

# **MASTER INGENIERIE DES SYSTEMES COMPLEXES**

**2<sup>nd</sup>e ANNEE**

**PARCOURS VISTA**

**SYLLABUS SIMPLIFIE**

## Semestre 3

### **UE 31 : Compétences 3 (commun VISTA et RISE)**

- Anglais 3
- Recherche documentaire
- Initiation à la recherche

### **UE 32 : Systèmes de décision : théorie et application**

- Estimation 2
- Détection
- Filtrage optimal
- Sonar
- Radar
- Projets

### **UE 33 : Vision et tracking**

- Vision par ordinateur
- Apprentissage profond
- Traitement de l'image
- Commande des systèmes complexes
- Estimation bayésienne
- Multicapteurs (traitement d'antenne)
- Imagerie Médicale par ultrasons

### **UE 31 : Anglais 3 (TD : 18h)**

L'enseignement de l'anglais à l'UFR Sciences & Techniques, et a fortiori au niveau Master, est axé sur les cinq compétences langagières : compréhensions orale et écrite ; productions orale et écrite ; interaction orale. L'objectif est d'atteindre, à la sortie du Master, un niveau B2+ du Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues

([https://www.coe.int/t/dg4/linguistic/Source/Framework\\_FR.pdf](https://www.coe.int/t/dg4/linguistic/Source/Framework_FR.pdf)). Après une première année axée sur l'anglais général contextualisé aux thématiques scientifiques, il s'agira, en deuxième année, d'aborder un anglais de spécialité plus pointu. En d'autres termes, l'accent sera mis sur l'anglais scientifique adapté à la filière de l'étudiant. Ainsi, l'accent sera mis sur les exposés oraux (style 'communications' lors de congrès), les analyses d'article et de textes scientifiques authentiques (non didactisés), les compréhensions orales à partir de conférences et éventuellement les fiches de vocabulaire. A noter que les cours d'anglais en Master se font en priorité en laboratoire de langues.

## **UE 31 : Recherche documentaire (TD : 4h)**

Cette ECUE s'articulera autour des thématiques suivantes :

- Recherche documentaire : mener une recherche efficace
- Ressources documentaires : utiliser les ressources documentaires de sa discipline
- Veille informationnelle : réaliser une veille
- Plagiat et intégrité scientifique : connaître les principes de l'intégrité scientifique et de la lutte contre le plagiat
- Droit d'auteur et licences libres : utiliser les licences libres et connaître les fondamentaux du droit d'auteur

**UE 31 : Initiation à la recherche (TD : 9h)**

L'UE "initiation à la recherche" porte sur la présentation d'un sujet scientifique à l'oral et à l'écrit. Les étudiants peuvent choisir de se consacrer au sujet de leur choix. Ils peuvent présenter la théorie décrite dans un article scientifique, ou réaliser une analyse expérimentale à partir de données simulées ou réelles. L'un des objectifs de cette UE est une ouverture vers la recherche. Un autre objectif est de former les étudiants à la rédaction de leur rapport et de leur soutenance de stage de Master.

## **UE 32 : Estimation 2 (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**

### Objectifs

Savoir mettre en œuvre les techniques d'estimation non-bayésienne (i.e. sans connaissance a priori) sur des problèmes complexes de traitement du signal et de trajectographie.

### Contenu

#### 1) Estimation multidimensionnelle

- Étude d'observabilité,
- Techniques de calcul du gradient,
- Application à l'estimateur des moindres carrés pondérés dans le cas non-linéaire,
- Application à l'estimateur du maximum de vraisemblance,

#### 2) Étude des performances asymptotiques

- Matrice d'information de Fisher et borne de Cramér-Rao,
- Détection d'un biais et de la non efficacité d'un estimateur.

#### 3) Au-delà du modèle

- Sélection de modèle
- Robustesse des estimateurs

Les concepts sont mis en œuvre au cours des séances de travaux pratiques.

### Prérequis

Enseignements du cours Estimation 1.

## **UE 32 : Détection (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**

### Objectifs

Savoir mettre en œuvre les techniques de détection statistique.

### Contenu

- 1) Définitions générales
- 2) Critères de performance.
- 3) Structure statistique paramétrique.
- 4) Minimisation de la probabilité d'erreur (hypothèses simples, borne de Bhattacharyya, hypothèses composites, risque de Bayes).
- 5) Courbe COR
- 6) Théorie de Neyman-Pearson,

Les concepts sont mis en œuvre au cours des séances de travaux pratiques.

### Prérequis

Enseignements des cours Estimation 1 (a et b) et Estimation 2.

## UE 32 : Filtrage optimal (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)

### Objectifs

Combiner les outils statistiques et les outils d'optimisations sous contraintes afin de résoudre la problématique visée. Application à différents domaines tels que la détection, la classification ou la séparation de source.

### Contenu

Développement canonique d'un processus aléatoire ou fonction aléatoire.

Projection et approximation d'un vecteur aléatoire sur un sous-espace.

Décomposition de Karhunen-Loève.

Le filtrage adapté stochastique et optimisation du rapport signal à bruit sur un sous-espace de dimension 1. Application à la détection et la séparation de sources.

Le filtrage adapté stochastique sous contrainte (optimisation sous contrainte, sur un sous-espace de dimension p) et ses propriétés.

Extension au problème de la classification et utilisation multicritères. (optimisation d'un rapport signal à bruit moyen).

### Prérequis

Maîtriser les probabilités, les grandeurs statistiques pour les processus aléatoires.

Maîtriser l'algèbre linéaire, et les espaces vectoriels.



## UE 32 : SONAR (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)

### Objectifs

A l'issue de ce cours, les étudiants devront être capables de :

- Etre sensibilisé à la difficulté particulière du traitement des signaux acoustiques en milieu marin (bruit important, effet Doppler non négligeable, ...),
- Connaître et utiliser un certain nombre d'outils développés dans ce cours : fonction d'ambiguïté, fonction d'inter-ambiguïté en compression, ...
- Mettre en œuvre des traitements destinés à :
  - Visualiser des données avant et après traitement
  - Evaluer certaines quantités (distance SONAR-cible, vitesse radiale, ...)
  - Analyser et interpréter les résultats.

### Contenu

Principe général des systèmes SONAR, actif et passif, ...

Comparaison des performances SONAR / RADAR.

Problématiques particulières de l'Acoustique Sous-Marine (ASM) : effet Doppler, niveau de bruit ...

Description du milieu sous-marin (nature des bruits, bruits large bande et bande étroite, cavitation, profils bathycélérimétriques, ...).

Outils du traitement statistique des données (détection, estimation, classification et identification).

Détection par traitement non cohérent ou cohérent.

- SONAR actif (traitement en bande étroite) .

Etude détaillée de quelques cas de signaux classiques (fréquence pure, fréquence avec modulation linéaire ou hyperbolique) : sur un capteur et non une antenne.

Estimation de distance et de vitesse de la cible.

- SONAR passif (traitement en large bande) : détection.

Un TP a pour objectif d'illustrer, sur un problème concret, l'intérêt de cette technique en SONAR actif mono-capteur: l'étudiant dispose de signaux (numériques) émis et reçus sur un hydrophone et doit en déduire la distance de la cible et sa vitesse radiale. Les traitements sont faits sous Matlab.

### Prérequis

Maîtrise du logiciel Matlab.

Connaissance de l'échelle décibel.

Transformée de Fourier.

Probabilités et signaux aléatoires (fonction d'auto et intercorrélation, densité spectrale de puissance, ...).

Mesure de retards par intercorrélation.

Propriétés essentielles des signaux gaussiens.

Théorie de la décision (détection et estimation) : rapport de vraisemblance, RSB, déflexion, ...

Filtrage adapté (déterministe).

## UE 32 : Radar (cours : 18 h\*)

### OBJECTIF

Ce cours est une présentation des systèmes radar et de leurs utilisations (des plus simples aux plus complexes ; du domaine civil au domaine militaire). De manière générale, ce cours répond aux questions suivantes :

- quelles informations peut-on extraire de l'interaction d'une onde électromagnétique avec un objet physique ?
- quelles performances peut-on obtenir ?

Le cours couvre les principaux aspects de la problématique de détection radar :

1. Principes de fonctionnement,
2. Fonctions réalisées,
3. Principaux constituants,
4. Méthodologie de détermination des performances et compromis associés.

### CONTENU

Le cours est structuré en seize chapitres permettant de couvrir l'ensemble des quatre points de l'objectif et d'illustrer la diversité des applications possibles:

- #01 - Présentation générale,
- #02 - Principes de mesures (distance et angle),
- #03 - Discrétisation de l'espace,
- #04 - Constitution & fonctionnement,
- #05 - Equation du radar,
- #06 - Surface équivalente radar,
- #07 - Théorie de la détection et onde continue,
- #08 - Radar à onde continue et traitements Doppler,
- #09 - Compression d'impulsion,
- #10 - Balayage électronique,
- #11 - Formation de faisceaux par le calcul,
- #12 - Pistage,
- #13 - Poursuite de cibles,
- #14 - Radar secondaire,
- #15 - Guerre électronique,
- #16 - Propagation des ondes radar.

### PREREQUIS

Les prérequis sont des notions élémentaires en :

- Mathématiques (probabilités, logarithmes, vecteurs et matrices),
- Ondes électromagnétiques (nature et propagation, dispositifs hyperfréquence),
- Electronique générale (filtrage, amplification),
- Traitement du signal (filtres numériques, convolution, transformée de Fourier),
- Théorie de la détection (critère de Neyman-Pearson, courbes COR, filtre adapté),
- Estimation statistique (performances estimateurs, moindres carrés, filtre de Kalman).

(\*) quelques exercices d'application sont traités durant les séances de cours ; des exercices dédiés à chaque chapitre sont disponibles (avec correction) dans les supports de cours.

## **UE 32 : Projets (TP : 3 h)**

### OBJECTIF

L'objectif est que les étudiants prennent de l'autonomie et mettent en œuvre les théories vues en cours.

### CONTENU

Les étudiants répondent à un appel à projet. Sous l'encadrement d'un tuteur, ils étudient la mise en application d'une technique sur un sujet précis, ils complètent leur étude technique par une analyse des enjeux dans le domaine considéré.

### PREREQUIS

Avoir été formé en science des données.

## **UE33 : Vision par ordinateur (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**

### Objectifs

Ce cours, en deux parties, complète celui de M1. La première partie présente la méthode DLT pour l'estimation d'une homographie, la calibration de caméra et la calibration stéréoscopique. La deuxième partie concerne les méthodes de détection d'objets dans une image en utilisant des modèles de réseaux de neurones.

### Contenu

#### Partie I : Perception 3D

- I. Outils théoriques et rappels
  - a. Décomposition SVD
  - b. Estimateurs robustes
  - c. Méthodes itératives
  - d. Représentation en coordonnées homogènes
- II. Homographie
- III. Modélisation d'une caméra et géométrie projective
- IV Vision stéréoscopique
  - a. Calibration stéréoscopique
  - b. Reconstruction
- V. Autocalibration

#### Partie 2 : Détection d'objet

- I. Principes généraux de la détection d'objets
- II. Algorithmes en deux étapes (RCNN, Fast-RCNN, Faster-RCNN)
- III. Algorithmes en 1 étapes (YOLO et modèles dérivés)

### Prérequis

Algèbre linéaire

Cours de M1 de vision par ordinateur

Cours d'apprentissage de M1 et d'apprentissage profond de M2

## **UE33 : Apprentissage profond (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**

### Objectifs

L'objectif du cours est de présenter les modèles de l'état de l'art de l'apprentissage profond.

### Contenu

I. Rappels : Classification et régression par le Maximum de Vraisemblance et les méthodes Bayésiennes, régression logistique.

II. Réseaux de neurones multicouches

- a. Principes généraux des modèles à une couche cachée.
- b. Apprentissage par rétro-propagation du gradient
- b. Régularisation
- c. Mixture density network

III. Réseaux de neurones convolutifs

IV. Réseaux de neurones récurrents

- a. RNN
- b. LSTM
- b. GRU
- c. Transformer

V. Visual-Transformer

VI. Méthodes auto-supervisées

- a. Auto-encodeurs simples et variationnels
- b. GANs

### Prérequis

Algèbre linéaire

Généralités sur les probabilités : Variables, vecteurs et signaux aléatoires, moments, lois conditionnelles, théorème de Bayes, ...

Cours de M1 d'apprentissage

## **UE33 : Traitement de l'image (cours : 6 h, TP : 9h)**

### Objectifs

L'objectif de ce module est d'acquérir les compétences pour être capable de mettre en place une solution de vision industrielle pour répondre à une question donnée dans une chaîne de fabrication par exemple. Le contrôle peut être qualitatif (objet conforme ou non conforme, objet présent ou absent, couleur conforme ou non) mais il peut être aussi quantitatif (mesure de taille ou comptage d'objets).

### Contenu

- Introduction à la vision industrielle
- Le dispositif d'éclairage et d'acquisition d'images
- Les méthodes de traitement pour améliorer la qualité de l'image
- Les méthodes de traitement pour compter des objets, comparer la taille d'un objet, sa compacité ou sa couleur par rapport à un objet de référence pour réaliser du contrôle de qualité dans une chaîne de fabrication.

### Prérequis

Initiation à Matlab

Initiation à Python

## **UE33 : Commandes des systèmes complexes (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**

### Objectifs

L'objectif est de présenter des approches basées sur le soft-computing pour modéliser et commander des systèmes complexes.

### Contenu

Intuitivement, la notion de système complexe permet de qualifier des systèmes qui, par certains de leurs comportements, par leur dimension, et par la diversité des natures des phénomènes mis en jeu, présentent des difficultés d'analyse. Dans ce contexte, la commande de ces systèmes est souvent difficile et non triviale.

Dans ce cours, pour aborder cette problématique, nous étudions les techniques basées sur la logique floue et les réseaux de neurones. Pour compléter, nous introduisons les approches multi-modèles.

Les thèmes abordés :

- Principes généraux sur les réseaux de neurones
- Réseaux multicouches à rétropropagation du gradient pour la modélisation et la commande des systèmes non linéaires
- Réseaux de Kohonen
- Introduction à la logique floue
- Régulateurs flous
- Introduction aux approches multi-modèles pour les systèmes non linéaires

### Prérequis

Bases de l'automatique et notions élémentaires sur l'analyse et la commande des systèmes continus et discrets multivariables.

Algèbre linéaire.

Méthodes d'optimisation.

**UE33 : Estimation Bayésienne (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**Objectifs

Donner les fondamentaux de l'estimation bayésienne. Savoir mettre en œuvre un filtre récursif.

Contenu

- 1) Estimation bayésienne : Estimateur MAP et MMSE.
- 2) Estimation récursive bayésienne
  - filtrage de Kalman
  - filtrage de Kalman étendu
  - prédiction, filtrage et lissage des processus Markoviens

Les concepts sont mis en œuvre au cours des séances de travaux pratiques.

Prérequis

Enseignement d'estimation 1 et 2.



## UE 33 : Imagerie Médicale par Ultra Son (cours : 12 h, TD : 6h)

### Objectifs

Ce cours propose une introduction à l'imagerie médicale par ultrasons. Dans un premier temps, il vise à décrire le processus de formation d'image. Puis vient une description des modes d'imagerie conventionnels et les traitements du signal associés. Ensuite, les différentes techniques d'imagerie à ouverture de synthèse seront présentées. Le cours se termine avec les modes d'imagerie ultra-rapide.

### Contenu

1. Formation d'image par ultrasons
  - a. Imagerie ultrasonore linéaire – Diffraction impulsionnelle
  - b. Relations géométriques et fonction d'ouverture
  - c. Formation d'image – Estimateur du maximum de vraisemblance
  - d. Speckle – Théorème de Van Cittert Zernike
  - e. Architecture fonctionnelle du système d'imagerie
2. Modes d'imagerie conventionnelle
  - a. Mode B
  - b. Modes Doppler
    - i. Estimation spectrale non paramétrique
    - ii. Doppler continu
    - iii. Doppler pulsé
    - iv. Imagerie des flux sanguins
    - v. Filtre de parois

### PREREQUIS

Bases de traitement du signal (réponse impulsionnelle, convolution, transformée de Fourier ...).

Transformée de Hilbert, signal analytique, démodulation IQ.

Bases de l'estimation paramétrique, en particulier estimation fréquentielle et du temps de retard.

## **UE33 : Multicapteurs (cours : 9 h, TD : 3h, TP : 6h)**

### Objectifs

Définir les traitements spatiaux numériques d'antenne classiques appliqués à la goniométrie et /ou au filtrage spatial. Initiation au filtrage spatio-temporel pour la détection : fonction d'ambiguïté (FA) multicapteur et filtrage réciproque (FR)

### Contenu

- 1) Modélisation des signaux captés dans le cas d'une antenne-réseau EM ou acoustique (en champ lointain et accessoirement en champ proche)
- 2) Traitements spatiaux d'antenne classique :
  - Formation de voies conventionnelle (TFD spatiale)
  - Récepteur adapté (CAPON)
  - Annulateur d'interférence
  - MUSIC
- 3) Détection en radar multicapteur Doppler passif OFDM (comparaison FA et FR)

### Prérequis

Compétences équivalentes à l'UE 13 (resp. UE 23) de spécialisation VISTA « Multicapteurs, séparation de sources » (resp. « Transmissions Numériques ») en M1 ISC, algèbre linéaire, calcul matriciel, modulation IQ, maîtrise de l'anglais écrit.