau du Doctorat.

## Programme pédagogique

Modules & Matières	Cours	TD	TP	Responsable
<b>Concepts, Elaboration, Conception, Fabrication de Systèmes Communicants</b>				
Matériaux actifs, électronique fonctionnelle, objets communicants	36	12	20	Philippe Pernod
Capteurs, Actionneurs & Microsystèmes			20	Abdelkrim Talbi
Physique et principes de fonctionnement des composants	36	/	/	Didier Theron
Conception / Simulation des systèmes numériques (VHDL / ASIC & FPGA)	/	/	16	Nicolas Tiercelin
Micro-Nano-Technologies (Fabrication en Salle Blanche) & Nano-caractérisation	20	2	20	Henri Happy
Stockage et récupération d'énergie pour capteurs/MEMS communicants autonomes	16	7	4	Christophe Lethien
Dispositifs & Architectures des systèmes de traitement et stockage de l'information	20	4	/	Alain Cappy
Simulation des systèmes multi-Physiques (Comsol)	/	/	16	Olivier Bou Matar
<b>Module Hyperfréquences / Opto-électronique / Télécommunications</b>				
Systèmes micro-ondes pour les Télécommunications	20	/	/	Jean-François Legier
Ingénierie pour les Systèmes de radio-Télécommunications	18	/	/	Christophe Seguinot
TP Systèmes Micro-ondes et de Radio-communications	/	/	24	Jean-François Legier
Opto-électronique & Télécommunications optiques	16	/	/	Cathy Sion
Communications Numériques	20	/	/	Olivier Bou Matar
Réseaux de Télécommunications mobiles (3G, 4G, vers la 5G)	6	/	/	Christophe Seguinot
Systèmes ultrasonores de télécommunication et d'imagerie / Sismique	24	/	12	Bogdan Piwakowski
Phys. des Ondes et Vibrations Non-linéaires/Magnétoacoustique	24	/	/	Olivier Bou Matar
<b>Module Economie / Informatique/Langue / Conférences...</b>				
Economie Industrielle et intelligence économique	12	/	/	
Ethique et propriété intellectuelle	12	/	/	
Qualité et management de projet				
Conférences (Economique, scientifiques, industrielles) et séminaires	30	/	/	
Visites d'entreprises et de laboratoires				
Langues	/	30	/	
<b>Projet</b>				
Projet individuel de 150 H	/	/	/	
<b>Stage en entreprise ou laboratoire, en France ou à l'étranger</b>				
Stage de 6 mois	/	/	/	

## Les Objets et Systèmes Communicants Concepts, Elaboration, Fabrication Autonomie d'énergie & Architecture de traitement et stockage de l'information

### Matériaux actifs pour l'Électronique Fonctionnelle, les MEMS et les Objets Communicants Philippe PERNOD

#### **Objectifs :**

Présenter les matériaux actifs massifs, en films minces, ou en nanostructures, et leurs applications pour la fonctionnalisation de composants leur permettant d'acquérir des fonctions de capteurs, d'actionnement, ou de communication.

Le cours abordera aussi bien la formalisation théorique avec une approche systématisée des mécanismes de ces matériaux, que l'étude de cas concrets, avec un panorama des champs applicatifs, de l'état de l'art et des marchés.

#### **Description du contenu :**

- Introduction : matériaux actifs, fonctionnels et intelligents. Définitions. Effets physiques non triviaux. Notion d'intelligence. Domaines d'applications. Marchés.

##### *Partie I : Matériaux actifs diélectriques*

- 1) Mécanismes de polarisation. Origine microscopique. Dépendance fréquentielle. Classes cristallines et identifications des matériaux piézo-, pyro-, ferro- électriques.
- 2) Piézo-électricité : Historique. Effets direct et inverse. Modèle 1D piézo-électricité / Electrostriction. Généralisation. Approche thermodynamique. Facteur de mérite.
- 3) Ferro-électricité : Historique. Cycle d'hystérésis. Transitions de 1er et 2ème ordre et théorie de Landau. Conséquences de la ferro-électricité. Aspects microscopiques. Transitions displacive et ordre-désordre. Structures en domaines. Exemples
- 4) Technologies spécifiques des films : Méthode du Dr Blade, sol-gel, méthode hydrothermale, ablation laser ; intégration électronique et MEMS
- 5) Applications à l'électronique fonctionnelle, aux MEMS et aux Objets Communicants

##### *Partie II : Matériaux ferromagnétique / multiferroiques*

- 1) Sous-systèmes de MEMS contrôlés par les matériaux actifs magnétiques : Panorama, intérêts
- 2) Interactions magnéto-élastiques : interactions d'échange et spin-orbitale, ordre magnétique, magnétostriction géante, couplage magnéto-mécanique, transfert d'énergie magnéto-mécanique, actionnement quasi-statique et dynamique
- 3) Principes d'actionnement de MEMS sans contact par champ magnétique (magnétostatique, magnétostriction, transformation structurale induite par champ magnétique)
- 4) Transition de phase magnétique et transition structurale induite par champ magnétique : Sensibilité critique au champ de commande au voisinage des transitions de phase ; Non-linéarités géantes des systèmes couplés au voisinage des transitions de phase, et nouvelles techniques d'actionnement non-linéaires de Microsystèmes Magnéto-Mécaniques (MMMS)
- 5) Technologie des films actifs magnétiques nanostructurés : Induction artificielle des conditions de transition de phase ; Intégration des actionneurs et capteurs ; Magnéto-élasticité à la base du transport de spin.



6) Matériaux multiferroïques : mono-phases, composites laminés et nanostructures

7) Applications à l'électronique fonctionnelle, aux MEMS et aux Objets Communicants

Conclusions générale : Perspectives

## Capteurs, Actionneurs et Microsystèmes Abdelrkim TALBI

### Description du contenu :

#### **1 – Capteurs & Actionneurs (25H Cours/TP + 25H TNE) : Géré par Centrale Lille**

L'objectif de cette partie est de comprendre les fondements physiques des systèmes propres aux domaines de la *mesure* et des *capteurs* et les caractéristiques métrologiques s'y rattachant. Il s'agira également d'apprendre à établir un cahier des charges, choisir une technologie, intégrer les éléments dans une chaîne de mesure et d'asservissement.

Cette partie sera réalisée sous forme de cours / TP de 25H, et accompagnée d'un travail non encadré de 25H selon le détail suivant :

##### • Cours / TP (25H) :

- Présentation du module – Historique – Analyse du marché – Généralités et Perspectives
- Cours : Capteurs de déplacements et de déformations – TP : Application d'un capteur inductif de déplacement linéaire : le L.V.D.T., d'un capteur de pesée à corps d'épreuve binoculaire et étude d'un codeur optique angulaire, affichage du déplacement»
- Cours : Capteurs de vibrations – TP : Application : Mise en pratique d'un micro-acceleromètre MEMS et d'un capteur à Ondes acoustiques de surface (SAW) pour les mesures de température, contrainte
- Cours : Capteurs de déplacement et de proximité – TP : Capteurs Optiques – TP : Etude d'un codeur optique angulaire, affichage du déplacement
- Cours : Maintenance prédictive des pannes – TP sur la détection de défauts de roulement sur machines tournantes à l'aide de mesures par accéléromètres et traitement de signal
- TP - Optimisation d'un actionneur magnétique (Simulation et caractérisation) & Capteur de champ magnétique de type sonde à effet hall,
- Résonateurs piézoélectriques micro-poutres (analyse par vibrométrie laser, simulation FEM)
- **Projet de design et simulation d'un capteur ou actionneur :**
- Encadrement de projet (5H TD)
- Travaux Non Encadrés TNE (20H) : Projet de design et simulation d'un capteur ou actionneur à l'aide de Comsol Multiphysics (Ex: Capteur de pression, Micro-capteur thermique à fil chaud, Actionneur ou Micro-actionneur magnétostrictif ou piézoélectrique, ...)

#### **2 - Micro-Systèmes, Micro-fluidique et Bio-MEMS : Géré par V. Senez**

- **Matériaux Polymères et Biologiques (3h (cours) + 2h (perso))** : Les matériaux polymères et biologiques présentent des caractéristiques très intéressantes pour les microsystèmes. Leur introduction dans les systèmes miniaturisés est croissante. Ce cours présente différents familles de matériaux polymère et biologique, des méthodes de synthèse et leur différentes propriétés en insistant sur l'aspect multifonctionnel. Ce cours est assuré par Vincent Senez.

- **Technologies spécifiques de micro/nano-structuration des matériaux pour les microsystèmes (3h (cours) + 2h (perso))**: Présentation de différents procédés technologiques, utilisant des approches dites 'top-down' et 'bottom-up' aux échelles micro et nanométriques propres au domaine des microsystèmes. Cette partie du cours suppose que les étudiants connaissent les procédés microtechnologiques de la microélectronique. Ce cours est assuré par Vincent Senez.

- **Lois d'échelle (2h (cours) + 1h (perso))** : La réduction des dimensions des systèmes amplifie les effets de surface par rapport aux effets de volume et modifie la dynamique globale d'un système miniaturisé. De plus, en dessous de 100 nanomètres, il est nécessaire de prendre en compte des effets liés aux forces dites 'intramoléculaires' dont l'amplitude est non-négligeable à ces échelles. Ce cours donne les éléments importants permettant d'appréhender la démarche de conception de systèmes de taille réduite. Ce cours est assuré par Vincent Senez.

- **Microfluidique (4h (cours) + 2h (perso))** : La réduction des dimensions des systèmes fluidiques amène à une modification de l'influence des grandeurs caractérisant les liquides. Ce cours présente quelques effets physiques prédominants liés aux interactions liquides / surfaces aux petites échelles. Au regard de ces effets, quelques exemples de réalisations dédiées à des applications biologiques sont présentés en lien avec la partie dimensionnement, fabrication et réalisation de ce module. Ce cours est assuré par Vincent Thomy.

- **Dimensionnement d'un circuit microfluidique par simulation numérique (3h (TD) + 12h (perso))** : Après une séance de prise en main du logiciel COMSOL (logiciel de simulation multiphysique par éléments finis), les étudiants auront à concevoir des systèmes microfluidiques. En s'appuyant sur les notions vues en cours les étudiants seront capables de dimensionner un système microfluidique en accord avec un cahier des charges. Cet enseignement est effectué par Thomas Dargent.

- **Fabrication et caractérisation d'un circuit microfluidique (4h (TP) + 2h (perso))** : Lors de ces séances de TP, les étudiants réaliseront des systèmes microfluidiques à partir d'un procédé de réplcation par polymères Ils auront ensuite à caractériser ces systèmes et ainsi mettre en application différentes notions vues en cours et TD. Cet enseignement est effectué par Thomas Dargent.

- **Applications aux BioMEMS :**

**1) Biocapteurs (3h (C-TD) + 2h (perso))** : Après un rappel sur la définition des biocapteurs, cette partie s'attarde sur le développement récent des biocapteurs de type ISFET, résonance plasmons de surface, interférométrie optique, microbalance à quartz et onde acoustique. La présentation est focalisée sur les aspects phénomène physique, matériaux et microfabrication. Ce cours est assuré par Nour Bourzgui.

**2) Lab-on-Chip (3h (C-TD) + 2h (perso))** : Les laboratoires sur puce sont des microsytèmes fluidiques permettant de manipuler et d'analyser des échantillons liquides (chimiques ou biologiques) de petite taille (i.e. : micro-litre). Ils comprennent différents modules : pompe, vanne, mélangeur, filtre, trieur, capteur, etc. Ils sont utilisés en chimie, en biologie, en pharmacologie, en médecine, en agro-alimentaire, en sécurité environnementale, dans le domaine de la défense. Ce cours présente l'état de l'art de ces systèmes et donne quelques exemples de produits commercialisés. Ce cours est assuré par Vincent Senez.

### Physique et principes de fonctionnement des composants

Didier THERON

### Conception / Simulation des systèmes numériques (VHDL / ASIC & FPGA)

Nicolas TIERCELIN

### Micro-Nano-Technologies (Fabrication en Salle Blanche) & nano-caractérisation

Henri HAPPY

#### Description du contenu :

La technologie microélectronique met en œuvre un nombre élevé d'étapes élémentaires, pour la fabrication d'un composant ou d'un circuit intégré. La maîtrise de ces techniques de fabrication est un facteur essentiel : (i) pour l'amélioration des performances des systèmes ; (ii) pour l'innovation (fabrication de nouveaux dispositifs)

Cette UE a pour objectif d'aborder les différentes techniques mises en œuvre pour fabriquer des composants et des circuits, en précisant les avantages et les limitations de chacune d'elles. Cet enseignement intégrera également une description détaillée des techniques adaptées pour observer et caractériser des nanostructures, telles que les microscopies à champ proche (STM, AFM). La mise en œuvre des différentes techniques abordées sera effectuée à travers des travaux pratiques en salle blanche, au pôle de formation de microélectronique de Lille (CNFM).

#### **Partie 1 - Technologie des composants et des circuits. (C- 16H TD-4H TP 16H)**

- Les techniques de lithographie
  - Lithographies optiques
  - Lithographie non optiques
- Les techniques de gravure
  - Gravures humides
  - Gravures sèches
- Les techniques de dépôt
  - Matériaux diélectriques
  - Métallisations

- Application des techniques à la réalisation de dispositifs  
Composants et circuits silicium (électronique numérique)  
Composants et circuits III-V (électronique analogique)

- Caractérisation électrique (BF) des dispositifs

**Thème de TP:** - Réalisation de composants (Résistances, diodes Schottky, MESFET, ...). Ces composants seront caractérisés en basse fréquence, et seront utilisés dans l'UE xxx pour la caractérisation sous pointes en haute fréquence (TP).

**Partie 2 – Microscopie en champ proche. (C- 6 H TD-2H TP 8H)**

- Principe de fonctionnement d'un microscope à effet tunnel (STM).
- Modes topographiques et spectroscopiques du STM.
- Principe de fonctionnement d'un microscope à force atomique (AFM) et domaines d'application
- Techniques de caractérisation électrique en champ proche issues de la microscopie AFM : détection de charges (EFM), mesure de potentiels de surface (KFM), mesure de capacités locales (SCM)

**Thème de TP:** - (i) Observation des échantillons adéquats sur l'AFM en modes contact et tapping. (ii) Observation de la surface du graphite en utilisant un microscope à effet tunnel.

**Stockage et Récupération d'énergie pour capteurs/MEMS communicants autonomes**  
**Christophe LETHIEN**

**Description du contenu :**

Micro-Sources (élémentaires et en réseau) et récupération d'énergie :

- Photovoltaïque
- Thermique,
- Mécanique,
- Electromagnétique (RF et IR et VIS)

Stockage de l'énergie :

- Supercondensateurs
- Microbatteries
- Piles à combustible

Systèmes mixtes et gestion de l'énergie

**Dispositifs et Architectures des Systèmes de traitement et stockage de l'information**  
**Alain CAPPY**

**Description du contenu :**

Après près de 40 années de croissance exponentielle, les performances des systèmes de traitement de l'information saturent pour des raisons à la fois scientifiques (limitations physiques fondamentales), technologiques (conception et fabrication des circuits, puissance dissipée) et économiques (investissements dans les unités de production, coût des masques). À cause d'une puissance dissipée gigantesque ( $100W/cm^2$ ), la fréquence des processeurs est ainsi pratiquement constante depuis 2004. Au-delà des approches traditionnelles du type 'multiprocesseurs' il devient nécessaire de réfléchir à l'introduction de nouveaux paradigmes de traitement de l'information. Ces nouveaux paradigmes doivent privilégier de nouvelles contraintes comme l'efficacité énergétique, la fabrication à ultra grande échelle et à bas coût, une grande variabilité des dispositifs, le bruit, etc. Ces nouveaux systèmes de traitement de l'information ne reposeront plus nécessairement sur les concepts et architectures actuels (logique binaire, architecture de Von Neumann, CMOS, règles de changement d'échelle et loi de Moore...); leur étude demande donc une approche multidisciplinaire réunissant à minima, les communautés des architectures de calcul, du traitement de l'information, des dispositifs matériels, des méthodes de fabrication, mais aussi de la physique fondamentale et de plus en plus les sciences permettant la compréhension de phénomènes biologiques (neuroscience, cognition, apprentissage, bio-inspiration etc. ...) .. Les communautés d'utilisateurs potentiels (notion d'usage) doivent également être prises en compte, car il est probable que chaque grande classe d'applications nécessite des concepts et approches spécifiques.

Après une présentation des questions scientifiques qui se posent ( limitations de la famille CMOS, mémoires interconnexions,, nous proposerons quelques pistes possibles pour le traitement de l'information de l'ère post CMOS.

**Simulation des Systèmes Multiphysiques**  
**Olivier BOU MATAR**



## Organisation des Communications Systèmes et Réseaux

### Systèmes Micro-ondes pour les Télécommunications Jean-François LEGIER

#### Objectifs :

Savoir identifier, analyser et dimensionner les fonctions élémentaires constituant un système de communication conçu à partir des règles de la microélectronique. Connaître l'état de l'art et les verrous technologiques.

#### Description du contenu :

- I - Historique des systèmes de communication de 1880 à nos jours.
- II - Grandeurs électromagnétiques caractérisant une fonction micro-ondes : les paramètres [S] .
- III - Ingénierie des fonctions passives micro-ondes : quadripôle adaptateur, circulateur, coupleur.
- IV - Elaboration des fonctions de bases : amplificateur équilibré, mélangeur, déphaseur.
- V - Intégration des fonctions élémentaires dans le contexte de la micro-électronique et état de l'art.
- VI - Le système intégré, les verrous technologiques et l'évolution vers les nanosystèmes.

### Ingénierie pour les radio-communications Christophe SEGUINOT

#### Objectifs :

Définir les règles d'ingénierie des systèmes de radiocommunications satellitaires et hertziennes

#### Description du contenu :

- I - **Eléments constitutifs d'une chaîne de transmission micro-ondes** : paramètres S, circulateur, isolateur, amplificateur, coupleur, filtre, duplexeur, mélangeurs.
- II - **Bruit dans les systèmes** : facteur de bruit, sensibilité, température équivalente de bruit
- III - **Non-linéarités, intermodulation et compression de gain**
- IV - **Bilan de liaison d'une chaîne de transmission**
- V – **Mises en applications** : familiarisation aux ordres de grandeur des caractéristiques des systèmes micro-ondes, analyse de chaînes de transmission GSM, par faisceaux hertziens, câblées, satellitaires. Sensibilisation aux règles d'ingénierie de base.

## TP Systèmes Micro-ondes et de Radio-Communications Jean-François LEGIER & Abdelkrim TALBI

### Objectifs :

Savoir manipuler les appareils et matériels utilisés pour la caractérisation des systèmes de radiocommunications micro-ondes.

### Description du contenu :

**I - Caractérisation de circuits passifs et actifs utilisés en radiocommunications**

**II - Mesures de bruit et d'intermodulation**

**III - Caractérisation d'oscillateurs**

**IV - Exemples d'association de fonctions micro-ondes**

**V - Manipulations d'analyseur de réseaux vectoriels, analyseurs de spectre, mesureurs de puissance, mesureurs de bruit, générateurs de signaux**

Matériels utilisés : analyseur de réseaux vectoriels, analyseurs de spectre, mesureurs de puissance, mesureurs de bruit

## Opto-électronique et Télécommunications Optiques Cathy SION

### Description du contenu :

**I – Généralités :** historique, émergence de la fibre optique, caractérisation des supports de transmission, vers un futur tout optique, marchés et prévisions de besoins

**II – Liaisons WDM par fibres optiques :** liaisons monolongueur d'onde, liaisons multilongueur d'onde, multiplexage

**III – Réseaux mondiaux en télécommunication optique :** transmissions longues et moyennes distances, comment augmenter le flux de données, multiplexage en longueur d'ondes, applications du WDM, TDMA, WDM, FDMA

**IV – Fibres comme supports de transmission :** structure, ouverture numérique, mise en équation de la propagation, distribution du champ, Bande passante, atténuation, pertes extrinsèques, pertes par couplage, raccordements, connecteurs, épissures, monomodes, débit numérique, fabrication

**V – Réseaux optiques :** architecture, câbles sous-marins, réseaux longues distances, surveillance, supervision

**VI – Systèmes opto-électroniques :** caractérisation des composants d'extrémité, DEL, Diodes lasers, couleurs disponibles, lasers DFB, Bande passante, bruit, photodétecteurs, effet photoélectrique, jonction PN, régénération, optique nonlinéaire, commutateur, MOEMS, microguides optiques, cristaux photoniques, génération optique d'un signal micro-ondes, interfaces micro-ondes-optique.

**VII – Conclusion, perspectives et bibliographie**

## Communications Numériques Olivier BOU MATAR

### Description du contenu :

#### I - Introduction

II - Les modulations numériques : Définition et appellations, Principe des modulations numériques

III - **Modulation par Déplacement d'amplitude (MDA)** : Modulation par tout ou rien, Modulation à "M ETATS", Les constellations "MDA M Symétrique", Chronogramme de "MDA 4 Symétrique", Le spectre de la "MDA M Symétrique", Modulation et démodulation, Les performances des "MDA M", Conclusion sur la MDA

IV - **Modulation par Déplacement de phase (MDP)** : Exemple : La Modulation "MDP-2", Chronogramme de LA "MDP-2 », Modulation et démodulation, Le spectre de LA "MDP-2", Exemple : La Modulation "MDP-4", La constellation "MDP-4", Chronogramme de "MDP-4 », Modulation et démodulation, Généralisation aux MDP-M, Modulation et démodulation, Spectre et efficacité spectrale, Les performances, Conclusion sur la MDP, Comparaison la MDA et la MDP \*

V - **Modulation d'amplitude sur deux porteuses en quadrature (MAQ)** : Les constellations MAQ-M, Modulation et démodulation, Efficacité spectrale, « MAQ » : une généralisation de la MDA et de la MDP

VI - **Modulation par Déplacement de Fréquence (MDF)** : La modulation MDF à phase discontinue, Exemple: MDF binaire à phase discontinue, La modulation MDF à phase continue MDF-PC, Exemple: MDF binaire à phase continue, Les performances, Conclusion sur la MDF

#### VII - Applications

#### VIII – Conclusion, Bibliographie

## Réseaux et Télécommunications mobiles Christophe SEGUINOT

### Objectifs du cours :

Présentation des architectures des réseaux GSM, GPRS, UMTS, 4G, 4G+, 5G

### Description du contenu :

#### I - Concept de réseau cellulaire

II - Partage des ressources radio : TDMA, FDMA, TDD, FDD, CDMA

#### III - Architecture du réseau GSM

IV – 3G, 4G, et vers la 5G: GPRS, EDGE, UMTS, 4G, 4G+ et vers la 5G

## Systèmes ultrasonores de Télécommunications et d'imagerie Bogdan PIWAKOWSKI

### Description du contenu :

#### I – Connaissances de base

- 1.1. Rappel : grandeurs acoustiques, notations unités, équation d'ondes, types d'ondes acoustiques, transmission, réflexion, conversion des modes, ondes harmoniques/impulsionnelles, Absorption du milieu- causalité, dispersion de vitesse.
- 1.2. Champ acoustique d'un transducteur: méthodes du calcul, formule intégrale de Kirchhoff, intégrale de Rayleigh, champ harmonique/impulsionnel, Notion du filtre spatio- temporel. Champ proche, intermédiaire, lointain
- 1.3. Système ultrasonore complet en régime harmonique/impulsionnel. Fonction de couplage. Principe de réciprocité. Notion des résolutions angulaire, latérale, radiale. Expositions A, B, C.

#### II - Eléments du traitement du signal et de la théorie d'antennes

- 2.1 Transducteurs ultrasonores : comportement acoustique, mécanique et électrique. Schéma équivalent, adaptation électrique/mécanique, fonctionnement en régime harmonique et impulsionnel. Réalisation des transducteurs, transducteurs spéciaux: matriciels, composites, sandwich, actionneurs, moteurs ultrasonores.
- 2.2. Antennes acoustiques, directivité, théorème d'échantillonnage dans l'espace, ouvertures synthétique, SAFT, focalisation et balayage, mécanique/électronique, pondération, beamforming,

#### III - Système ultrasonore en termes d'un système de télécommunication

- 3.1 Equation de communication en hydroacoustique, ses éléments, sa comparaison avec un système à l'onde électromagnétique et son utilisation Modèles d'un système de communication ultrasonore et d'un système sonar.
- 3.2. Application : Echosondes, sonars, sonar latéral, beamformers, caméra hydroacoustique. Systèmes de communication sous marine, système de navigation sous marine. Systèmes passifs. Log ultrasonore
- 3.3. Applications au traitement des signaux : filtres à onde de surface, processeurs temps réel (filtres adaptés...), lignes de retard.

#### IV - Application des ultrasons

- 4.1. Contrôle non destructif, stratégie, choix de la fréquence. : imagerie des défauts, Expositions A, B, C, , applications. Microscopie acoustique, Systèmes laser, Spectroscopie acoustique, Emission acoustique,
- 4.2. Caractérisation du milieu par intermédiaire des ultrasons. Mesures de vitesse, d'absorption, d'épaisseur. Méthodes "sing around", FM, résonance. Applications.
- 4.3. Systèmes d'imagerie médicale, imagerie Doppler, imagerie harmonique, elastographie, tomographie
- 4.4. Applications grand public : moteurs ultrasonores, détecteurs de mouvement, « bipers », mesures de débit
- 4.5. Ultrasons forte intensité : effets chimiques, biologiques mécaniques des ultrasons. Outils ultrasonores.

#### V – Imagerie Sismique

## Physique des Ondes Non-linéaires Olivier BOU MATAR

### Description du contenu :

I – Phénomènes paramétriques ondulatoires. Retournement temporel acoustique et optique. (rétofocalisation automatique, compensation des distorsions de phase, imagerie sans lentilles). Techniques numériques de retournement temporel, filtrage adaptatif des ondes électromagnétiques.

II – Equations fondamentales d'acoustique non-linéaire (Equations de Navier & Stockes, de Westervelt, de Burgers et de KZK). Nonlinéarités optiques.

III – Interaction des ondes, conditions de synchronisme de phase. Génération d'harmoniques. Imagerie harmonique acoustique. Compensation des distorsions de phase en imagerie non-linéaire. Télédétection des paramètres non-linéaires en contrôle non-destructif et imagerie médicale. Diffusion des ondes par ondes. Génération de basse fréquence (Antennes paramétriques des sonars, vibroacoustographie, autodémodulation.).

IV – Ondes de choc et dents de scie. Solution de Riemann. Nombre de Reynolds. Méthode de Hopf-Cole et approximation de Khokholov. Lithotritie.

V – Milieu non-linéaire et dispersif. Equation KDV. Solitons acoustiques et optiques. Application pour les transmissions d'information.

VI – Magnéto-Acoustique non-linéaire. Non-linéarités géantes au voisinage des transitions de réorientation de spin. Contrôle d'élasticité. Applications en électronique fonctionnelle pour le traitement du signal, MMMS (Micro-Magnéto-Mechanical-Systems).

## Enseignements transversaux

Afin d'élargir le spectre de la formation et sa professionnalisation, des projets transversaux inter-spécialités, des séminaires et de cours communs entre masters sont proposés. Ceci est également accompagné de cours de langue, d'intelligence économique, propriété intellectuelle, qualité, management de projet, etc. Notre objectif est de proposer à **tous** les étudiants du master 2 une formation leur permettant d'intégrer directement le monde professionnel ou de poursuivre en doctorat.

## Projet

150 H de projet individuel

## Stage

Le stage de 6 mois peut être réalisé en entreprise ou en laboratoire, en France ou à l'étranger.