

## TAF Robotique et Interactions

### Objectifs et ambitions :

La TAF **Robotique et Interactions** s'inscrit dans le domaine de **l'ingénierie système** et le **génie automatique**. l'objectif principal de cette TAF en robotique est de **contribuer à la formation des ingénieurs** qui développeront les **robots de demain** en abordant les **systèmes robotisés** dans leur ensemble : c.-à-d. de la modélisation jusqu'à la mise en œuvre informatique et logicielle de capteurs et d'actionneurs pour le contrôle/commande. Que ce soit dans la vie courante ou dans l'industrie, les robots sont en passe de s'ancrer **durablement et massivement dans notre quotidien**. Les robots deviennent aujourd'hui plus **interactifs avec leur environnement**, au travers de **l'action (interaction** avec le milieu physique où ils évoluent) et **la perception (interaction** avec les grandeurs physiques de leur environnement) et pourront un jour devenir autonomes et/ou collaborer (**interaction** entre l'homme et le robot industrielle) de manière simple, **au quotidien, avec l'humain (interaction** sociale entre l'homme et le robot et son impact sociétal).

L'IMT-Atlantique se donne pour mission de former des ingénieurs aptes à accompagner les entreprises dans leurs **transitions numérique et énergétique**, étapes clés de la nouvelle révolution industrielle. Pour atteindre cet horizon (« **Usine du futur** » ou « **Usine 4.0** ») tant attendu par la société (aide à l'autonomie des personnes) et l'industrie, la robotique doit se diffuser jusqu'à nos **PME afin d'améliorer leur productivité (moins énergivore, plus flexible, multitâches)** et éviter leur délocalisation, les acteurs socio-économiques (industriels et académiques) en robotique se doivent **d'innover technologiquement** dans les domaines de l'action (manipulation, locomotion) que de la perception (capteurs, reconstruction de l'environnement, localisation, navigation) ainsi que dans leur intégration **numérique** des boucles de contrôle (commande) supervisées par des algorithmes de décision (apprentissage, IA) et/ou des interfaces logicielles d'usage intuitif à toutes les personnes. Afin de soutenir les initiatives et **transitions industrielles** dans ces domaines et les transferts technologiques associés, l'élaboration d'une formation poussée en **robotique est pertinente**.

L'élève ingénieur poursuivant La TAF Robotique et Interactions sera sensibilisé aux méthodologies de modélisation des robots manipulateurs et mobiles, aux techniques de contrôles proprioceptifs et extéroceptifs et à la mise en œuvre de logiciels de pilotage sur des systèmes informatiques embarqués temps réel et distribués. Aussi, la robotique étant devenue un domaine scientifique et technique accessible à tous grâce aux ateliers de fabrication numérique (FabLab), nos étudiants durant leur parcours seront initiés aux techniques récentes de prototypage.

### Liens avec le profil PGO :

Cette TAF contribue à la formation d'ingénieurs pleinement acteurs de la **numérique et énergétique** de la nouvelle **révolution industrielle**. En effet, ils contribueront à la robotisation de nos PME (robots : **moins énergivore, plus flexible, multitâches et connectés**) et à l'émergence dans notre société de la robotique de service et d'aide à l'autonomie des personnes (robot compagnon, d'aide à la personne).

Les compétences non exhaustives visées par cette TAF sont :

- modéliser, simuler, analyser, identifier et dimensionner un robot manipulateur et/ou mobile ;
- concevoir et mettre en œuvre une stratégie de contrôle adaptée à un système robotisé donné ;
- concevoir l'architecture matérielle (calculateurs, système d'information, capteurs, actionneurs) d'un système robotisé ;
- concevoir et implémenter l'architecture logicielle de pilotage d'un système robotisé.

**Compétences spécifiques** principalement adressées par la TAF

CSDI : MATH 1, AUTO 1, ELEC 1, ELEC 2, INFO C, SER 1, SHS 1, SHS 2  
CST : 1, 6, 14, 15

**Débouchés :**

- métiers à la sortie :
  - Ingénieur R&D dans le domaine de la robotique de production ou de service.
  - Ingénieur conception et modélisation de systèmes robotisés complexes et spécifiques (machines spéciales) ;
  - Chef de projet, Ingénieur concepteur de systèmes robotisés modulaires et versatiles ;
  - Ingénieur contrôle commande de système robotisés et de système cobotique ;
  - Ingénieur conception de logiciel d'interface homme / machine.
- entreprises cibles (30 à 60 mots)
  - Secteur aéronautique, aérospatiale: Airbus, Snecma, MBDA, EADS, Eurocopter
  - Secteur énergétique : EDF, AREVA.
  - Secteur de la robotique industrielle: Aldebaran Robotics - SoftBank Robotics, CEA (CEA Tech), IRT Jules Vernes ...
  - Secteur de la défense : THALES, Safran, BA Systèmes.
  - Secteur du médicale : GE Healthcare.

**Département ou équipe pédagogique porteur de la TAF :** Département Automatique Productique et Informatique, **DAPI**, du site de **Nantes**

**Référents :** Vincent Lebastard (Vincent.lebastard @imt-atlantique.fr)

**Disciplines du cœur de la thématique :** La TAF Robotique et Interactions s'articule autour des thèmes de la robotique, du contrôle, des systèmes embarqués, de l'informatique et d'outils que sont les mathématiques, la physique et les méthodes numériques..

**Mots-clés :** Robotique de production, robotique mobile, robotique bio-inspirée, cobotique, contrôle/commande, interface homme/machine, architecture logicielle pour le contrôle/commande, prototypage.

### Organisation de la TAF :

- Répartition des 8 UE parmi les UE 4 cœur – 3 électives – 1 libre
- Combinaison envisagée avec les TAFs (liste de 2 à 8 en précisant s'il y a ou non un ordre préférentiel)
  - TAF 1N « Automatique et Systèmes Cyber-Physiques » : pas d'ordre préférentiel – interaction forte aboutissant à un profil global très cohérent en fort en termes de compétences scientifiques et techniques. A noter la présence d'UE électives communes.
  - TAF 19B « Observation & perception de l'environnement : du capteur à l'information » : pas d'ordre préférentiel. Les ingénieurs ayant suivi la TAF 21N pourront approfondir leurs compétences en chaîne d'instrumentation et donc de technique de perception au travers la TAF 19B.
  - TAF 8BN « Healthcare Engineering » : pas d'ordre préférentiel. Les ingénieurs ayant suivi la TAF 21N pourront intégrer à leurs compétences les contraintes de l'ingénierie médicale pour l'élaboration de systèmes robotisés dans le milieu médicale au travers la TAF 8BN
  - TAF 13N « Ingénierie nucléaire » : pas d'ordre préférentiel. Les ingénieurs ayant suivi la TAF 21N pourront intégrer à leurs compétences les contraintes de l'ingénierie nucléaire pour les systèmes robotisés au travers la TAF 13N.
  - TAF 22B « Systèmes Embarqués » : TAF étoilé à suivre après – Les ingénieurs ayant suivi la TAF 21N pourront approfondir leurs compétences en implémentation de systèmes embarqués au travers la TAF 22B.
  - TAF 6BN « Développement collaboratif et multi-sites de logiciels » : pas d'ordre préférentiel. Les ingénieurs ayant suivi la TAF 21N pourront approfondir leurs compétences en interface homme machine et de développement de logiciel au travers la TAF 6BN.

**Liste des UE cœur** (*titre, 3 lignes max de description, liste des 2 à 5 compétences spécifique CST CSDI ou CS métier associées à l'UE*)

#### **UE Cœur 1 : Modélisation des robots**

Mots clés : modèles géométriques, modèles cinématiques, modèles dynamiques, robots manipulateurs, robots mobiles.

Descriptif : Cette UE de cœur a pour but d'introduire les outils de base en modélisation des robots. On considèrera deux types de systèmes: les robots manipulateurs et les robots mobiles (à roues). On introduira les modèles géométriques, cinématiques et dynamiques de ces systèmes. Tous ces modèles seront abordés sous leur forme directe (pour la simulation numérique) et inverse (pour la commande). Dans ce dernier cas de figure, leurs usages dans des architectures de commande de base seront également introduits en préparation de l'UE « Commande des robots ». Ce cours sera évalué par des applications visant à modéliser et simuler (pour la conception et la commande) un système

partagé par l'ensemble des trois UE de cœur: une plateforme mobile possiblement équipée d'un robot manipulateur, i.e. un manipulateur mobile.

Compétences spécifiques : CSDI Math 1, CST 14.

### **UE Cœur 2 : Contrôle des robots**

Mots clés : commandes proprioceptifs (les commandes en mouvement et en force, computed torques) et extéroceptifs (les observateurs), « path planning », ...

Descriptif : Aujourd'hui, les robots mobiles et manipulateurs se doivent d'être autonomes pour les premiers, et agiles pour les seconds. Notamment, un robot mobile naviguant dans un environnement connu ou inconnu pour atteindre un lieu d'intérêt tout en prenant en compte des éléments imprévus comme des obstacles mobiles mettra en jeu des stratégies de suivi de chemin, des algorithmes de cartographie, de localisation et de navigation. Concernant un robot manipulateur, un bras robotisé réalisant des mouvements précis pour atteindre un objet d'intérêt avec lequel il doit interagir pour le manipuler ou le transformer mobilisera des stratégies de suivie de trajectoires, des boucles de commande en position ou en couple ainsi que des commandes en effort. Sur la base de cette diversité algorithmique (non exhaustive), l'UE « Contrôle des robots », complémentaire à l'UE «Modélisation des robots», aura pour objectif d'introduire les savoirs et méthodologies liés au pilotage des robots mobiles et/ou manipulateurs. Une attention particulière sera apportée aux données (mesures) nécessaires à la mise en œuvre pratique de ces lois de commande. En effets ces dernières s'appuient pour fonctionner sur des données d'odométrie (proprioceptives), de perception (extéroceptive) provenant de capteurs ou de la fusion des deux.

Compétences spécifiques : CSDI AUTO 1, CSDI ELEC 1, CSDI ELEC 2, CST 15.

### **UE Cœur 3 : Architecture logicielle pour la robotique**

Mots clés : Architecture logicielle de commande, commande distribuée et hiérarchisée Middleware, ROS.

Descriptif : Les robots sont généralement des systèmes mécatroniques complexes. Ils font intervenir un grand nombre de capteurs et d'effecteurs, de traitements informatiques de conduite et de supervision (fusion de données, algorithmes de localisation, processus de planification de trajectoires) ainsi que des boucles de régulation de bas niveau (contrôles commande d'actionneurs). Afin de faire fonctionner de manière autonome un tel système hétérogène, une architecture logicielle performante est nécessaire. Celle-ci définit comment les différents composants sont mis en œuvre, sont organisés, communiquent et interagissent entre eux. Aussi, elle assure la robustesse du système, l'interopérabilité de fonctionnement des différents composants matériels et logiciels mis en jeu et la modularité de ceux-ci. Dans ce contexte, l'objectif de cette UE est d'introduire les concepts liés à la mise en œuvre de l'architecture logicielle d'un robot dans l'objectif de le rendre autonome. Un focus sera réalisé sur le middleware ROS (Robot Operating System) : logiciel dédié à la robotique.

Compétences spécifiques : CSDI ELEC 2, CSDI INFO C, CSDI Réseaux 1, CST 6, CST 15.

### **UE Cœur 4 : Innovation et robotisation**

Mots clés : innovation, éthique.

Descriptif : L'approche développée dans la compréhension du couple technologie/organisation privilégiera une approche systémique de l'entreprise en ce sens qu'elle est le lieu d'éléments hétérogènes et interdépendants (agir sur l'un des éléments a des effets sur le reste de l'organisation). Pour être en mesure de développer de nouveaux produits ou de nouveaux services, l'ingénieur doit être en mesure d'analyser les besoins présents et à venir de l'organisation qui le sollicite. D'une part cela requiert des connaissances sur les démarches stratégiques (savoir diagnostiquer une situation présente pour sélectionner sur le moyen et long terme des orientations à développer et éventuellement une capacité à maîtriser les dimensions budgétaires des projets pour proposer des solutions innovantes concrètes et réalistes. Pour atteindre cet objectif, le cours cherchera aussi à informer les élèves du fonctionnement des marchés spécifiques de la robotisation et des enjeux de concurrence nationale et/ou internationale. Pour proposer des solutions intelligences à leurs clients (notamment en termes de facilitation du travail) les ingénieurs doivent être en mesure de comprendre l'activité humaine qui est réalisée et les modalités d'interaction possibles entre la solution robotisée et ce travail. Pour ce faire, il est donc nécessaire qu'ils sachent aussi appréhender les conséquences non recherchées de la mise en œuvre de ces robots (en termes organisationnel, culturel, identitaire...).

Compétences spécifiques : CST 1, CSDI SHS 1, CSDI SHS 2.

### Liste des UE électives

#### UE Elective : Robotique bio-inspirée

Mots clés : Locomotion, perception.

Descriptif : Cette UE élective introduira les bases de la biorobotique. En particulier, on verra comment l'observation de la nature permet de reproduire artificiellement des solutions pour résoudre des problèmes sans solution pour la robotique classique. Après un tour d'horizon de la biorobotique et les leçons que la nature peut enseigner au roboticien, nous illustrerons la démarche sur les deux versants de la robotique que sont la locomotion et la perception. Dans le premier cas, nous partirons de la locomotion en générale pour se focaliser progressivement sur les exemples du vol battant inspirés des insectes et de la nage des poissons (sources d'inspiration des drones et autres robots sous-marins de demain). Une démarche similaire sera appliquée sur le versant de la perception en partant des différents modes de perception passifs et actifs rencontrés dans la nature jusqu'à se focaliser sur un mode de perception actif original pour l'ingénieur, une sorte de sixième sens, nommé "sens électrique".

#### • UE Elective : Systèmes embarqués

Mots clés : microcontrôleurs, FPGA, I/O, interfaces et protocoles de communication.

Descriptif : L'objectif de cette UE est d'introduire les connaissances de base liées à un système embarqué : brique élémentaire d'un système robotisé. Après une introduction relative aux architectures matérielles liées aux microcontrôleurs, FPGA et autre DSP, une place importante sera faite à l'implémentation sur cible de programmes embarqués mettant en œuvre différents périphériques dans l'objectif de piloter un système.

- **UE Elective : Systèmes d'information temps réel et distribués**

Mots clés : informatique temps réel, commande distribuée.

Descriptif : Cette UE introduira les concepts liés à l'informatique temps réel, aux bus de terrain et à la commande distribuée (au travers des systèmes d'information). Une partie importante de l'enseignement se fera à travers de travaux pratiques (sur PC ou cibles embarquées type Raspberry PI, carte Nucléo...), afin de mettre en œuvre les différents concepts de programmation temps réel, de découvrir le modèle OSI et implémenter certains bus de terrain.

- **UE Elective : Prototypage d'un système robotisé**

Mots clés : Prototypage, CAO, impression 3-D, Raspberry PI.

Descriptif : Partant du concept « Print your robot », nous imaginons, dans cette UE, utiliser les techniques récentes de prototypage démocratisées (CAO, impression 3-D, Raspberry PI, ROS ...) par les ateliers de fabrication numérique, pour à partir d'un cahier des charges fonctionnelles, concevoir, fabriquer et mettre en œuvre un robot mobile de service. Il est à noter que nous envisageons utiliser ce système robotisé comme fil rouge dans l'ensemble des UE de la TAF.

- **UE Elective : Cobotique et haptique**

Mots clés : collaboration homme robot, interaction homme robot, haptique, cobot.

Descriptif : Le développement de la robotisation dans l'industrie au-delà des chaînes de montages automatisées, et l'évolution de la pensée vers la prise en compte des facteurs humains et du rôle de l'opérateur dans la prise de la décision, ont fait émerger de nouvelles possibilités pour les robots dans notre société : robots télé opérés en robotique médicale, robots sociaux pour l'assistance aux personnes, co-manipulation de pièces dans des tâches d'assemblage, le couple humain-robot(s) se crée, se rapproche et évolue avec de nouvelles problématiques autour de l'interaction et la collaboration homme robot, avec des problèmes de gestion de risque, d'ergonomie, de programmation, avec des éléments de robotiques spécifiques (soft robotics, commande en effort, nouveaux capteurs). En revenant sur ces nouveaux robots, cette UE vous apporte les éléments de méthode pour la conception anthropocentriste (centrée sur l'humain) d'une activité robotisée et la prise en compte de l'humain par le robot.