

# PLAN DE FORMATION FABRICATION ADDITIVE

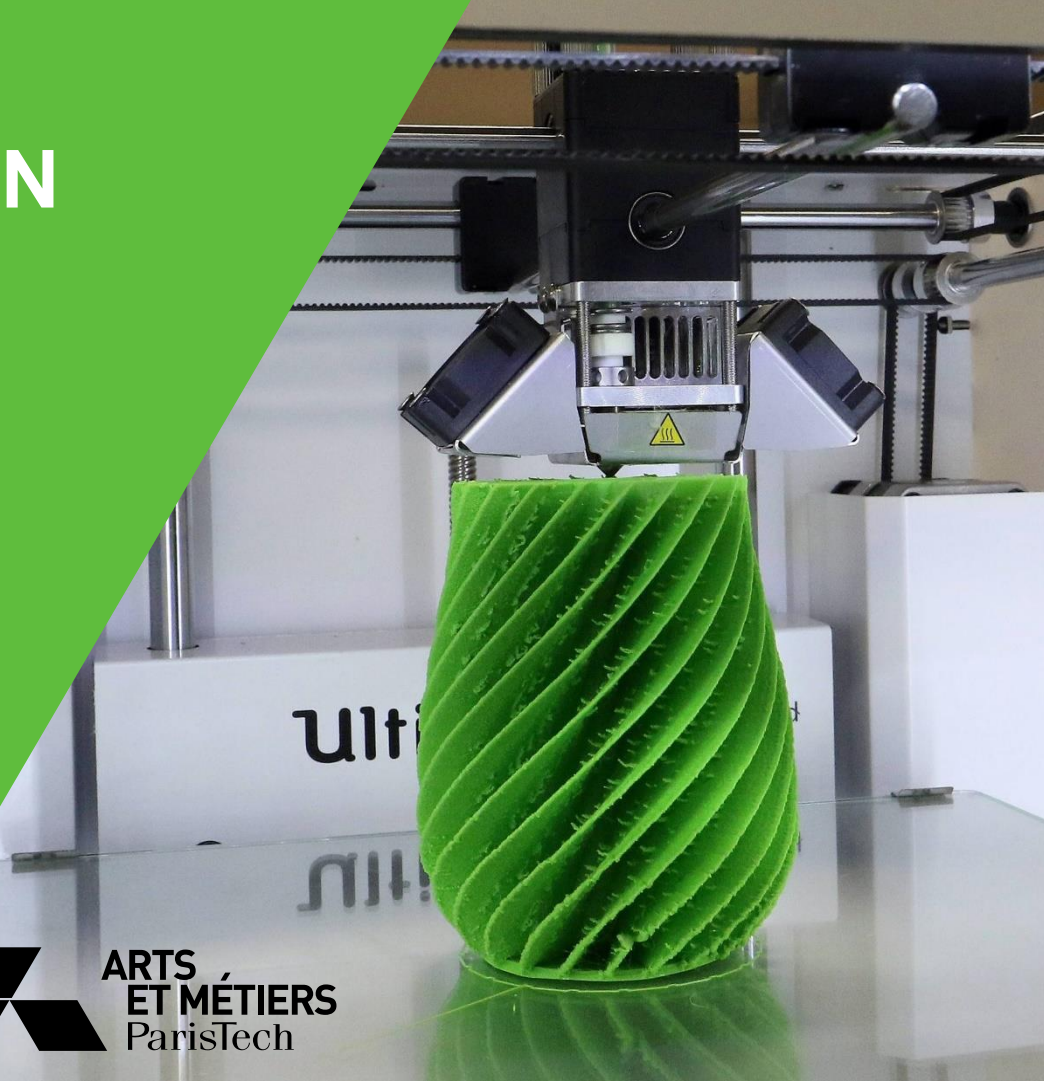
Mai 2018

**ARTS  
ET MÉTIERS**

Frédéric SEGONDS *frederic.segonds@ensam.eu*

Imade KOUTIRI *imade.koutiri@ensam.eu*

*Ce fichier n'est pas modifiable mais généré à partir du fichier  
référence "Parcours\_formation\_FA\_interne-vf.pptx"*



# SOMMAIRE

- 1** Organisation du parcours de formation
- 2** Module Consultant fonctionnel FA
- 3** Module Concepteur Intermédiaire
- 4** Module Concepteur Avancé
- 5** Module Simulation Intermédiaire
- 6** Module Simulation Avancée
- 7** Module Fabricant Intermédiaire
- 8** Module Fabricant Avancé

# ORGANISATION DU PARCOURS DE FORMATION

Parcours	Modules de la formation					Durée	
Consultant fonctionnel	Consultant fonctionnel FA 2J - Présentiel					2j	
Concepteur Intermédiaire	Consultant fonctionnel FA 2J - Présentiel	Concepteur Intermédiaire 3J - Présentiel				5j	
Concepteur Avancé			Concepteur Avancé 2J - Présentiel			7j	
Chargé Simulation Intermédiaire				Simulation Intermédiaire 2J - Présentiel			7j
Chargé de Simulation Avancé					Simulation Avancé 2J - Présentiel		9j
Fabricant Intermédiaire					Fabricant Intermédiaire 2J - Présentiel		9j
Fabricant Avancé				Fabricant Avancé 4J - Présentiel		13j	
	2 jours	3 jours	2 jours	2 jours	4 jours		

# MODULE CONSULTANT FONCTIONNEL FABRICATION ADDITIVE

Ce module a pour but de :

- Présenter les principaux atouts de la Fabrication Additive dans la conception et la fabrication de produits
- Favoriser la prise en compte de la FA pour les phases amont de conception

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Consultant Fonctionnel FA	Aperçu des technologies de FA +méthodes de conception associées et de leur déploiement sur phases amont conception	14h (2j)	Présentiel	Lien

Jour 1:

- Matin : La Fabrication Additive, un enjeu pour l'Industrie 4.0 (Intervenant : G. Dubois - Materialize)
- Après-midi : Le DFAM, levier de l'innovation produit (Intervenant : F. Segonds – AM ParisTech)

Jour 2:

- Créativité par la Fabrication Additive (Intervenants : F. Mantelet/F. Segonds– AM ParisTech)

# MODULE CONCEPTEUR INTERMEDIAIRE

Ce module a pour but de :

- Identifier l'intérêt de la fabrication additive dès la phase de vie « cahier des charges du produit »
- Intégrer une démarche de conception pour la fabrication additive
- Concevoir des pièces pour maximiser le profit d'une utilisation de la fabrication additive.
- Expérimenter le chaînage numérique associé à la FA sur un cas simple
- Découvrir les enjeux et outils de la fabrication propre ou sobre (clean manufacturing), lien avec les démarches d'éco-conception
- Découvrir les enjeux et l'évaluation environnementale appliquée aux procédés
- Bilan Input – Output en Fabrication additive, démarche d'économie circulaire, Bref et MTD

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Concepteur Intermédiaire	Analyse fonctionnelle, Analyse de la valeur. Faisabilité technique, Approche économique. Règles de conception pour la FA, règles métiers. Études de cas industriels. Expérimentation du chaînage numérique de l'idée au produit. Clean Additive Manufacturing	21h (3j)	Présentiel	Lien

## Jour 1:

- Matin : Analyse fonctionnelle, Analyse de la valeur, Faisabilité technique, Approche économique (Intervenant : M. Rivette – AM ParisTech)
- Après-midi : Règles de conception pour la FA, règles métiers. (Intervenant : M. Rivette – AM ParisTech)

## Jour 2:

- Matin: Etudes de cas industriels (Intervenant : M. Rivette – AM ParisTech)
- Après-midi : Expérimentation du chaînage numérique de l'idée au produit (Intervenant : F. Segonds – AM ParisTech)

## Jour 3:

- Matin: Fabrication propre et eco-conception (Intervenant : N. Perry – AM ParisTech)
- Après-midi : Bilan Input – Output en Fabrication additive, démarche d'économie circulaire, Bref et MTD (Intervenant : N. Perry – AM ParisTech)

# MODULE CONCEPTEUR AVANCE

Ce module a pour but de :

- Introduire les outils de conception et optimisation topologique utilisés pour la conception des pièces obtenues à l'aide du procédé FA. Détailler la formulation du problème d'optimisation topologique tout en intégrant les principales contraintes technologiques liées au procédé FA
- Présenter (formuler) le problème de reconstruction (*surface and curve fitting*) des formes optimales issues de l'optimisation topologique et leur intégration dans un assemblage CAO
- Présenter différents outils de dimensionnement en fatigue adaptés à la spécificité des pièces métalliques obtenues par fabrication additives. Prendre en compte la présence de porosité, l'état de surface, et les contraintes résiduelles.

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Concepteur avancé	Introduction à l'optimisation topologique + contraintes procédé FA + reconstruction pièces + STL Dimensionnement en fatigue des pièces obtenues en fabrication additive métallique	14h (2j)	Présentiel	Lien

Jour 1:

- Matin : Introduction à l'optimisation topologique (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)
- Après-midi : Intégration des contraintes FA (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)

Jour 2:

- Matin : Reconstruction de surfaces issues d'optimisation (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)
- Après-midi : Dimensionnement en fatigue des pièces obtenues en FA métallique (Intervenants : E. Pessard / N. Saintier - AM ParisTech)

# MODULE SIMULATION INTERMEDIAIRE

Ce module a pour but de :

- Comprendre l'intérêt et les objectifs d'une optimisation topologique
- Découvrir la méthode SIMP
- Utiliser un code commercial permettant d'optimiser topologiquement une pièce

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Simulation Intermédiaire	Optimisation topologique : Base des éléments finis (discrétisation, matrices,...), Approche SIMP Outils associés : Application sur une pièce industrielle, utilisation d'un logiciel commercial, maillage et contraintes imposés via cahier des charges, présentation des limitations	14h (2j)	Présentiel	Lien

Jour 1:

- Matin : Introduction à l'optimisation topologique (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)
- Après-midi : Approche SIMP (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)

Jour 2:

- Matin : Application sur une pièce industrielle (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)
- Après-midi : Utilisation logiciel, maillage et contraintes imposés (Intervenants : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)



# MODULE SIMULATION AVANCEE

Ce module a pour but de :

- Découvrir les algorithmes associés à l'optimisation
- Définir une fonction coût, contrainte,...
- Analyser les paramètres associés à un code d'optimisation topologique
- Appréhender la chaine globale de la conception à l'optimisation topologique d'une pièce

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Simulation avancée	Optimisation topologique: Base des fonctions optimisations, Processus et modélisation de l'optimisation, Définition d'une fonction coût, contrainte,... Outils associés : Cas concret dans logiciel commercial Etude des effets de paramètres associés à un code d'optimisation. Cas d'application, Mise en place d'une optimisation topologique de pièce. Du dessin à la pièce finale	14h (2j)	Présentiel	Lien

Jour 1:

- Matin : Base des fonctions optimisations, Processus et modélisation (Intervenant E. Monteiro/M. Montemurro – AM ParisTech)
- Après-midi : Définition d'une fonction coût, contrainte. (Intervenant : E. Monteiro/M. Montemurro – AM ParisTech)

Jour 2:

- Matin : Cas concret dans logiciel commercial (Intervenant : E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)
- Après-midi : Etude des effets de paramètres associés à un code d'optimisation. Cas d'application (Intervenant : M E. Monteiro/M. Montemurro - AM ParisTech)

# MODULE FABRICANT INTERMEDIAIRE

Ce module a pour but de :

- Comprendre la place de la FA dans un processus global
- Découvrir les généralités et règles à respecter associées aux procédés de FA
- Découvrir en travaux pratiques les procédés de FFF (FDM®) et BinderJetting
- Etudier les interactions paramètres procédé FFF (FDM®) / matériaux / propriétés mécaniques
- Optimiser les performances mécaniques des pièces réalisées par la méthode des plans d'expérience

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Fabricant Intermédiaire	Généralités sur les procédés de FA et règles associées Déploiement technologie FDM/ Binder Jetting Lien procédés / matériau / durabilité	14h (2j)	Présentiel	Lien

Jour 1:

- Déploiement technologie FDM/ Binder Jetting (Intervenant : I. Koutiri - AM ParisTech)

Jour 2:

- Matin :Déploiement technologie FDM/ Binder Jetting (Intervenant : I. Koutiri - AM ParisTech)
- Après-midi: Lien procédés / matériau / durabilité (Intervenante : S. Terekhina - AM ParisTech)

# MODULE FABRICANT AVANCE

Ce module a pour but de :

- Découvrir l'interaction laser-matière et la physique des procédés LBM (SLM®) et SLS
- Comprendre la paramétrie associé au procédé SLM, appréhender les défauts matériau
- Présenter la spécificité des matériaux obtenus par fabrication additive métallique LBM (SLM®) et DLD (porosité, anisotropie et contraintes résiduelles)
- Présenter les principaux traitement de parachèvement des matériaux obtenus par fabrication additive métallique (traitement thermique de relaxation ou d'homogénéisation, HIP, grenailage)

Module	Description	Temps	Type	Lien support
Fabricant avancé	Généralités sur les lasers, Procédé SLM, matériau et généralités, Procédé LBM (SLM®) , paramétrie et défauts matériau, TP LBM (SLM®) / LMD La fabrication additive des polymères Comportement et les propriétés des polymères, Les différents procédés de FA pour les polymères , La densification des polymères en FA: principes physiques Matériaux obtenus par fabrication additive métallique LBM (SLM®) et DLD, Présenter les principaux traitement de parachèvement des matériaux obtenus par FA métallique.	28h (4j)	Présentiel	Lien

## Jour 1:

- Matin : Généralités sur les lasers, Procédé LBM (SLM®) , matériau et généralités, (Intervenant : M. Schneider– AM ParisTech)
- Après-midi : Procédé LBM (SLM®) , paramétrie et défauts matériau. (Intervenant : I. Koutiri– AM ParisTech)

## Jour 2:

- Mise en œuvre des procédés LBM (SLM®) et LMD (Intervenants : P. Peyre et T. Malot – AM ParisTech)

## Jour 3:

- Matin: La fabrication additive des polymères (Intervenant : G. Regnier– AM ParisTech)
- Après-midi : Les différents procédés de FA pour les polymères , La densification des polymères en FA: principes physiques (Intervenant : G. Regnier– AM ParisTech)

## Jour 4:

- Matin: Spécificité des matériaux obtenus LBM (SLM®) et DLD: porosité, anisotropie et contraintes résiduelles (Intervenant : I. Koutiri– AM ParisTech)
- Après-midi : Les principaux traitement de parachèvement des matériaux obtenus par FA métallique (traitement thermique de relaxation ou d'homogénéisation, HIP, grenailage) (Intervenants : E. Pessard / N. Saintier – AM ParisTech)