

Département de Physique  
Centre de TREX d'Electronique



## MODEX D'ELECTRONIQUE 2005 (X2003) ELECTRONIQUE DES SIGNAUX ET SYSTEMES 1<sup>ère</sup> Série

### Responsable :

M. BONNASSIEUX - Poste 3722  
M. OSSIKOVSKI - Poste 3214

yvan.bonnassieux@polytechnique.edu  
razvigor.ossikovski@polytechnique.edu

### 1. Présentation

Le centre de travaux expérimentaux d'électronique du département de physique organise en collaboration avec le département de mathématiques appliquées et d'informatique un module d'enseignement expérimental (MODEX) sur :

#### *L'ELECTRONIQUE DES SIGNAUX ET SYSTEMES.*

Cet enseignement a pour objectif de faire découvrir aux élèves un :

#### **Domaine scientifique sous-jacent à un objet de haute technologie**

en privilégiant une orientation **projet** et une approche d'**ingénieur** basées sur **un travail en laboratoire** offrant un large espace de **créativité**. Il sera ainsi possible d'aborder expérimentalement la physique et les mathématiques cachées derrière des objets aussi usuels qu'un CD-audio ou un téléphone mobile.

Il s'agira plus précisément :

- de partir d'un problème d'ingénierie à résoudre (transmission de données, reproduction du son, traitement de la parole ou d'images, localisation par satellite, ou encore comportement d'un robot) en se fixant un objectif et un cahier des charges,
- de dégager les concepts scientifiques et les outils opérationnels dans ce domaine, et de se les approprier en les appliquant dans le cadre du projet,
- de réfléchir au problème posé et de lui chercher des solutions argumentées (par vous-même, dans la littérature ou avec l'aide des enseignants),
- de déterminer la faisabilité de ces solutions et de les modéliser,
- et de réaliser effectivement en laboratoire un système de télécommunications, de traitement du signal ou de robotique, et d'évaluer le résultat obtenu.

Tout au long de ce parcours, vous découvrirez ainsi les questions les plus fondamentales du traitement du signal, de l'automatique et de la robotique, pour lesquelles un support vous sera fourni sous la forme d'un cours adapté à cette approche. Le cursus proposé, d'une durée totale d'environ 54 heures, sera organisé en fonction du déroulement du projet en laboratoire qui en constituera le fil conducteur.

## 2. Organisation du MODEX

Le travail en laboratoire effectué en binôme représentera la majeure partie du MODEX (environ 48 heures), et portera sur **un thème à choisir parmi 8** (télécommunications numériques, traitement et compression de la parole, traitement numérique des images, Nanotubes de carbone, positionnement par satellite, microrobotique évolutionnaire, robot mobile autonome, ainsi que l'optimisation de programmes). Pour ce travail, de type projet, vous disposerez d'une autonomie importante, en particulier dans la phase d'approfondissement, pour aboutir à la réalisation d'un système fonctionnel.

Le travail en laboratoire sera accompagné par 3 cours présentant les concepts et outils fondamentaux qui viendront s'intercaler entre les séances de projet. Cette partie de l'enseignement vous donnera les bases théoriques nécessaires à l'élaboration des systèmes de contrôle et de traitement de l'information. A partir des exemples rencontrés en laboratoire, le cours dégagera les concepts généraux du traitement du signal et couvrira certains sujets parmi le filtrage analogique, la conversion analogique - numérique, le filtrage discret, l'automatique et la stabilité des systèmes bouclés, et le traitement des signaux aléatoires.

Le projet sera également l'occasion d'enrichir la vision du domaine, en faisant en laboratoire des digressions sur les à-côtés intéressants, et en ayant une approche expérimentale des divers aspects du thème d'application dans lequel s'insère le projet.

## 3. Choix du thème expérimental

Cette phase implique une réunion de présentation des différents thèmes expérimentaux proposé aux élèves. Ces réunions d'information propre à chaque Modex indiqueront, en particulier, les possibilités d'accueil et d'encadrement de chaque thème.

La date de cette journée de réunion est fixée au :

**Judi 13 janvier 2005 de 8h30 à 10h en amphi Gay Lussac (1<sup>ère</sup> série de Modex).**

Le choix devra être effectué dans **un délai maximum d'une semaine (jeudi 20 janvier à 16h)** et transmis à Mme Joële VORBE au Secrétariat des travaux expérimentaux.

**Les MODEX 1<sup>ère</sup> série commencent le 28 janvier 2005**

## 4. Contrôle et notation du travail

Le travail effectué en binôme sera évalué par :

- une appréciation du travail en laboratoire,
- un rapport écrit sur le projet conduit,
- un exposé oral de synthèse présentant les éléments essentiels du projet avec une comparaison des résultats obtenus avec ceux attendus dans le cadre d'une modélisation.

Une fiche descriptive décrivant de manière précise les conditions de notation sera distribuée en début de Modex. Elle est aussi disponible sur le site web du département de physique.

## 5. Présentation des thèmes expérimentaux

Il faut noter que le détail des thèmes effectivement organisés dépendra en partie du choix des élèves puisque pour des raisons pratiques il faut au minimum 4 élèves sur un thème donné pour organiser l'enseignement correspondant.

### 5.1. Systèmes électriques

Le premier thème porte sur les **télécommunications numériques** et utilise un système de liaison radio pour l'étude de la transmission par modulation et du codage. Les manipulations porteront sur des liaisons analogiques et numériques en bande de base, les modulations numériques et la transmission hertzienne. Le sujet comporte un multiplexage voix - données, une cryptographie à clé secrète ou publique, et des codes correcteurs d'erreurs. Il comporte également l'étude de la transmission sur réseau cellulaire à partir de postes mobiles professionnels GSM.

Le but du second thème porte sur les **nanotubes de carbone et l'électronique moléculaire** est de faire découvrir de façon concrète la croissance contrôlée de nanotubes de carbone multi-parois sur un substrat, ainsi que le fonctionnement de dispositifs à émission de champ utilisant ces nanotubes.

La croissance des nanotubes étudiés ici est une croissance catalytique, c'est à dire qu'elle s'effectue uniquement au niveau de nanoparticules de catalyseur. Il s'agit donc dans un premier temps de contrôler la formation de particules catalytiques sur un substrat de silicium. A partir de ces nanoparticules, on fait croître des nanotubes (de type "spaguetti" - par CVD - ou des "forêts" de nanotubes orientés - par PECVD). L'observation au microscope électronique à transmission permet de définir leur structure.

On étudiera également les propriétés d'émission de champ des nanotubes, c'est à dire leur capacité d'émettre des électrons sous vide. Pour ce faire, on assemble le substrat avec les nanotubes, un espaceur et une grille d'extraction. L'anode est en fait un écran phosphorescent sur lequel on image l'impact des électrons sur l'écran. On étudie alors la courbe  $I(V)$  correspondant au courant d'anode en fonction de la tension de grille.

### 5.2. Traitement du signal

Un premier sujet porte sur le traitement **numérique** du **son et de la parole**. Le travail expérimental commencera par une étude commune des aspects suivants : effet de l'échantillonnage, bruit de quantification, redondance et effet des perturbations, code correcteur d'erreurs, sur-échantillonnage, décimation et compression. Un travail de réalisation personnelle sera ensuite effectué. Soit avec une approche temps réel avec un système à base de DSP, sur des sujets tel que les méthodes de compression (norme MPEG2 audio) et synthèses de phonèmes par filtrage LPC (GSM). Soit une approche plus algorithmique sur des problèmes tels que la reconnaissance de la parole le débruitage d'enregistrement ancien,....

Le second thème porte sur le **traitement numérique des images** et recouvre une grande variété de sujets : amélioration d'image, compression, segmentation en contours, perception du mouvement, perception du 3D (stéréovision), reconnaissance de formes, etc.

Ces sujets seront traités avec un objectif appliqué en insistant sur l'origine des images employées (type de capteur, conditions d'acquisition, nature des contrastes, calibrage du capteur, etc.). Pour certains sujets, on pourra effectuer directement l'acquisition sur PC à l'aide d'une webcam couleur. Les méthodes étudiées s'appuieront sur la littérature récente de la vision par ordinateur et donneront lieu au développement d'algorithmes avec un souci d'efficacité (motivé dans certains cas par une contrainte de temps réel).

Le troisième sujet porte sur un **système de positionnement par satellite** de type GPS (*Global Positioning System*). Celui-ci, conçu pour des usages militaires, a été largement ouvert aux applications civiles avec une précision d'une dizaine de mètres. Le projet proposé mettra en œuvre les méthodes permettant d'atteindre cette précision, et notamment la modulation par étalement de spectre. Le traitement des trames d'information reçues des satellites permettra de tester un modèle des sources d'erreur. Ce travail pourra déboucher sur application cartographique, en liaison avec un chercheur de l'IGN.

### 5.3. Robotique

Le premier thème a pour but de développer un **robot mobile autonome** muni de capteurs variés (infrarouge, ultrason, magnétiques, optiques, caméra) et capable de se déplacer par lui-même dans une pièce en tenant compte de son environnement. Il comporte une étude du système de motorisation, de la perception de l'environnement, et l'élaboration d'une stratégie de commande mise en œuvre par un PC embarqué. Les années précédentes, les projets ont permis de suivre un circuit, explorer un labyrinthe, poursuivre une cible mobile, etc ...

Le second thème est construit autour d'un **microrobot évolutionnaire** associé à un processus de sélection basé sur le comportement. Concrètement, il s'agit de faire évoluer les poids d'un réseau de neurones à l'aide d'algorithmes génétiques en vue d'optimiser le comportement du robot pour une tâche donnée. L'optimisation s'effectue d'abord en simulation, pour des raisons de temps évidentes, puis elle est ensuite portée sur robot réel pour validation. La tâche à résoudre pourra être choisie soit parmi quelques exemples fournis (par exemple, regrouper des objets dans des aires choisies, se diriger dans un environnement à l'aide de marques de directions, ...) soit faite sur mesure avec les élèves - dans les limites du raisonnable ! Le travail à réaliser est donc de programmer la simulation de la tâche à réaliser, d'effectuer le meilleur apprentissage possible au sein du simulateur (fourni), puis de valider le résultat sur le robot réel, avec de possibles allers - retours entre simulation et réalité.

### 5.4. Informatique

Le thème intitulé **Optimisation de programmes** propose d'étudier et de réaliser le codage optimal d'un problème donné à travers une approche expérimentale (la résolution incrémentale). Concrètement, les études se focaliseront sur tous les aspects et étapes de la résolution du problème, de sa spécification et avancement de solutions simples jusqu'à l'implantation de la solution retenue supposée optimale dans un langage concret (C/C++, Pascal, Java ...) et le débogage du code résultant. **Cette thématique s'adresse exclusivement aux élèves désireux de préparer la compétition internationale de programmation de l'ACM.**