

## ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET INGÉNIERIE

DE

CERGY-PONTOISE

**MASTER Recherche**  
**SYSTÈMES INTELLIGENTS ET COMMUNICANTS (SIC-R)**  
M2 SIC-R du Master ISIM

Responsable : Philippe GAUSSIER

Trois parcours recherche :

- SIC - Image et masses de données : responsables D. Picard et A. Histace
- SIC - Intelligence artificielle et robotique : responsables Ph. Gaussier et L. Hafemeister
- SIC - Signal et télécommunications : responsables I. Fijalkow et Cl. Weidmann

ENSEA

Secrétariat du Master Recherche SIC-R

6, avenue du Ponceau

95014 Cergy Cedex

Tél. : (33) 1.30.73.62.63

Email : [mastersic@ensea.fr](mailto:mastersic@ensea.fr)

Inscription jusqu'au 30 juin

Mise à jour : juillet 2014

## **Objectifs scientifiques et pédagogiques**

La spécialité recherche Systèmes Intelligents et Communicants vise à former des étudiants aux techniques les plus récentes en matière de traitement numérique de l'information, depuis le capteur jusqu'à la prise de décision. Elle recouvre des champs thématiques variés tels que : le traitement du signal et des images, les télécommunications, la reconnaissance des formes, l'analyse "intelligente" des données, les sciences cognitives et la robotique, ...

Les technologies de l'information et de la communication génèrent des besoins importants en terme de logiciels et de matériels informatiques spécifiques. L'évolution de ces technologies va permettre à l'informatique d'investir les objets de tous les jours de façon transparente. Elles apparaissent déjà dans de nombreux champs applicatifs, on les retrouve notamment dans la conception :

- d'outils logiciels (compression d'images et de sons, traitement d'images numériques, reconnaissance de formes, indexation de bases de données...),
- de produits dédiés appelés objets communicants ou info-appliances (domotique, assistants personnels, systèmes intelligents pour l'automobile...),
- de services pour le commerce électronique (sites internet spécialisés, agents logiciels mobiles, fouille de données...),
- d'interfaces homme-machine multimodales intuitives (IHM).

## **Spécificité de la formation**

Notre formation a pour but de former des étudiants qui effectueront une recherche fondamentale ou appliquée d'un haut niveau scientifique. Le but est d'apprendre aux étudiants à analyser et concevoir de nouveaux algorithmes et systèmes pour :

- traiter et analyser des signaux de natures différentes (traitement du signal, des images),
- analyser, indexer, retrouver des documents multimédia (images, vidéos)
- classifier et fusionner, fouiller dans des flux de données complexes
- apprendre à réagir de manière pertinente à un environnement difficile (intelligence artificielle, robotique),
- transmettre ces informations (communications numériques).

Trois parcours offerts sont :

- SIC - Image et masses de données : responsables D. Picard et A. Histace
- SIC - Intelligence artificielle et robotique : responsables Ph. Gaussier et L. Hafemeister
- SIC - Signal et télécommunications : responsables I. Fijalkow et Cl. Weidmann

La spécificité de la formation, unique à notre connaissance, est de permettre l'acquisition de ces bases pluridisciplinaires. Au travers de l'un des trois parcours proposés, l'étudiant pourra acquérir une spécialisation de très grande qualité grâce à des intervenants ayant une expertise reconnue au niveau international.

Le M2 SIC-R s'appuie majoritairement sur les chercheurs du laboratoire ETIS, Equipes de Traitement de l'Information et Systèmes, UMR CNRS 8051. Elle bénéficie en outre, grâce aux relations et collaborations d'ETIS, des apports d'enseignants ou de chercheurs issus de différents laboratoires reconnus dans le domaine des sciences et technologies de l'information et de la communication.

La formation couvre un large spectre de compétences et s'adresse à des étudiants ayant suivi des parcours variés (informatique, électronique, physique, mathématiques,...). La première semaine de cours/TP de remise à niveau permet d'assurer à tous les étudiants un socle de connaissances communes nécessaires au bon suivi de la formation (programmation, bases de traitement du signal et de processus aléatoires), ainsi que des TP associés aux unités d'enseignement fondamentales.

## **Admissions**

La sélection des étudiants se fait sur dossier par les membres de l'équipe pédagogique. La formation est ouverte :

aux étudiants des M1 Systèmes Informatiques, Intelligents et Communicants (SIIC) du Master d'Ingénierie des Systèmes Intelligents et Modélisation (ISIM) Mathématiques, physique et applications (MFPA) et Génie électrique et informatique industrielle (GEII) de l'Université de Cergy-Pontoise.

aux étudiants de niveau M1 des universités françaises ou étrangères des domaines afférents à la formation (électronique, mathématique, physique, informatique, etc.) sous réserve de pré-requis et d'un niveau suffisant

aux élèves de deuxième année de l'ENSEA, EISTI en cursus conjoint de dernière année du cycle d'ingénieur, sous réserve d'acceptation par leur école et dans le cadre des conventions avec ces établissements précisant les dispenses et équivalences de cours.

## **Organisation de la formation**

Les étudiants devront effectuer (UE = unité d'enseignement) :

- 5 UE Fondamentales (UEF) à choisir parmi 7
- 4 UE Complémentaires (UEC) à choisir parmi 15
- 1 UE d'Anglais
- 1 UE « Management de l'Innovation et Entrepreneuriat »
- 1 UE libre à choisir parmi les UE de la mention
- 1 UE de Projet d'initiation à la Recherche
- Stage de 6 mois

La formation est organisée en deux semestres :

### **SEMESTRE 3 = 30 crédits à valider sur 33**

Les étudiants choisiront un parcours dès le début de l'année.

La première partie comporte 5 UEF : 3 (ou 4) UEF sont obligatoires dans chacun des parcours car ils sont au cœur de la formation. Cet aspect optionnel a été motivé par la volonté d'intéresser des étudiants venus d'origines très différentes (informatique, mathématiques, génie électrique,...).

Dans la deuxième partie du semestre (de décembre à février), les étudiants se spécialisent en choisissant 4 UE Complémentaires. En fonction des choix des étudiants, 6 à 8 unités d'enseignement ouvrent en général. Les UE complémentaires approfondissent le parcours choisi. Les étudiants choisissent 4 UEC en fonction du parcours, ce choix est validé par l'équipe de formation. L'équipe de formation pourra éventuellement valider un choix transverse aux parcours, en veillant à sa cohérence après discussion avec l'étudiant.

Ces enseignements scientifiques sont complétés par une UE d'anglais et une UE de « Management de l'Innovation et Entrepreneuriat » animée par M. R. Caussy, Partnering 3.0.

## SEMESTRE 4 = 30 crédits à valider sur 33

Au deuxième semestre du M2 SIC-R, les étudiants effectuent un projet de recherche, suivent une UE libre et effectuent un stage de 6 mois. La formation théorique est mise en pratique par un projet d'initiation à la recherche impliquant une implantation logicielle sur un thème défini par l'un des enseignants du Master. Il s'effectue au sein du laboratoire ETIS et a une durée supérieure à 150 h.

L'UE libre est à choisir dans l'ensemble des autres spécialités de la mention.

La formation se termine par un stage dans un laboratoire de recherche universitaire ou industriel d'une durée de 6 mois.

Grâce aux 80 h de modules de spécialisation du M2 dans l'un des parcours et au projet, puis au stage, les étudiants vont découvrir les outils et les problématiques de recherche leur permettant d'accéder à une thèse du domaine.

### Parcours SIC – Image et masses de données

#### Liste des UE fondamentales du parcours SIC – Image et masses de données

##### 4 UEF obligatoires :

- UEF-SIC-R-1 Ondettes et bancs de filtres (M. Chapron, A. Histace)
- UEF-SIC-R-2 Traitement numérique des images (A. Histace, M. Chapron, G. Mostafaoui, D. Picard)
- UEF-SIC-R-6 Bases de données (D. Kotzinos)
- UEF-SIC-2 Intégration et fouille de données (partie UEF SICp) (D. Laurent, D. Vodislav - ETIS)

##### 1 UEF à choisir parmi :

- UEF-SIC-R-4 Intelligence artificielle (Ph. Gaussier, M. Quoy)
- UEF-SIC-R-5 Techniques d'optimisation (I. Fijalkow, Ph. Gaussier)
- UEF-SIC-1 Architectures des Systèmes Intelligents (partie de l'UEF SICp 4) (Ph. Gaussier)

#### Liste des UE complémentaires du parcours SIC – Image et masses de données

##### 2 UEC recommandées :

- UEC-SIC-R-1 Interprétation d'image et recherche dans les bases multimédia (D. Picard)
- UEC-SIC-R-10 Big Data (D. Laurent, D. Vodislav, Cl. Marinica, T. Jen)

##### 2 UEC au choix parmi :

- UEC-SIC-R-2 Codage de source, compression d'images fixes et vidéos (Cl. Weidmann)
- UEC-SIC-R-3 Principes de physique-mathématique et problèmes inverses en imagerie (M. Nguyen - ETIS, T. Truong - LPTM)
- UEC-SIC-R-5 Vision naturelle et artificielle (L. Hafemeister, Ph. Gaussier)
- UEC-SIC-R-7 Apprentissage, adaptation (P. Andry, Ph. Gaussier, M. Quoy)
- UEC-ESA-SIC-4 Architectures des systèmes reconfigurables (A. Benkhelifa)

## **Parcours SIC – Intelligence artificielle et robotique**

### **Liste des UE fondamentales du parcours SIC – Intelligence artificielle et robotique**

#### 3 UEF obligatoires :

- UEF-SIC-R-4 Intelligence artificielle (Ph. Gaussier, M. Quoy)
- UEF-SIC-R-5 Techniques d'optimisation (I. Fijalkow, Ph. Gaussier)
- UEF-SIC-1 Architectures des Systèmes Intelligents (partie de l'UEF SICp 4) (Ph. Gaussier)

#### 2 UEF à choisir parmi :

- UEF-SIC-R-1 Ondelettes et bancs de filtres (M. Chapron, A. Histace)
- UEF-SIC-R-2 Traitement numérique des images (A. Histace, M. Chapron, G. Mostafaoui, D. Picard)
- UEF-SIC-R-3 Bases des communications numériques (I. Fijalkow, Cl. Weidmann)
- UEF-SIC-R-6 Bases de données (D. Kotzinos)
- UEF-SIC-2 Intégration et fouille de données (partie UEF SICp) (D. Laurent, D. Vodislav)

### **Liste des UE complémentaires du parcours SIC – Intelligence artificielle et robotique**

#### 3 UEC recommandées :

- UEC-SIC-R-5 Vision naturelle et artificielle (L. Hafemeister, Ph. Gaussier)
- UEC-SIC-R-6 Robotique et commande bio-inspirée (P. Hénaff)
- UEC-SIC-R-7 Apprentissage, adaptation (P. Andry, Ph. Gaussier, M. Quoy)

#### 1 UEC au choix parmi :

- UEC-SIC-R-1 Interprétation d'image et recherche dans les bases multimédia (D. Picard)
- UEC-ESA-SIC-2 Systèmes embarqués auto-adaptables (B. Miramond)
- UEC-ESA-SIC-4 Architectures des systèmes reconfigurables (A. Benkhelifa)

## **Parcours SIC – Signal et télécommunications**

### **Liste des UE fondamentales du parcours SIC – Signal et télécommunications**

#### 3 UEF obligatoires :

- UEF-SIC-R-1 Ondelettes et bancs de filtres (M. Chapron, A. Histace)
- UEF-SIC-R-3 Bases des communications numériques (I. Fijalkow, Cl. Weidmann)
- UEF-SIC-R-5 Techniques d'optimisation (I. Fijalkow, Ph. Gaussier)

#### 2 UEF à choisir parmi :

- UEF-ESA-5 Communications embarquées (R. Sobot)
- UEF-SIC-R-2 Traitement numérique des images (A. Histace, M. Chapron, G. Mostafaoui, D. Picard)
- UEF-SIC-R-4 Intelligence artificielle (Ph. Gaussier, M. Quoy)
- UEF-SIC-R-6 Bases de données (D. Kotzinos)

### Liste des UE complémentaires du parcours SIC – Image et masses de données

#### 3 UEC recommandées :

- UEC-SIC-R-2 Codage de source, compression d'images fixes et vidéos (Cl. Weidmann).
- UEC-SIC-R-8 Codage, turbo-codage (D. Declercq, I. Andriyanova)
- UEC-SIC-R-9 Transmissions à haut-débit (I. Fijalkow, V. Belmega, M. Le Treust, L. Luzzi)

#### 1 UEC au choix :

- UEC-SIC-R-3 Principes de physique-mathématique et problèmes inverses en imagerie (M. Nguyen - ETIS, T. Truong - LPTM)
- UEC-SIC-R-7 Apprentissage, adaptation (P. Andry, Ph. Gaussier, M. Quoy)
- UEC-ESA-1 Communication dans les systèmes hétérogènes (E. Bourdel, P. Lecoy)
- UEC-ESA-SIC-1 Systèmes intégrés de transmission de données (M. Ariaudo)
- UEC-ESA-SIC-2 Systèmes embarqués auto-adaptables (B. Miramond)

### **Initiation à la recherche**

L'initiation à la recherche comprend des heures de travaux pratiques, 150 heures de Projet d'initiation à la recherche et un stage de 6 mois.

Les travaux pratiques correspondent à l'illustration ou à la mise en œuvre de méthodes exposées dans les différentes unités d'enseignement.

Le Projet d'initiation à la recherche est un travail de synthèse (comprenant bibliographie, analyse théorique et mise en pratique) permettant d'approfondir l'un des champs disciplinaires du Master et de préparer le stage en laboratoire de recherche (apprendre à planifier son travail, à rédiger un rapport, à faire un exposé de recherche...).

### **Stage**

Le stage long (d'une durée de 5 à 6 mois) constitue une part très importante de la formation. Il valide 20 crédits ECTS sur les 60 crédits totaux. Ce stage validé par l'un des responsables du parcours doit s'effectuer sur un sujet de recherche au sein d'un laboratoire universitaire ou industriel. Parmi nos partenaires français ayant accueilli des stagiaires ces dernières années, citons :

#### Partenaires industriels :

Orange Labs (Issy-les-Moulineaux, Meulan, Lannion), Thalès ATM (Bagneux), Thalès Communications (Gennevilliers), Thalès Services SAS (Osny), Thomson Airsystemes (Vélizy), Safran (Eragny), Morpho (Osny), EDF (Chatou), EADS (Vernon), Alcatel (Vélizy), Loxane (Cergy), IGN (Saint-Mandé), Gostai (Paris), SNCF (Paris), Institut Français du Pétrole, ONERA (Arcueil, Palaiseau), DOLABS (Boulogne), METACOM (Magny-Chateaufort), ST Microelectronics (Grenoble), Partnering 3.0 (Cergy), etc.

#### Laboratoires universitaires

INRIA (Sophia Antipolis), Arrmines (Paris), ENS (Lyon), Centre Hospitalier Becquerel (Rouen), CEA (Saclay), INSERM (Paris), ENST (Paris), IRISA (Rennes), ...

#### Et à l'étranger :

HW Communications Limited (Lancaster, UK), University of Central Lancashire (Preston, UK), Lulea Tekniska Universitet (Lulea, Suède), Université de Laval (Québec, Canada), ITT (Illinois Institute of Technology, Chicago, USA), etc.

## Contrôle des connaissances

Chaque unité d'enseignement est affectée d'un coefficient et d'une valeur en crédits européens. Les unités d'enseignement et les crédits correspondants sont acquis et capitalisables, si l'étudiant y a obtenu une note supérieure ou égale à 10/20.

La spécialité SIC-R (correspondant à la 2ème année du master) est validée dans son ensemble (60 crédits). A l'issue du master SIC-R, le diplôme de master ISIM, spécialité SIC-R est attribué si la note de stage est supérieure ou égale à 10/20 et si l'une des conditions suivantes est remplie :

- La note de chaque UE est supérieure ou égale à 10/20.
- La note de chaque UE est supérieure ou égale à 8/20 et la moyenne des différentes UE, hors stage, affectées de leur coefficient est supérieure ou égale à 10/20.

En outre,

- la mention « assez bien » est accordée si la moyenne des différentes UE affectées de leur coefficient est supérieure ou égale à 12/20 sans UE inférieure à 8/20
- la mention « bien » est accordée si la moyenne des différentes UE affectées de leur coefficient est supérieure ou égale à 14/20 sans UE inférieure à 8/20
- la mention « très bien » est accordée si la moyenne des différentes UE affectées de leur coefficient est supérieure ou égale à 16/20 sans UE inférieure à 8/20
- une deuxième session est organisée fin juin pour les modules spécifiés par le jury si l'étudiant ne remplit aucune des conditions suffisantes. **Les notes de la seconde session annulent et remplacent celles de la première session.** Aucune mention n'est accordée à l'issue de la deuxième session.

Type d'Unité d'Enseignement	Nombre d'Unités	Nombre heures/module	Nombre crédits ECTS/module
Fondamentale	5	20 h	3
Complémentaire	4	20 h	3
Management de l'Innovation et entrepreneuriat	1	20 h	3
Libre	1	20 h	3
Anglais	1	20 h	3
Projet d'initiation à la recherche	1	Environ 150 h	7
Stage	1	4 à 6 mois	20

### 2<sup>e</sup> session

La première session regroupe les notes des épreuves des UEF, UEC et du Projet d'initiation à la recherche. Une deuxième session est organisée en juin pour les épreuves ayant donné lieu à une note inférieure à 8/20 ou pour les UE spécifiées par le jury si l'étudiant a une moyenne partielle (UE et Projet d'initiation à la recherche) inférieure à 10/20 et aucune note inférieure à 8/20.

Les notes obtenues à cette deuxième session remplacent celles de la première pour les matières concernées.

Le jury est souverain pour déclarer l'admission d'un étudiant à suivre le Master et pour délivrer le diplôme.

## **Prérequis**

Les étudiants ne venant pas d'un M1 du master ISIM peuvent intégrer l'un des parcours de la spécialité Recherche SIC-R. Pour ce faire ils doivent posséder l'équivalent de 30 crédits ECTS validant le niveau M1. Ils doivent aussi justifier de prérequis dans différentes matières afin de pouvoir suivre les unités d'enseignement en M2.

Ces prérequis sont :

Probabilités : variable aléatoire, densité de probabilité, lois gaussienne, uniforme, espérance.

Traitement numérique du signal : échantillonnage, transformée de Fourier, transformée en Z, filtrage.

Traitement statistique du signal : processus aléatoire, moyenne, fonction de covariance, stationnarité, fonction d'autocorrélation.

Programmation : algorithmique, complexité, langage C, Matlab, Unix, structures de données (graphes, arbres, ...).

## **Calendrier**

UE fondamentales	Octobre à décembre
UE complémentaires	Décembre à février
Projet d'initiation à la recherche	Décembre à mars
Stage	Avril à septembre

## **Evaluation des enseignements**

Un questionnaire à remplir anonymement est distribué aux étudiants de la spécialité avant leur départ en stage. Ils sont invités à donner leur avis sur le déroulement des enseignements UE par UE.

Un délégué des étudiants élu par ses pairs est invité aux différents jurys. Il a la possibilité de transmettre les avis des étudiants. Toutes ces remarques sont prises en compte par l'équipe de formation pour l'améliorer de l'enseignement.

Un questionnaire plus général est également proposé par l'UCP.

## **Offres d'emploi identifiées**

Des dizaines d'offres de stages, de thèses, et d'emplois sur le site du GDR ISIS :

<http://gdr-isis.org/rilk/gdr/Kiosque/poste>



**RESPONSABLE DU MASTER Ingénierie des Systèmes Intelligents et Modélisation :  
Professeur Philippe GAUSSIER**

Contact : Université de Cergy-Pontoise / UFR des Sciences et Techniques  
Département des Sciences Informatiques  
2, rue Adolphe Chauvin – 95302 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél.: (33) 01 34 25 66 32 ou 66 33

**RESPONSABLE DU MASTER M2 SIC Recherche  
Professeur Philippe GAUSSIER**

Contact : Université de Cergy-Pontoise / UFR des Sciences et Techniques  
Département des Sciences Informatiques  
2, rue Adolphe Chauvin – 95302 Cergy-Pontoise Cedex  
Tél.: (33) 01 34 25 66 32 ou 66 33  
Courriel : [philippe.gaussier@ensea.fr](mailto:philippe.gaussier@ensea.fr)

**Secrétariat MASTER M2 SIC Recherche :**

ENSEA  
Tél. : (33) 01 30 73 62 63  
Fax : (33) 01 30 73 66 27  
Courriel : [mastersic@ensea.fr](mailto:mastersic@ensea.fr)

Site web pour télécharger le dossier de candidature :  
<http://www-etis.ensea.fr/master/masterSIC>

**Contenu des enseignements du M2 Recherche SIC**  
**(Le nom du responsable est souligné)**

**Unités d'Enseignement Fondamentales**

**UEF-SIC-R-1 - Ondelettes et bancs de filtres** (M. Chapron, A. Histace – ETIS)

Mots clés : Ondelettes continues et discrètes, Analyse multi-résolution, Filtres Miroirs en Quadrature, algorithmes Pyramidaux, décomposition Dyadiques, Relations d'Incertitude, facteur de qualité constant, Pavage du plan temps-fréquence.

Ce cours introduit les bases de la théorie des ondelettes qui permettent de maîtriser leur utilisation et de saisir leurs enjeux dans des différentes applications, telles que le codage et la compression, la détection de non-stationnarités, la synthèse de bancs de filtres, le débruitage. Les points suivants seront traités :

Transformée en ondelettes discrètes et continues

Transformée en ondelettes orthogonales et bi-orthogonales

Analyse Multirésolution 1D et 2D

Algorithmes pyramidaux

Algorithmes à trous, en quinconce

Filtres Miroirs en quadrature QMF et à reconstruction parfaite

Transformée en ondelettes et leur transformées de Fourier, propriétés

Transformée en ondelettes géométriques (bandlets, curvelets)

Le cours se termine par une présentation d'applications dans le domaine du traitement des images, ainsi que les problématiques et solutions engendrées par le passage aux signaux à deux dimensions.

*Prérequis : transformée de Fourier, calcul intégral.*

**UEF-SIC-R-2 - Traitement numérique des images** (A. Histace, P.-H. Gosselin, G. Mostafaoui, D. Picard - ETIS)

Mots clés : numérisation, filtrage, segmentation, approche variationnelle, contours actifs, restauration par EDP, décomposition, compression

L'objet de ce cours est, dans un premier temps, de présenter les concepts de base du traitement d'images, depuis l'acquisition et la formation de l'image, jusqu'à l'extraction de primitives contours et régions et dans un deuxième temps de présenter des méthodes avancées et récentes dans les domaines de la segmentation, de la restauration d'image, de la décomposition et de l'estimation du mouvement. L'objectif est donc double : (i) se familiariser avec l'objet étudié, à savoir l'image numérique comme signal bidimensionnel discret, puis (ii) d'apporter les outils mathématiques nécessaires permettant de maîtriser les techniques de filtrage, de restauration, de segmentation et de compression des images.

Introduction (2h) : Acquisition d'images, échantillonnage, quantification, pavage du plan, modèles mathématiques

1. Fondamentaux du traitement des images (8h) :

1.1 Opérations élémentaires : transformations d'histogrammes, transformée de Fourier, convolution

1.2 Filtrage : débruitage (filtrage linéaire et non linéaire), détection de contours (gradient, Laplacien, Sobel, Prewitt, Canny-Deriche...), transformée de Hough, déconvolution.

1.3 Segmentation : principe, application, approches classiques (croissance de région, ligne de partage des eaux)

1.4 Compression des images : principe, compression avec pertes, sans pertes, principaux standards.

## 2. Méthodes avancées (10h)

### 2.1 Approche variationnelle en traitement d'image.

2.2 Restauration d'image par EDP (Equations aux Dérivées partielles) : Equation de la chaleur, isotropie, anisotropie, non-linéarité (Perona-Malick), approche tensorielle (Weickert).

2.3 Segmentation d'images par contours actifs : principe des contours actifs, approche contour, approche région, modèle explicite ou paramétrique, modèle implicite ou courbes de niveaux (level-set), a priori de forme, de bruit...

### 2.4 Estimation du mouvement dans des séquences d'images

*Prérequis : traitement numérique du signal, transformée de Fourier, signal aléatoire.*

## **UEF-SIC-R-3 - Bases de communications numériques : information, détection**

(I. Fijalkow, Cl. Weidmann – ETIS)

Mots clés : capacité, codage de source, alphabet de modulation, codage de canal, condition de Nyquist, filtre de mise en forme, canal additif Gaussien, rapport signal à bruit, filtre adapté, probabilité d'erreur bit, efficacité spectrale, canal dispersif en temps, canal dispersif en fréquence, égalisation.

Le but de ce cours est de présenter les différents organes d'une chaîne de communication usuelle, en insistant sur les outils empruntés aux théories de l'information et de la détection.

#### ➤ Émission

Au niveau de l'émetteur, on utilise les résultats de la théorie de l'information pour transformer les signaux que l'on veut émettre. Ces transformations servent entre autre à réduire la redondance des signaux (codage de source), mettre en forme l'information (techniques de modulation), sécuriser ou améliorer la transmission (codage de canal), maximiser le débit d'information utile (calcul de capacité).

#### ➤ Réception

En présence de bruit thermique et en l'absence d'autres perturbations, le récepteur d'une chaîne de communication se construit comme une fonction de détection. On dérive ainsi le filtre adapté, les détecteurs optimaux et les performances des différents alphabets de modulation. Lorsque l'on considère en plus un canal de propagation, de nouvelles perturbations sont introduites. On décrira en particulier, les canaux dispersifs en temps ou en fréquence et les traitements appliqués pour réduire les perturbations, codage correcteur d'erreur ou égalisation.

*Prérequis : bases de probabilités, filtrage, processus aléatoires.*

## **UEF-SIC-R-4 - Intelligence artificielle (M. Quoy, Ph. Gaussier – ETIS)**

Mots clés : résolution de problèmes, algorithmes de jeu, systèmes experts, logique floue, réseaux de neurones, algorithmes génétique.

Le but de ce cours est d'introduire différents types de techniques dites d'Intelligence Artificielle (IA) appliquées à des problèmes liés au traitement du signal, à la reconnaissance des formes et à la robotique. Tout d'abord nous présenterons la notion d'agent intelligent puis les techniques classiques de résolution automatique de problèmes dans un espace d'état de grandes dimensions :

- Rappels de recherche dans un arbre ou un graphe
- Algorithme A\* (notion de fonction heuristique)
- Arbres ET/OU, minimax, alpha/beta...

Nous étudierons ensuite comment le raisonnement peut être formalisé et utilisé dans des systèmes experts :

- Logique formelle d'ordre 0 et d'ordre 1 (principe de résolution...)

- Systèmes à bases de règles
- Logique floue

Nous analyserons les limites de ce type de systèmes ("symbol grounding problem" et "frame problem"). Nous montrerons comment dans certains cas des systèmes réactifs très simples peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes qui semblaient au départ relativement complexes (approche ascendante de la cognition) :

- Planification réactive (potential fields...)
- Notion de systèmes multi-agents
- Intelligence collective (application à des tâches de clustering, de recherche de plus court chemin...)

Par la suite, des techniques basées sur l'emploi de réseaux de neurones seront présentées de même que les systèmes à base de classifieur et les algorithmes génétiques :

- Notion de neurone formel (règle de Hebb, réseaux de Hopfield...)
- Approximation d'une fonction par un réseau de neurones multi-couches (rétro-propagation du gradient), classification non supervisée (carte de Kohonen)
- Algorithmes génétiques appliqués à la conception automatique de systèmes

*Prérequis : Bonnes bases en algorithmique et programmation*

### **UEF- SIC-R-5 - Techniques d'optimisation** (L. Fijalkow, Ph. Gaussier - ETIS)

Mots clés : erreur quadratique moyenne, filtre de Wiener, gradient déterministe, gradient stochastique, LMS, RLS, Kalman, équation différentielle ordinaire, recuit simulé, optimisation sous contrainte, multiplicateurs de Lagrange, régularisation.

Le but de ce cours est de présenter des techniques de résolution de problèmes se traduisant par l'optimisation d'un critère (ou fonction de coût). Nous abordons d'abord le critère quadratique qui correspond à maximiser la ressemblance entre un signal de référence et le filtrage (spatial ou temporel) des signaux observés. Pour minimiser ce critère avec une complexité réduite, nous envisageons :

- la solution linéaire optimale (filtre de Wiener)
- des algorithmes adaptatifs (LMS)
- des algorithmes récursifs (RLS, Kalman).

L'optimisation de critères plus complexes comprenant des minima locaux peut être réalisée par des algorithmes adaptatifs (gradient stochastique) avec des risques de minima locaux ou par des techniques alternatives de type recuit simulé ou algorithmes génétiques.

Les méthodes d'analyses des performances de ces algorithmes seront également présentées.

La construction et l'optimisation de critères convexes fournissent une classe très vaste de solutions non linéaires, dont les performances peuvent être très supérieures à celles du filtrage linéaire. On présentera quelques propriétés générales liées à la convexité, dont l'absence de minima locaux, puis leurs conséquences en déconvolution : approche pénalisée non quadratique, interprétation probabiliste bayésienne, formulation semi-quadratique, ainsi que des techniques d'optimisation adaptées (relaxation, gradient conjugué, relaxation sur critère semi-quadratique).

Application : annulation d'écho en visiophonie, restauration d'images, classification

*Prérequis : filtrage de processus aléatoire, modélisation des signaux aléatoires.*

## **UEF-SIC R-6 - Bases de données (D. Kotzinos – ETIS)**

Le but de ce cours est de présenter un condensé des notions fondamentales en bases de données, nécessaires pour pouvoir suivre les autres modules du parcours traitant de la gestion des masses de données.

Le cours aborde les notions présentées autour d'exercices dirigés sur des exemples concrets. Centré sur les bases de données relationnelles, il présente le modèle de données, avec l'algèbre relationnelle et le langage SQL, ainsi que le fonctionnement d'un système de gestion de bases de données(SGBD) pour l'exécution des requêtes. Au-delà du modèle relationnel, sont également présentées d'autres types de données courants sur le Web: texte, HTML et XML.

Le cours est enseigné en anglais.

Contenu :

- \* Bases de données relationnelles: modèle relationnel, algèbre, SQL
- \* Exécution de requêtes dans un SGBD: plans d'exécution, optimisation
- \* Données sur le web: texte, HTML, XML

## **UEF-SIC-1 - Architectures des systèmes intelligents (Ph. Gaussier - ETIS)**

Le but de ce cours est d'apprendre à intégrer les différentes briques de base (vues dans les autres cours du master) nécessaires à un système « intelligent ». Le cours est basé sur les modèles d'architectures de contrôles imaginées en IA, robotique et SMA pour contrôler des systèmes complexes. Des comparaisons avec des résultats en psychologie, neurobiologie et éthologie seront discutés. De nombreuses études de cas seront présentées.

- Architectures pour les systèmes intelligents :
  - Introduction à la théorie des systèmes
  - Méthodologie de conception de systèmes
  - Dynamique des boucles Perception/Action
  - Modèles d'architectures de contrôle pour les systèmes robotiques
  - Dynamique des processus de prise de décision
- Systèmes multi-agents
  - Résolution de problèmes à base d'agents réactifs ou d'éco-agents. Agents mobiles sur Internet
  - Application à la recherche d'information sur le web et à la communication avec des systèmes embarqués
  - Etudes de cas d'objets communicants et de systèmes intelligents
- IHM multimodales (image/parole)
  - Analyse du signal de parole
  - Codages
  - La reconnaissance en ligne de l'écriture
  - L'utilisation de la vision pour les IHM
  - Présentation par un industriel des problèmes liés aux IHM sur un cas pratique.

*Prérequis : intelligence artificielle, architecture*

## **UEF-SIC-2 Intégration et fouille de données (D. Laurent, D. Vodislav - ETIS)**

L'objectif de ce cours est de présenter les notions de base et les principales approches en intégration et fouille de données. Le cours présente les principaux algorithmes de fouille de données et les architectures d'intégration de sources de données hétérogènes sur le Web, en s'appuyant sur des exemples et des exercices.

### **Contenu**

- \* Principales méthode de fouille de données
  - Classification supervisée et application à la prédiction
  - Classification non supervisée (ou clustering)
  - Extraction de motifs fréquents et règles d'association
- \* Intégration de données
  - Architectures de médiateur et d'entrepôt
  - Intégration Global-as-View et Local-as-View
  - Architectures distribuées sur le Web

*Prérequis : bases de données relationnelles, intelligence artificielle, logique*

## **Unités d'Enseignement Complémentaires**

### **UEC-SIC-R-1 - Interprétation d'image et recherche dans les bases multimédia**

**(P.-H. Gosselin, D. Picard – ETIS)**

Mots clés : reconnaissance des formes, indexation, recherche dans des bases

L'indexation est un thème en pleine expansion, du fait de l'explosion du multimédia et de la demande d'accès à des bases d'images de taille de plus en plus importante. Ce cours présente tout d'abord des techniques d'analyse d'images pour la reconnaissance de forme et la classification d'images. Ensuite, le problème de la comparaison entre images et de la recherche d'images par similarité est traité. Enfin, les techniques d'apprentissage pour la recherche dans les bases multimédia sont présentées.

Extraction de primitives visuelles : points caractéristiques, droites, segments, squelette,...

Description des primitives visuelles

- Invariants d'images (histogrammes, moments,...)
- Calcul de signature d'image (couleur, texture, formes).
- Représentation par sacs et par graphes

Méthodes de classification supervisée et non supervisée

- Mesures de similarité, k plus proches voisins
- ACP, K-means, classification hiérarchique, arbres de décision, SVM, etc.

Méthodes d'indexation, technique de hachage

Appariement d'images et recherche dans des bases multimédia

- Adaptation, bouclage, interaction avec l'utilisateur
- Recherche dans les très grandes bases

*Prérequis : cours de base en traitement d'image*

## **UEC-SIC-R-2 – Codage de source, compression d’images fixes et vidéos**

(Cl. Weidmann – ETIS)

L’objectif de ce cours est d’acquérir les fondamentaux en codage de source et compression de données. On s’attachera à présenter les notions et techniques fondamentales ainsi que les applications aux différents standards de compression existants.

Le cours est organisé de la manière suivante :

### Compression sans perte :

- Modèle de sources, entropie, codage entropique à longueur variable (Huffman), théorème fondamentale du codage de source sans perte.
- Codes de Shannon-Fano et arithmétiques.
- Compression universelle.
- Méthodes de compression à base de dictionnaire, codage de Lempel-Ziv.
- Codes entropiques particuliers et transformation de Burrows-Wheeler.

### Compression avec pertes :

- Quantification scalaire, algorithme de Lloyd-Max.
- Entropy différentielle, théorie Débit-distortion, théorème fondamentale du codage de source avec perte.
- Quantification vectorielle et algorithme LBG.
- Compression de source progressive.
- Codage par transformée : codage par transformation DCT et ondelettes. Application à la compression d’images (JPEG et JPEG2000).
- Principe de compression vidéo. Application : standards H264 et MPEG-part10.

### Méthodes avancées :

- Quantification en treillis.
- Codage par descriptions multiples.
- Introduction au tatouage numérique.

*Prérequis : Bases de traitement numériques des images, bases de communications numériques, ondelettes et banc de filtres.*

## **UEC-SIC-R-3 - Principes de physique mathématique et problèmes inverses en imagerie (M. Nguyen - ETIS, T. Truong - LPTM)**

Mots clés : systèmes d’imagerie, imagerie par émission, par transmission et par réflexion, formation et reconstruction d’images, transformations intégrales, méthodes inverses.

L’objectif du cours est de fournir les connaissances pluridisciplinaires (traitement de l’image, physique, mathématiques, problèmes inverses et analyse numérique) en vue d’étudier les différents aspects d’un système d’imagerie, à savoir le processus physique de formation d’images, instrumentation, reconstruction d’images et leurs modélisations mathématiques. Sont concernés les systèmes d’imagerie qui utilisent les ondes acoustiques, électromagnétiques et les rayonnements ionisants (X et gamma) fonctionnant par réflexion, par émission et par transmission. Ces systèmes d’imagerie se trouvent dans de nombreuses applications telles que l’imagerie médicale, le contrôle industriel non destructif, la sécurité du territoire, l’astronomie, etc.

Les points suivants seront abordés et illustrés :

- Principes d’imagerie par émission, par transmission et par réflexion basés sur la physique des ondes et du rayonnement ionisant
- Transformées intégrales (Radon, Fourier, Hankel, Legendre) et leur application en imagerie
- Élément d’analyse harmonique et application en imagerie

- Problèmes inverses en imagerie : méthodes de restauration et de reconstruction d'images (analytiques, algébriques et statistiques)
- Algorithmes associés et analyse numérique

*Prérequis : Optimisation de critères (tronc commun), Bases de traitement d'images (tronc commun).*

### **UEC-SIC-R-5 - Vision naturelle et artificielle (L. Hafemeister, Ph. Gaussier – ETIS)**

Mots clés : vision, perception, systèmes bio-inspirés, modélisation neuronale, systèmes dynamiques, navigation visuelle.

Dans ce cours nous montrerons que la conception de systèmes artificiels s'inspirant de l'étude des systèmes nerveux biologiques peut déboucher sur des réalisations très performantes. Centré principalement sur l'étude de la modalité visuelle (insectes, mammifères, primates...) nous présenterons des modèles allant de la rétine aux centres de décision moteurs en passant par les différentes aires corticales visuelles... Ce cours s'appuiera sur des exemples de transferts réussis entre biologie et sciences pour l'ingénieur, notamment :

- rétines artificielles (perception contraste, couleur, mouvement,...)
- systèmes de segmentation (extraction de contours, contours virtuels, extraction de points d'intérêt,...)
- reconnaissance et discrimination de formes (différents circuits de reconnaissance, propriétés des mécanismes de reconnaissance de l'homme,...)
- robotique (localisation, navigation,...)

Ce cours permettra aussi d'introduire les outils de modélisation et de simulation neuronale actuels :

- théorie des câbles (modèles de neurones à compartiments)
- modèles de neurones directement inspirés de la neurobiologie (modèles de neurones à spikes / integrate and fire, à fréquence moyenne de décharge,...)
- mécanismes de compétition et de coopération dynamique (utilisation pour des problèmes de régularisation, remplissage de région,...)
- théorie des systèmes dynamiques
- L'accent sera mis sur le fait que les systèmes de vision n'ont de sens que dans le cadre d'une approche écologique de la vision (Gibson). C'est à dire, prenant en compte le couplage perception/action et la dynamique des interactions entre l'agent et son environnement.

*Prérequis : Modèles classiques de réseaux de neurones, traitement d'images*

### **UEC-SIC-R-6 - Robotique et commande bio-inspirée (P. Hénaff - ETIS)**

Mots clés : Robotique, modélisation, commande, préhension, locomotion, commande par apprentissage, contrôleurs bio-inspirés,

Le but de ce cours est d'acquérir d'une part les éléments essentiels à la compréhension des modèles mécaniques utilisés classiquement en robotique, et d'autre part de découvrir les méthodes de commande de robots inspirées de la biologie. Le cours se situera dans le cadre de la robotique humanoïde en se focalisant sur les tâches de manipulation et de locomotion.

#### 1ère partie : Robotique.

- principes de base des modèles géométrique, cinématique, dynamique.
- types d'actionnement (électrique, pneumatique, hydraulique,) et de liaisons (prismatique, rotoïde)
- automatique linéaire et commande des robots: systèmes du premier ordre et du second ordre, boucle ouverte, boucle fermée, correcteur PID, notion de stabilité et de précision, notion de contrôle optimal, notion de contrôle adaptatif
- manipulation et préhension : stratégies
- notion de compliance : mécanique, contrôlée



## 2ème partie: commande bio-inspirée.

- robotique humanoïde: intérêts et difficultés
- principes du système nerveux moteur chez l'animal et l'homme : membres supérieurs (manipulation, préhension) et inférieurs (locomotion)
- notion de plasticité synaptique et neuronale
- synthèse évolutionniste: coévolution morphologie/contrôleurs, impact des modèles utilisés (robot, variables d'environnements du robot,...) contrôleurs neuronaux : modèles de neurones (statique, dynamiques) et modèles d'architectures
- algorithmes d'apprentissage de lois de commande, rétropropagation classique et temporelle
- liens rétropropagation/contrôle optimal, plasticité/contrôle adaptatif
- genèse de mouvements rythmiques: modèles de CPG (neuronaux, à base d'oscillateurs linéaires ou non linéaires).

*Prérequis: bases en intelligence artificielle*

### **UEC-SIC-R-7 - Apprentissage, adaptation (P. Andry, Ph. Gaussier, M. Quoy - ETIS)**

Mots clés : classification statistique, réseaux de neurones pour la classification, apprentissage associatif, apprentissage par renforcement, cartes cognitives, dynamique et adaptation.

L'objectif de ce cours est d'étudier des techniques permettant à un système de s'adapter aux variations de son environnement ou de classer des données en fonction de certaines régularités statistiques. Chaque technique sera illustrée par des études de cas pratiques : classification de billets de banques, apprentissage de la planification dans un labyrinthe, optimisation du routage dans un réseau ATM.

Tout d'abord nous étudierons les différents types de techniques de classification de données :

- analyse des données (analyse en composantes principales,...)
- classifieurs statistiques (classifieurs bayésien, nuées dynamiques,...)
- réseaux de neurones supervisés (LMS, rétropropagation du gradient,...)
- arbres de décision
- RN non supervisés (LVQ, cartes topologiques, ART,...)
- machines à support vecteur

Ensuite nous nous intéresserons aux problèmes d'apprentissage par renforcement :

- apprentissage d'associations sensori-motrices (conditionnement)
- politiques de maximisation de renforcement (greedy policy, fonction d'utilité, mécanismes de prise de décision simples,...)
- résolution de problème avec une récompense frustrée et/ou retardée (TD-lambda, Q-learning, mécanismes de prise de décision complexes...)

Ces techniques seront comparées à des techniques de planification classiques et/ou de construction de carte cognitives (grilles résistives, réseaux de croyance, graphes pour la planification). Pour finir, le problème de la dynamique de la prise de décision et de ses implications à la fois pour l'apprentissage et la stabilité des comportements sera abordé (winner take all dynamiques, théorie des systèmes dynamiques, champs neuronaux : équations d'Amari,...).

*Prérequis : Techniques de base d'Intelligence Artificielle, statistiques et optimisation*

### **UEC-SIC-R-8 - Codage, turbo-codage (D. Declercq, I. Andriyanova- ETIS)**

Mots clés : Codes en bloc, codes convolutifs, décodage souple, Algorithme de Viterbi, algorithme BCJR, treillis, graphe factoriel, propagation de croyances, codes LDPC, turbo-codes.

La vocation du cours est de doter ses auditeurs des connaissances théoriques et pratiques qui permettent de concevoir et analyser un codeur de canal destiné à lutter contre les erreurs. Les points suivants seront traités :

Théorie générale des codes linéaires, codage aléatoire, distance minimale

Structure et décodage des codes convolutifs : algorithme de Viterbi, BCJR, représentation graphique des codes convolutifs, extension aux turbo-codes

Décodage et optimisation des codes LDPC : algorithme de propagation de croyances, codes LDPC irréguliers, évolution de densités

*Prérequis : bases de communications numériques, probabilités.*

### **UEC-SIC-R-9 - Transmissions à haut-débit (I. Fijalkow, V. Belmega, M. Le Treust, L. Luzzi - ETIS)**

Mots clés : haut-débit, modulation multi-porteuses OFDM, accès multiple, CDMA, codage spatio-temporel (MIMO).

Le but de ce cours est présenter les alternatives à l'égalisation afin d'optimiser l'utilisation du support fréquentiel pour bien transmettre la plus grande quantité d'information possible (le codage correcteur d'erreur est étudié en UEF-SIC-R-8).

Les points suivants seront traités :

- émission et réception en multi-porteuses (OFDM),
- accès multiple : multiplexage par répartition de codes (CDMA) en fréquence (OFDMA, SC-FDMA)
- Multiplexage spatial, Formation de voies, MRC, diversité d'antenne en émission et réception, codage spatio-temporel.

*Prérequis : bases de communications numériques, bases de probabilités.*

### **UEC-SIC-R-10 – Big data (D. Laurent, D. Vodislav, C. Marinica, T. Jen - ETIS)**

Le but de ce cours est d'introduire les principales problématiques de recherche liées au défi actuel de gestion de grandes masses de données ("Big Data"). L'accent est mis sur les aspects intégration et fouille de ces grands volumes de données, sur leurs principales sources (Web, flux d'information, réseaux sociaux, etc.) et sur les techniques de type "cloud computing" pour leur traitement. Les élèves présenteront des exposés basés sur des articles de recherche dans ce domaine qui leur seront proposés.

Contenu

- principes du traitement massif des données (Map-Reduce, cloud, etc)
- RDF, données ouvertes et web de données
- réseaux sociaux et flux d'information
- fouille de données dans le cloud
- traitement de requêtes OLAP dans le cloud
- lecture d'articles et exposé

*Prérequis : Intégration et fouille de données.*

## **UEC-ESA-SIC-1 - Systèmes intégrés de transmission de données**

(M. Ariaudo - ETIS)

Les caractéristiques des circuits utilisés dans les systèmes autonomes doivent répondre à des contraintes de taille, coût, consommation et performances. Leur analyse et leur caractérisation sont faites grâce à une étude globale du système.

Ce cours s'articule autour des quatre parties suivantes:

- architecture d'un émetteur/récepteur et dimensionnement
- contraintes sur les circuits
- influence des caractéristiques des circuits sur la qualité
- reconfigurabilité des systèmes de transmission

*Prérequis : Notions de base sur les circuits analogiques*

## **UEC-ESA-SIC-2 - Systèmes embarqués auto-adaptables (B. Miramond – ETIS)**

Ce module a pour objectif d'introduire des paradigmes de calcul rompant avec la classique vue séquentielle de Von Neumann et qui peuvent permettre d'être à la base d'architectures de traitement de nouvelle génération dites auto-adaptables. Nous étudions plus précisément les mécanismes inspirés du monde du vivant qui implantés en matériel apportent des propriétés d'autonomie, de robustesse et d'auto-organisation.

Evolvable architecture

data compression

evolutionary computation

evolvable hardware

genetic algorithms

genetic programming

Automate Cellulaire

Exemple du Jeu de la vie

Définition et Classification (Wolfram & Langton)

Auto-réplication

Architecture bio-Inspirées

POEtic

Ordinateur à Base d'ADN

CoreWar, Tierra

Créatures de Langton

Technologie Emergente

NanoArchitecture

Electronique Moléculaire

OptoElectronique

Electronique Quantique

*Prérequis : formation solide en systèmes numériques préalablement au Master*

## **UEC-ESA-SIC-4 : Architecture des systèmes reconfigurables (A. Benkhelifa – ETIS)**

L'objectif de ce module est de présenter le plus largement possible les concepts technologiques et architecturaux qui permettent l'exploitation des circuits reconfigurables pour la réalisation de systèmes de traitement numérique embarqués.

- La technologie des circuits FPGA
  - Les ressources de routage
  - Les cellules de base (LE, CLB)

- L'organisation générale des circuits FPGA
  - Les ressources spécifiques (PLL, E/S rapides, multiplieurs, mémoires)
- Introduction aux architectures de Systèmes Programmables (SOPC)
  - Les « Intellectual Properties »
  - Les processeurs reconfigurables/custom
  - Les bus embarqués
- Introduction aux systèmes auto-reconfigurables