

# FUTUR : Fabrication Intelligente et Durable

Le parcours FUTUR forme des spécialistes de la fabrication avancée, capables de maîtriser l'ensemble de la chaîne numérique et physique de production. Il s'appuie sur les dernières technologies de fabrication additive, usinage multiaxes, simulation, monitoring et intelligence artificielle. Les apprenants développent une vision intégrée des procédés industriels, depuis la conception jusqu'à la validation en environnement réel.

## Compétences visées

- Maîtriser les procédés avancés de fabrication (UGV, fabrication additive, procédés hybrides)
- Piloter des systèmes multiaxes robotisés en contexte industriel
- Optimiser les trajectoires et stratégies de fabrication
- Intégrer la simulation, le monitoring et les outils de jumeaux numériques
- Analyser la performance énergétique, environnementale et économique des procédés

## Modules du parcours

Modules	Semestre	Volume Horaire
Chaîne numérique FAO-PHL	1	20 h
Procédés de fabrication avancée	1	20 h
Fabrication additive métal & polymère	2	20 h
GI – Flux, Simulation & MES	2	20 h
Smart Manufacturing, Monitoring & IA	2	20 h
Workshop Repair – Remanufacturing	3	20 h
Procédés multi-axes – Workshop	3	20 h
Performance éco-environnementale des procédés	3	20 h
Jumeaux numériques – Pièce / Procédés	4	20 h
Simulation MEF – Pièces composites & procédés	4	20 h

## **Chaîne numérique FAO–PHL**

*Objectifs* : Ce module forme à la maîtrise complète de la chaîne numérique de fabrication, de la CAO à la simulation d'usinage. Il met l'accent sur la programmation FAO multiaxes avec PowerMill, Delmia et NCsimul. Les étudiants apprennent à optimiser les trajectoires, éviter les collisions et simuler l'ensemble du processus de fabrication en environnement virtuel. L'objectif est de préparer à la programmation hors-ligne de robots en contexte industriel.

*Compétences visées* :

- Programmer un usinage FAO multiaxes
- Utiliser PowerMill, Delmia et NCsimul
- Optimiser les stratégies et trajectoires
- Simuler et valider le processus d'usinage
- Programmer un robot en hors-ligne

*Contenus* :

- Chaîne numérique CAO–FAO–CNC
- Stratégies avancées avec PowerMill
- Simulation NC avec Delmia / NCsimul
- Programmation robot multiaxes hors-ligne
- Gestion des collisions et surépaisseurs
- Validation numérique complète

*Mots clés* : FAO, PHL, PowerMill, simulation NC, multiaxes

## **Procédés de fabrication avancée**

*Objectifs* : Ce module présente les procédés d'usinage grande vitesse (UGV), les modèles d'efforts et la stabilité du procédé. Il initie aux procédés comme le WAAM, en intégrant des outils de monitoring. L'approche vise à optimiser la stratégie de coupe tout en assurant la qualité du produit fini.

*Compétences visées* :

- Choisir une stratégie UGV pertinente
- Analyser les efforts et la stabilité
- Comprendre les procédés hybrides type WAAM
- Intégrer les outils de monitoring en fabrication
- Diagnostiquer les défauts procédés

*Contenus* :

- UGV : principes et stratégies
- Modèles d'efforts coupants

- Monitoring (forces, vibrations, vision)
- WAAM : principes, hybridation
- Optimisation des procédés
- Analyse de défauts et qualité finale

*Mots clés* : UGV, WAAM, monitoring, usinage avancé

## **Fabrication additive métal & polymère**

*Objectifs* : Ce module traite des procédés de fabrication additive métal et polymère. Il développe les compétences nécessaires au choix, paramétrage et optimisation des procédés en lien avec les matériaux, la géométrie des pièces, les défauts potentiels et les post-traitements requis.

*Compétences visées* :

- Identifier les procédés adaptés métal/polymère
- Paramétrer les stratégies de fabrication
- Analyser la microstructure et les défauts
- Mettre en œuvre les post-traitements
- Maîtriser l'industrialisation et la normalisation

*Contenus* :

- Procédés métal (LPBF, DED, WAAM)
- Procédés polymères (FDM, SLA, SLS)
- Paramétrage et optimisation
- Défauts et métrologie
- Post-traitements
- Qualification, normalisation, répétabilité

*Mots clés* : fabrication additive, métal, polymère, industrialisation

## **GI – Flux, Simulation & MES**

*Objectifs* :  
Ce module initie à la modélisation et simulation des flux industriels à l'aide du logiciel FlexSim. Il enseigne les principes des systèmes MES pour la gestion de production, la traçabilité et l'analyse de performance. Les étudiants apprennent à piloter un système de production optimisé, basé sur les indicateurs KPI et le retour sur investissement (ROI).

*Compétences visées* :

- Modéliser et simuler une ligne de production
- Utiliser FlexSim pour optimiser les flux

- Comprendre et intégrer un système MES
- Calculer les indicateurs industriels (KPI)
- Évaluer la rentabilité industrielle (ROI)

*Contenus :*

- Modélisation de flux de production
- Simulation avec FlexSim
- KPI : définition et suivi
- Intégration des systèmes MES
- Planification et ordonnancement
- Évaluation du ROI

*Mots clés :* flux, simulation, MES, ROI

## **Smart Manufacturing, Monitoring & IA**

*Objectifs*

Ce module présente les technologies de l'industrie 4.0 : connectivité via IIoT et OPC-UA, acquisition de données industrielles, dashboards, et intelligence artificielle pour la maintenance prédictive. Il forme à la mise en œuvre d'un monitoring temps réel pour le pilotage intelligent des systèmes industriels.

*Compétences visées :*

- Connecter des équipements industriels (IIoT)
- Intégrer OPC-UA pour l'interopérabilité
- Mettre en place un monitoring temps réel
- Concevoir un dashboard de supervision
- Utiliser l'IA pour le diagnostic et la maintenance

*Contenus :*

- Architecture IIoT et protocoles OPC-UA
- Acquisition et structuration des données
- IA pour maintenance : classification, prédiction
- Analyse de données industrielles
- Diagnostic intelligent et surveillance prédictive

*Mots clés :* IIoT, OPC-UA, IA, monitoring, dashboard

## **Workshop Repair – Remanufacturing**

*Objectifs* :

Ce module applique les méthodes de réparation industrielle par rétro-conception et remanufacturing. Il forme à l'utilisation d'outils de métrologie avancée et à la conception d'outillage spécifique. L'approche intègre la durabilité avec les principes 6R.

*Compétences visées :*

- Réaliser une rétro-conception complète
- Concevoir des outillages pour la réparation
- Utiliser des outils de métrologie et scan 3D
- Appliquer les principes de durabilité (6R)
- Valider un processus de remanufacturing

*Contenus :*

- Rétro-conception de pièce industrielle
- Conception d'outillage personnalisé
- Scan 3D, reconstruction géométrique
- Réparation par fabrication additive
- Principes 6R et recyclage matière
- Validation du processus et documentation

*Mots clés :* repair, remanufacturing, rétro-conception, durabilité

## **Procédés multi-axes – Workshop**

*Objectifs* :

Ce module met en œuvre des procédés sur machines 5 axes et robots 6–8 axes. Il développe la compréhension des limites mécaniques et dynamiques, la capacité d'analyse des efforts, et l'optimisation des trajectoires en fonction des contraintes procédés.

*Compétences visées :*

- Programmer un usinage 5 axes complet
- Piloter des architectures robotiques 6 à 8 axes
- Analyser la rigidité, les vibrations et les efforts
- Optimiser les trajectoires et stratégie de fabrication
- Simuler un procédé complexe

*Contenus :*

- Usinage sur machines 5 axes
- Robotique multiaxes (6–8 axes)
- Stratégies et calibration des procédés
- Simulation des efforts et comportements dynamiques
- Optimisation trajectoire/procédé
- Accessibilité et redondance

*Mots clés* : multiaxes, 5 axes, architecture robotique 8 axes, optimisation

## **Performance éco-environnementale des procédés**

### *Objectifs*

Ce module sensibilise aux impacts énergétiques, environnementaux et économiques des procédés industriels. Il développe des outils d'évaluation de la consommation et d'optimisation globale, appliqués à des cas réels.

### *Compétences visées :*

- Évaluer la consommation d'un procédé
- Calculer son coût et ROI
- Intégrer les critères environnementaux
- Comparer différentes stratégies de fabrication
- Optimiser la performance globale

### *Contenus :*

- Analyse énergétique des procédés
- Estimation des coûts de production
- Mesure d'impact environnemental
- Calcul du ROI
- Métrologie énergétique (TP sur machines)
- Étude de cas multi-axes

*Mots clés* : énergie, ROI, environnement, procédés, performance

## **Jumeaux numériques – Pièce / Procédés**

### *Objectifs*

:

Ce module enseigne la création de jumeaux numériques pour simuler, connecter et piloter des systèmes industriels. Il intègre métrologie, communication OPC-UA et monitoring connecté en boucle fermée.

### *Compétences visées :*

- Construire un jumeau numérique fonctionnel
- Connecter une machine en OPC-UA
- Intégrer des capteurs pour feedback réel
- Mettre à jour un modèle en fonction des mesures
- Exploiter les données pour décision automatique

### *Contenus :*

- Création de jumeaux : pièce, procédé, machine
- Métrologie et scan 3D
- Interopérabilité OPC-UA
- Boucle de mesure-simulation-décision
- Monitoring dynamique
- Validation expérimentale

*Mots clés :* jumeau numérique, OPC-UA, métrologie, monitoring

## **Simulation MEF – Pièces composites & procédés**

### *Objectifs*

:

Ce module initie à la simulation des pièces et procédés via la méthode des éléments finis (MEF). Il couvre les cas complexes comme les pièces composites, l'injection et les phénomènes thermomécaniques.

### *Compétences visées :*

- Simuler des pièces composites
- Analyser les procédés de transformation (forge, fonderie, injection)
- Modéliser contraintes et déformations
- Optimiser un procédé via simulation MEF
- Interpréter des résultats industriels

### *Contenus :*

- Introduction à la MEF appliquée
- Simulation de pièces composites
- Étude de procédés (forge, moulage, injection)
- Thermomécanique et contraintes internes
- Masselotage, remplissage, refroidissement
- Cas industriels et validation

*Mots clés* : MEF, composites, forge, injection, simulation