

# RobIndus : Robotique Industrielle

Le parcours *Robotique Industrielle* forme des spécialistes capables de concevoir, programmer, intégrer et optimiser des systèmes robotiques avancés en environnement industriel. Il couvre les aspects mécatroniques, logiciels, de perception, d'automatisation et de sécurité.

## Compétences visées

- Concevoir, programmer et intégrer des systèmes robotiques avancés en maîtrisant les architectures mécatroniques et logicielles.
- Déployer et optimiser des solutions d'automatisation robotisée en tenant compte des exigences de sécurité, de performance et de qualité.
- Mettre en œuvre des robots collaboratifs, mobiles ou industriels intégrant IA, perception et contrôle temps réel.
- Piloter et déployer des systèmes robotiques complets — de la conception jusqu'à l'intégration en environnement industriel.

## Modules

Le parcours comprend **10 modules**

Modules de parcours		
Modules	Semestre	Volumes Horaires
Technologies robotisées et modèles	1	20
Programmation avancée & contrôle des robots	1	20
Introduction à ROS / ROS2 & middleware robotiques	1	20
Systèmes mécatroniques	2	20
Intégration Cellule Robotique	2	20
Collaboration Humain – Robot	2	20
Procédés de Fabrication multiaxes	3	20
Module Applicatif de Fabrication Hybride	3	20
IA pour la robotique	4	20
Workshop Industriel	4	20

## Technologies robotisées et modèles

### *Objectifs du module*

Ce module vise à développer une compréhension complète des technologies constituant un robot industriel ou mobile : mécanique, actionneurs, capteurs, transmissions et systèmes de commande. Les étudiants apprennent à relier architecture et capacités physiques pour identifier les limites de fonctionnement. Une introduction approfondie à la modélisation géométrique et cinématique permet d'aborder les notions de singularités, zones de travail et performances. Le module fournit également une culture des architectures robotiques historiques et émergentes. Enfin, il initie à la lecture de publications scientifiques en robotique.

### *Compétences visées*

- Identifier et comparer les familles de robots industriels
- Analyser les architectures mécatroniques et leurs composants
- Mettre en œuvre MGD/MGI et interpréter la Jacobienne
- Comprendre cinématique et dynamique élémentaire de robot
- Analyser une publication scientifique en robotique

### *Contenus*

- Typologie complète des robots : industriels, mobiles, cobots, parallèles
- Architecture mécatronique : mécanique, transmissions, moteurs, capteurs
- Actionneurs et réducteurs : harmoniques, trains épicycloïdaux
- Modélisation géométrique : MGD, MGI, transformations et repères
- Jacobienne, singularités, redondance fonctionnelle
- Dynamique élémentaire : inerties, couples, efforts
- Étude guidée d'une publication scientifique

### *Mots clés*

Robot, architecture, modélisation, cinématique, dynamique, transmission

## Introduction à ROS / ROS2 & middleware robotiques

### *Objectifs du module*

Ce module introduit les environnements ROS/ROS2 largement utilisés en recherche et développement. Il forme les étudiants à concevoir des architectures logicielles distribuées et à structurer la communication entre capteurs, actionneurs et processus robotiques. Les apprenants développent des nœuds, services et topics et manipulent l'écosystème ROS. Le module inclut la simulation dans Gazebo pour valider comportements et interactions. Il prépare à l'intégration de packages open-source issus de dépôts Git.

### *Compétences visées*

- Comprendre et analyser les architectures ROS/ROS2

- Développer des nœuds, topics, services, actions
- Gérer un workspace et intégrer du code issu de Git
- Simuler un robot dans Gazebo
- Visualiser et déboguer un système via RViz

#### *Contenus*

- Architecture ROS1/ROS2, graphes
- Topics, services, actions, paramètres : communications et API
- Création et structuration de packages, workspaces, compilation
- Simulation dans Gazebo : URDF, physiques, plugins
- Visualisation dans RViz : TF/TF2, capteurs, markers
- Intégration de packages Git et dépendances
- Outils avancés : rosbag, rqt

#### *Mots clés*

ROS, ROS2, middleware, Gazebo, RViz, communication robotique

## **Programmation avancée & contrôle des robots**

#### *Objectifs du module*

Ce module approfondit la programmation robotique dans les environnements constructeurs et hors-ligne. Les étudiants apprennent à générer, analyser et optimiser des trajectoires complexes tout en tenant compte des contraintes cinématiques et dynamiques. Le module traite du diagnostic et du débogage sur robot réel pour assurer un comportement fiable. Une attention particulière est portée à l'exploitation de la redondance et à l'optimisation du mouvement. Les étudiants développent une expertise appliquée sur des robots industriels.

#### *Compétences visées*

- Programmer un robot via un logiciel constructeur
- Configurer, analyser et optimiser des trajectoires complexes
- Déboguer des programmes robots sur systèmes réels
- Exploiter la redondance pour optimiser mouvement et sécurité

#### *Contenus*

- Programmation hors-ligne : environnement 3D, séquences, repères
- Analyse des trajectoires : vitesses, accélérations, limites articulaires
- Programmation constructeur
- Débogage avancé : erreurs, comportements anormaux, corrections
- Optimisation : redondance, évitement d'obstacles, temps cycle
- Gestion d'outils et repères : TCP, calibrations, offsets
- Validation sur robot réel

#### *Mots clés*

Trajectoires, commande, optimisation, programmation constructeur

## Systèmes mécatroniques

### *Objectifs du module*

Ce module développe une compréhension transversale des systèmes mécatroniques combinant mécanique, transmissions, actionneurs, capteurs, électronique de puissance et automatismes. Les étudiants apprennent à concevoir une architecture adaptée à un besoin fonctionnel et à justifier techniquement leurs choix. Ils sont formés au dimensionnement selon couples, inerties, rigidités et puissance. Le module couvre également la chaîne d'énergie et les problématiques d'intégration et de compatibilité. Il prépare à la conception de sous-systèmes robotisés.

### *Compétences visées*

- Définir et structurer une architecture mécatronique
- Choisir actionneurs, capteurs, transmissions selon un cahier des charges
- Dimensionner un système mécatronique complet
- Comprendre l'interface mécanique-électronique-commande

### *Contenus*

- Architectures mécatroniques : structure, chaîne d'énergie, chaîne de mesure
- Actionneurs : moteurs électriques, vérins, solutions spéciales
- Capteurs : position, vitesse, force, inertIELS, vision
- Transmissions : engrenages, vis à billes, harmoniques, courroies
- Électronique de puissance : drivers, convertisseurs, pilotage moteur
- Dimensionnement mécanique : couple, inertie, rigidité, charge
- Gestion énergétique et thermique

### *Mots clés*

Mécatronique, actionneurs, capteurs, transmission, dimensionnement

## Intégration de cellules robotisées & sécurité

### *Objectifs du module*

Les étudiants apprennent à concevoir une cellule robotisée complète, conforme aux normes industrielles et aux exigences de sécurité. Ils développent une méthodologie d'analyse de risques et apprennent à identifier les moyens de protection adaptés. Le module couvre les dispositifs de sécurité, les modes collaboratifs et les exigences d'intégration physique et logicielle. Il prépare à la validation finale d'une cellule robotisée en environnement réel. L'objectif est d'amener les apprenants à intégrer performance, ergonomie et sûreté de fonctionnement.

### *Compétences visées*

- Concevoir une cellule robotisée complète
- Réaliser une analyse de risques conforme aux normes
- Mettre en œuvre des dispositifs de sécurité adaptés
- Intégrer des modes collaboratifs sécurisés

## Contenus

- Architecture d'une cellule robotisée : implantation, flux, périphériques
- Normes : ISO 12100, ISO 10218, ISO/TS 15066, directives machines
- Analyse de risques : dangers, PL/SIL, mesures de réduction
- Dispositifs de sécurité : scanners, barrières, interverrouillages
- Collaboration Homme-Robot : limites puissance/vitesse, zones HRC
- Validation et documentation sécuritaire
- AMDEC

## Mots clés

Sécurité, cellule robotisée, normes, analyse de risques

## Collaboration Humain–Robot (HRC)

### Objectifs du module

Ce module explore les principes de l'interaction physique et cognitive entre humains et robots, dans des environnements collaboratifs ou partagés. Il vise à comprendre les enjeux de sécurité, d'ergonomie, de perception et de coordination lors de tâches conjointes. Les étudiants découvrent les technologies de capteurs et contrôleurs permettant une interaction sûre et naturelle. Le module aborde également les modes collaboratifs définis par les normes internationales. Enfin, il introduit les notions d'acceptabilité, de facteurs humains et de conception centrée utilisateur.

### Compétences visées

- Identifier les modes de collaboration robot–humain
- Concevoir un poste collaboratif sécurisé et ergonomique
- Comprendre capteurs, contrôleurs et comportements utilisés en HRC
- Analyser les facteurs humains et l'acceptabilité d'une solution HRC

## Contenus

- Panorama des cobots et applications collaboratives
- Modes de collaboration ISO : coexistence, coopération, interaction directe
- Capteurs pour HRC : force/couple, vision, proximité, sécurité intrinsèque
- Contrôles dédiés : compliance, impédance, limitation d'efforts
- Ergonomie et facteurs humains en robotique
- Planification de mouvements sûrs à proximité d'humains
- Analyse d'acceptabilité et conception centrée utilisateur

## Mots clés

HRC, cobot, interaction, ergonomie, sécurité, perception

## Procédés de fabrication robotisée

### *Objectifs du module*

Ce module vise à comprendre les exigences spécifiques des procédés avancés (usinage, ponçage, parachèvement, dépose de matière) et leur impact sur le comportement du robot. Les étudiants apprennent à configurer des robots multiaxes, à analyser les contraintes d'efforts et de précision et à optimiser le comportement. Le module aborde la redondance fonctionnelle et structurale pour améliorer accessibilité et performance. Une approche système relie robot, outil, matériau et trajectoire. L'objectif final est de maîtriser le pilotage multiaxes pour procédés exigeants.

### *Compétences visées*

- Configurer un robot selon le procédé à réaliser
- Comprendre et exploiter la redondance cinématique en robotique
- Optimiser le comportement robot-outil selon les efforts et la précision
- Évaluer et adapter la performance en fonction du procédé

### *Contenus*

- Exigences procédés : usinage, parachèvement, polissage, dépose
- Architectures robotiques : série, parallèle, hybrides, RPC
- Pilotage multiaxes : synchronisation, interpolation
- Analyse des efforts : rigidité, vibrations, stabilité
- Redondance fonctionnelle / structurale : stratégies d'exploitation
- Optimisation : trajectoires, temps de cycle, accessibilité
- Intégration outil–robot : calibration

### *Mots clés*

Procédés, multiaxes, redondance, rigidité, performance

## Procédés & fabrication robotisée – Module applicatif

### *Objectifs du module*

Ce module permet d'appliquer toutes les compétences acquises dans un cas industriel complet intégrant programmation, calibration, compensation et optimisation. Les étudiants réalisent une chaîne numérique complète, de la CAO à la validation sur robot réel. Ils apprennent à calibrer robot, outil et cellule pour atteindre la précision exigée. Le module développe des compétences en compensation d'erreurs géométriques voire thermiques. Les étudiants simulent et valident un procédé, puis produisent les documents de validation associés

### *Compétences visées*

- Programmer en hors-ligne un procédé complet
- Réaliser calibration et compensation d'erreurs
- Simuler et valider le procédé sur robot

- Documenter techniquement les opérations

#### *Contenus*

- Programmation hors-ligne : trajectoires, repères, processus
- Calibration géométrique : base, outil, TCP, offsets
- Compensation : erreurs géométriques, thermiques
- Optimisation applicative des trajectoires
- Simulation avancée : collisions, efforts, dynamique
- Validation expérimentale sur robot
- Rédaction d'un rapport

#### *Mots clés*

Calibration, compensation, simulation, optimisation, PhL

## **IA pour la robotique**

#### *Objectifs du module*

Ce module introduit les méthodes d'IA utilisées pour doter les robots de capacités avancées de perception, de décision et d'apprentissage. Il couvre les techniques modernes de vision par ordinateur, de SLAM, de fusion de capteurs et d'apprentissage automatique. Les étudiants comprennent comment le deep learning améliore reconnaissance, localisation et compréhension de scène. Le module aborde également l'apprentissage par renforcement, appliqué à la planification et à la prise de décision robotique. Une réflexion est menée sur l'IA embarquée et les contraintes temps réel.

#### *Compétences visées*

- Mettre en œuvre des techniques de vision robotique
- Appliquer des modèles de deep learning à la perception
- Comprendre SLAM et fusion multisensorielle
- Utiliser l'apprentissage par renforcement pour un améliorer un comportement robotique

#### *Contenus*

- Vision robotique : détection, segmentation, estimation de pose
- Deep learning : CNN, transformers et applications robotiques
- SLAM : lidar, caméras, fusion multi-capteurs
- Planification avec IA : RRT
- Apprentissage par renforcement : politiques, exploration, applications
- IA embarquée et contraintes temps réel
- Applications industrielles et mobiles

#### *Mots clés*

Vision, SLAM, deep learning, IA, RL, perception

## **Workshop industriel – Module applicatif**

### *Objectifs du module*

Ce module final consiste en un projet complet de robotisation mené en conditions industrielles réelles. Les étudiants analysent un besoin, réalisent une étude technico-économique, conçoivent une solution robotisée et en assurent la mise en œuvre ou tout du moins une preuve de concept. Ils développent la programmation et l'intégration matérielle, puis valident le système par tests fonctionnels et sécuritaires. Le module renforce la gestion de projet, la justification technique et la communication professionnelle. La démonstration finale constitue la validation globale des compétences du parcours.

### *Compétences visées*

- Analyser un besoin industriel et rédiger un cahier des charges
- Concevoir une solution robotisée cohérente
- Programmer, intégrer et valider la solution
- Présenter et justifier les choix techniques

### *Contenus*

- Analyse du besoin, cahier des charges
- Faisabilité et choix de l'architecture robotisée
- Conception mécanique, logicielle et procédés
- Programmation hors-ligne et réelle
- Intégration : câblage, calibration, sécurité
- Validation expérimentale et corrections
- Soutenance et rapport technique complet

### *Mots clés*

Projet industriel, intégration, robotisation, conception