

DOMAINE SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTE  
PROGRAMME PEDAGOGIQUE MASTER 2

## MASTER AUTOMATIQUE ET SYSTEMES ELECTRIQUES

Systèmes, machines autonomes et réseaux de terrain



### Objectifs de la formation

L'intégration de plus en plus poussée des technologies pour le traitement et l'échange de l'information permet, non seulement de contrôler, mais également de réaliser des dispositifs automatisés de plus en plus économes, en énergie et en temps, autonomes ou, au contraire, aptes à collaborer en réseau pour accomplir certaines tâches. Ces dispositifs doivent de plus être capables d'interagir rapidement avec leur environnement pour apprendre et ainsi améliorer leur comportement.

Le parcours SMaRT proposé, à vocation Recherche et Professionnelle, s'inscrit dans cette perspective. Se spécialisant dès le second semestre du Master ASE, il vise à former des cadres de haut niveau possédant une formation transversale allant du contrôle en temps réel d'un système dynamique à la supervision d'une chaîne de production industrielle.

### Débouchés de la formation

Parmi les secteurs socio-économiques et industriels nombreux et variés offrant des métiers en rapport avec cette thématique, nous pouvons citer, de manière non exhaustive:

- Transports: véhicules automatisés,
- Services à la personne, Handicap et Santé: aide à la communication et à la mobilité, prothèses actives, robots
- médicaux,
- Industrie manufacturière: cellules robotisées (construction automobile, aéronautique, ou autre),
- Sécurité: réseaux de surveillance dans les transports, réseaux de vigilance incendie, météo, etc.

Outre les débouchés en Recherche et Développement, le titulaire du Master SMaRT peut prétendre à divers emplois tels que Chef de projet/Responsable informatique industrielle, Ingénieur en automatique et robotique, Ingénieur d'étude et de développement, etc.

### Organisation de la formation

La structure générale de chaque semestre (S1 à S4) est composée d'unités d'enseignement (UE) de 5 ECTS (50 heures), auxquelles sont associés des projets laissant une part d'autonomie croissante aux étudiants (5,10,15 puis 20 ECTS respectivement pour les semestres S1 à S4). Cette pédagogie de projet, décrite ci-dessous et conduisant à des réalisations concrètes, vise à offrir aux étudiants une formation opérationnelle à faire valoir auprès du secteur industriel.

- Le premier semestre est commun à l'ensemble du Master ASE et affiche des modules à caractères complémentaires basés sur différentes approches de représentation des signaux et systèmes (composants, énergétique, automatique et analyse).
- Le second semestre, propre à la spécialité SMaRT, met l'accent sur l'acquisition de compétences en Commande numérique et Informatique Industrielle. Outre son caractère professionnalisant, l'Unité

Micro contrôleurs et Temps réel fournit les bases des réalisations embarquées et vient renforcer l'unité Robotique mobile du S3.

- Les Unités d'Enseignement ci-dessous des semestres S3 et S4 et marquées (\*) affichent un adossement Recherche mais conservent un caractère professionnalisant. A ce titre, les cours magistraux devront se focaliser sur les fondamentaux et s'appuyer sur des travaux dirigés et le cas échéant pratiques.
- Les autres Unités d'Enseignement des semestres S3 et S4 sont à caractère Professionnel et comprennent des séminaires impliquant le monde industriel. Ces séminaires ont vocation à permettre aux étudiants de se positionner et de réagir aux attentes du milieu professionnel.
- Aux enseignements du semestre S4 s'ajoute un module obligatoire à OECTS intitulé Méthodologie de la Recherche et de l'innovation.

S1	Projet	Gestion des Syst. Elec.	Conversion d'énergie	Automatique	Traitement du signal	Anglais & Communication
S2	Projet		Commande (Lin. & Num)	Micro contrôleurs & Temps réel	Génie Logiciel I	Anglais & Communication
S3	Projet			2 UE parmi les 4 ci-dessous		Anglais & Communication
S4	Projet (Stage en Entreprise ou Laboratoire)				2 UE parmi les 4 ci-dessous	

UE au choix du semestre S3 (deux parmi quatre)			
Commande, Robotique et Robotique mobile (*)	Conception Intégrée de Systèmes de Supervision (*)	Réseaux de Terrain	Vision industrielle

UE au choix du semestre S4 (deux parmi quatre)			
Systèmes Dynamiques (*)	Aide à la Décision (*)	Gestions de données Industrielles	Génie Logiciel II

### La pédagogie par projet:

Cette approche innovante est centrée sur les étudiants et vise à leur faire acquérir des compétences transversales et une aptitude au travail de groupe, en préparation de ce qui leur sera demandé dans l'industrie. Le caractère pluridisciplinaire nécessite la forte implication d'un enseignant coordinateur et l'intervention d'une équipe d'experts (pouvant être extérieurs) dont le rôle est d'apporter le complément de formation requis par le projet.

Exemple de projet au 3ème semestre (2 jours / semaine)		
Titre du projet	Thématiques impliquées	Calendrier (résumé) de travail
Commande de véhicule autonome	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vision,</li> <li>• Robotique mobile et calcul de trajectoires,</li> <li>• Lois de commande,</li> <li>• Interfaces, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Répartition des tâches, rédaction d'un plan de travail,</li> <li>• Réévaluation périodique des objectifs et bilans de parcours,</li> <li>• Bilan du projet.</li> </ul>

La mise en œuvre pratique de cette pédagogie, basée sur l'autonomie et la responsabilisation des étudiants, passe par la mise à disposition d'un nombre fixé d'heures de consultance (10 heures par projet) à gérer en fonction des objectifs fixés et sous la tutelle du coordinateur. Un Comité de projet, formé en début d'année, est chargé d'étudier la viabilité de chaque projet soumis. Au second semestre, et dans le cadre de leur projet, les

étudiants sont initiés à la Gestion de projet. Les projets du premier et second semestres s'effectuent en petits groupes, tandis que ceux du troisième semestre impliquent un nombre plus élevé d'étudiant (5 à 8).

## Equipe pédagogique

La formation théorique proposée s'appuie sur les compétences et les thématiques du Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille (CRISTAL, CNRS UMR 9189), de tutelles locales L' Ecole Centrale de Lille et l' Université Lille1. Les structures de Recherche telles que INRIA Lille Nord Europe, dans laquelle sont impliquées plusieurs équipes de CRISTAL, le pôle de compétitivité I-Trans orienté vers les transports du futur, ou encore la mise en place du programme Campus Intelligence Ambiante en vue de la création d'un futur Institut, sont autant d'entités jouant un rôle particulier dans les orientations Recherche de cette spécialité et dans les débouchés potentiels pour les étudiants issus de ce Master.

Nom, prénom	Qualité-	Section CNU-	Equipe-Laboratoire	Composante-	Etablissement- Entreprise
Bekeart Marie-Hélène	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Belkoura Lotfi	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Cabestaing François	PR	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Cantegrit Brigitte	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Christov Nicolai	PR	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Conrard Blaise	MCF	61	CRISTAL	IMA	USTL
Colot Olivier	PR	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Edel Michel	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Fiter Christophe	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Klein John	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Losson Olivier	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Vannobel Jean-Marc	MCF	61	CRISTAL	IEEA	USTL
Richard Jean-Pierre	PR	61	CRISTAL	Automatique	Centrale Lille
Belkacem Ould Bouamama	PR	61	CRISTAL	IMA	EPU Lille
El Badaoui El Najjar Maan	MCF	61	CRISTAL	IMA	EPU Lille
Merzouki Rochdi	MCF	61	CRISTAL	IMA	EPU Lille
Gang Zheng	CR	61	CRISTAL		INRIA
Efimov Denis	CR	61	CRISTAL		INRIA
Rahmani Ahmed	PR	61	CRISTAL		Centrale Lille

## Compétences acquises

Compétences développées : Informatique Industrielle, Robotique et Robotique Mobile, Vision Industrielle, Réseaux deTerrain, Contrôle, Supervision, Anglais et Communication.

Le contenu pédagogique découle des différents mots-clés associés aux secteurs socio- économiques et industriels cités plus haut. On y retrouve les notions et thématiques associées :

- Evolution autonome & Intelligence embarquée : (Observation et identification des systèmes, Apprentissage en ligne et reconfiguration, Commande, interfaces et contrôleurs numériques),
- Collaboration en réseau & Intelligence distribuée : (Commande en réseau, Réseaux de Terrain, Microcontrôleurs et Systèmes temps réel, Réseaux de capteurs),
- Economie d'énergie, de temps & Ingénierie de la Décision : (Optimisation par des méthodes globales, heuristiques ou évolutionnistes, Fusion de données et aide à la décision),
- Interactivité & Supervision (Systèmes à événements discrets, Systèmes hybrides, Surveillance et Supervision).

De droit, au second semestre, aux étudiants ayant validé leur premier semestre du Master ASE. En seconde année du Master, aux étudiants en dernière année d'Ecole d'Ingénieurs dans le cadre d'un double cursus, ainsi qu'aux étudiants titulaires d'un diplôme d'Ingénieur. Elle est également offerte aux étudiants étrangers ayant reçu une formation en amont jugée équivalente, ainsi qu'aux étudiants de certaines universités dans le cadre d'un double diplôme.

## Programme détaillé

Semestre	Intitulé de l'UE	Responsable	Tronc Commun Obligatoire/ Optionnelle/ Libre	Spécialité Obligatoire/ Optionnelle/ Libre	Disciplinaire /non disciplinaire	Niveau de l'UE (moyen, approfondi, expert)	Nombre d'ECTS
S1	Automatique	Christian Vasseur	Obligatoire		Disciplinaire	moyen	5
S1	Traitement du signal	Pierre Bonnet	Obligatoire		Disciplinaire	moyen	5
S1	Anglais et Communication		Obligatoire		Non disciplinaire	moyen	5
S2	Commande linéaire et numérique	Nicolai Christov		Obligatoire	Disciplinaire	moyen	5
S2	Micro-Contrôleurs et Temps réel	Michel Edel		Obligatoire	Disciplinaire	moyen	5
S2	Génie Logiciel I	Marie-Hélène Bekaert		Obligatoire	Disciplinaire	moyen	5
S2	Anglais et Communication			Obligatoire	Non disciplinaire	moyen	5
S3	Commande, Robotique et Robotique Mobile	El Badaoui El Najjar Maan		Optionnelle	Disciplinaire	expert	5
S3	Conception Intégrée de Systèmes de Supervision	Belkacem Ould Bouamama		Optionnelle	Disciplinaire	expert	5
S3	Réseaux de Terrain	Jean-Marc Vannobel		Optionnelle	Disciplinaire	approfondi	5
S3	Vision	John Klein		Optionnelle	Disciplinaire	approfondi	5
S3	Anglais et Communication			Obligatoire	Non disciplinaire	approfondi	5
S4	Gestion de Données Industrielles	Olivier Losson		Optionnelle	Disciplinaire	approfondi	5
S4	Génie Logiciel II	Brigitte Cantegrit		Optionnelle	Disciplinaire	approfondi	5
S4	Aide à la	Olivier Colot		Optionnelle	Disciplinaire	expert	5
S4	Systèmes	Jean-Pierre		Optionnelle	Disciplinaire	expert	5

### Unité d'Enseignement Automatique

Cours 14h	TD 18h	TP 16h
-----------	--------	--------

#### Objectifs

Initier à la représentation d'état des processus et introduire la commande monovariante et multivariante.

#### Contenu

Concept d'état : Définition formelle : espaces d'état, espace de commande et espace de sortie. Equations d'état et de sortie : cas linéaire, matrices d'état, de commande et de sortie, changement de base. Mise en équation d'état : passage Transfert/Etat, Systèmes MIMO, mise en équation directe. Intégration de l'équation d'état : matrice exponentielle, conditions initiales. Commandabilité et Observabilité. Stabilité. Commande par retour d'état : placement des pôles. Observateurs : Introduction, nécessité d'observer. Observateurs de Luenberger. Exemple de mise en œuvre.

### Unité d'Enseignement Traitement du signal

Cours 16h	TD 16h	TP 15h
-----------	--------	--------

#### Objectifs

Comprendre la représentation spectrale des signaux, et disposer de méthodes en vue du filtrage et de l'analyse des signaux.

#### Contenu

Rappel de la représentation spectrale des signaux continus, échantillonnés et aléatoires. Transformée discrète de Fourier, calcul rapide, fenêtrage. Transformée du produit de convolution, filtrage linéaire, gabarit, filtres FIR et IIR, conception de filtres. Analyse spectrale, représentations spectrales. Lissage, dérivation, dérivateur lissé. Transformée des signaux multidimensionnels, filtrage fréquentiel, filtrage par convolution, gradient et Laplacien. Filtrage optimal de Kalman.

### Unité d'Enseignement Commande linéaire et numérique

Cours 16h	TD 16h	TP 15h
-----------	--------	--------

#### Objectifs

Acquérir les techniques de modélisation, d'identification et de commande numérique des systèmes linéaires

#### Contenu

Représentation des systèmes, classification des modèles, régimes de fonctionnement, description mathématique. Méthodes classiques d'identification hors ligne, algorithmes numériques, identification en ligne. Discrétisation des équations continues, représentation échantillonnée des systèmes continus dynamiques. Architecture matérielle et logicielle d'une commande numérique. Commande directe.

### Unité d'Enseignement Micro Contrôleurs et Temps réel

20 H C/TD 30 H TP (incluant l'étude de dossiers techniques)

#### Objectifs

Appréhender l'environnement matériel et logiciel des microcontrôleurs

#### Contenu

Maîtrise des entrées/sorties (parallèles, série, conversion A/D et D/A, timer, interruption, mémoires externes), Programmation assembleur et C, Maîtrise des outils de développement (debug hard et soft), Notions de noyau temps réel, réseaux de capteurs et d'actionneurs, Application aux systèmes embarqués.

#### Pré-requis

Logique combinatoire et séquentielle, architecture et fonctionnement interne du microprocesseur

### Unité d'Enseignement Génie Logiciel I

Cours 14h

TD 18h

TP 16h

#### Objectifs

Programmes opérationnels simples dans le domaine industriel (supervision, interface de commande, simulation de partie opérative, logiciel de contrôle de robots ou de caméras...)

#### Contenu

Ce module aborde les principaux concepts de la résolution de problèmes par la programmation structurée: Structures, Pointeurs et gestion dynamique de la mémoire, Fichiers de données, Procédures et fonctions, Spécification d'un cahier des charges et décomposition fonctionnelle, Construction et mise en oeuvre de logiciels simples en langage C.

#### Pré-requis

Connaissances de base en programmation (arbre programmatique, programmation séquentielle, types de données simples et structurés, choix et boucles).

### Unité d'Enseignement Commande, Robotique et Robotique Mobile

30 h C/TD, 20 h TP/projet

#### Objectifs

Initier à une discipline intégrant des compétences variées afin de concevoir et d'utiliser des robots possédant des capacités de perception, d'action, de décision, d'apprentissage, de communication et d'interaction avec son environnement, pour réaliser certaines tâches à la place de l'homme ou bien en interaction avec l'homme.

#### Contenu

Introduction: robotique mobile et fixe, problèmes en robotique. Modélisation: systèmes polyarticulés, robots mobiles. Perception: capteurs en robotique polyarticulée: capteurs en robotique mobile (Mesures de rotation, d'orientation des roues, distance, vision), localisation, cartographie, SLAM, estimation, observation, identification. Chaîne d'action : problématiques, planification de chemin, commande non linéaire (stabilisation), suivi de chemin.

## Unité d'Enseignement Conception Intégrée de Systèmes de Supervision

### Objectifs

Acquérir une vision "systémique" globale pour la modélisation des systèmes complexes indépendamment de la nature physique du système à étudier ; Acquérir l'ensemble des techniques et méthodes pour la conception de systèmes de supervision. Apprendre l'utilisation des principaux logiciels industriels de simulation et de supervision et concevoir des Interfaces Homme Machine (IHM) pour la supervision et le prototypage rapide.

### Contenu

Modélisation multiphysique des systèmes complexes: Introduction a la conception intégrée des systèmes d'ingénierie, Présentation des bond graphs comme outil de conception intégrée, Construction de modèles par bond graph et Applications industrielles. Supervision des processus industriels: Méthodes permettant de détecter en temps réel précocement, de localiser et de caractériser des dysfonctionnements de capteurs, d'actionneurs ou du processus lui-même; Aspects de la Sûreté de Fonctionnement (SdF) dans le contexte global de la maîtrise des risques. Outils logiciels de simulation et de supervision.

## Unité d'Enseignement Vision Industrielle

Cours 8h	C-TD 22h	TP 20h
----------	----------	--------

### Objectifs

A l'issue de l'enseignement, l'étudiant est capable de concevoir un cahier des charges pour une application de vision et développer cette application pour une intégration dans une chaîne de production

### Contenu

EC1. "Conception d'un poste d'inspection par vision industrielle": Rédaction du cahier des charges, Dispositifs d'éclairage, Technologies des caméras industrielles, Dispositifs optiques, Intégration du poste d'inspection dans la chaîne de fabrication;

EC2. "Etude des techniques spécialisées de traitement": Mise en évidence d'éléments caractéristiques dans les images, Classification et reconnaissance de formes, Contrainte temps-réel; EC3. "Programmation des systèmes de vision industrielle": Langages spécialisés, Outils graphiques de développement, Intégration dans un système de supervision;

EC4. "Conférences d'industriels spécialisés en contrôle qualité et métrologie par vision".

## Unité d'Enseignement Réseaux de Terrain

Cours 21h	TD 16h	TP 12h
-----------	--------	--------

### Objectifs

Comprendre et mettre en œuvre les mécanismes de communication (infrastructures, protocoles) entre un système de commande et une partie opérative, plus généralement appelés «Système Automatisé de Production».

### Contenu

Principes de base d'une communication réseau, Spécificités des réseaux industriels par rapport aux réseaux informatiques, Caractéristiques des principales solutions industrielles rencontrées, Caractéristiques et contraintes des architectures client-serveur industrielles, Accès aux données industrielles, Critères de choix d'une infrastructure réseau industrielle.

### Unité d'Enseignement Systèmes Dynamiques

Cours 24h	TD 14h
-----------	--------

#### Objectifs

Acquérir les connaissances mathématiques nécessaires à l'appréhension des systèmes d'équations différentielles ou aux différences. Ces équations, qu'elles soient ordinaires ou fonctionnelles, interviennent dans la plupart des modèles des systèmes dynamiques, linéaires ou non, théoriques ou appliquées.

#### Contenu

Introduction aux systèmes dynamiques, Equations différentielles ordinaires (définition, solutions, propriétés asymptotiques, commandabilité..), Equations différentielles retardées, aux dérivées partielles, Inclusions différentielles, outils mathématiques (Algèbre de Lie, Distributions, etc.)

### Unité d'Enseignement Aide à la Décision

Cours / TD 42h	TP 8h
----------------	-------

#### Objectifs

Acquérir les techniques d'aide à la décision et initier aux techniques de soft computing.

#### Contenu

Méthodes statistiques pour la reconnaissance de formes, méthodes de Monte-Carlo séquentielles appliquées à la gestion multicapteurs, fusion d'informations

### Unité d'Enseignement Gestion de données Industrielles

Cours 12h	TD 10h	TP 20h	Conférences Pro : 6h
-----------	--------	--------	----------------------

#### Objectifs

Acquérir les aspects fondamentaux des bases de données relationnelles, du langage SQL et des technologies intranet, dans le but de stocker, traiter et diffuser les données à caractère industriel.

#### Contenu

Conception d'un modèle relationnel de données, du recueil des données terrain au modèle conceptuel. Extraction et traitement des données industrielles, issues notamment de la production ; sécurisation de ces données ; introduction aux entrepôts de données. Gestion de flux d'événements horodatés et réévalués périodiquement, en lien avec la supervision. Génération dynamique des rapports de production (comptes-rendus d'événements et d'inventaires) à des fins de décision pour l'amélioration de la traçabilité et de la qualité de la production. Mise en pratique de solutions pour l'archivage à distance, l'exploitation et la diffusion en intranet, de données de production issues d'automates programmables industriels.

### Unité d'Enseignement Génie Logiciel II

Cours 17h	TD 20h	Bureau d'études 10h	Conférences Pro : 4h
-----------	--------	---------------------	----------------------

#### Objectifs

Donner tous les outils nécessaires à la conception et la réalisation orientées objet des systèmes en s'appuyant sur le langage C++

#### Contenu

Programmation orientée objet avec le langage C++: Notions de classe, héritage, polymorphisme, généricité ...  
Méthode d'analyse et de conception UML Assurance et contrôle qualité des logiciels  
Conception d'interfaces H-M dans le domaine de l'informatique industrielle.