

# Référentiel de Compétition

# MÉTIER N° 57

# FABRICATION ADDITIVE

Soumis par :

Tiphaine BAUR, Expert WorldSkills France

Date : 13/02/2024

# TABLE DES MATIÈRES

1.	NOM ET DESCRIPTION DU MÉTIER .....	3
2.	CONNAISSANCES ET PORTÉE DU TRAVAIL.....	4
3.	LE SUJET D'ÉPREUVE.....	8
4.	NOTATION .....	9
5.	EXIGENCES DE SÉCURITÉ LIÉES AU MÉTIER .....	10
6.	ÉQUIPEMENTS ET MATÉRIAUX .....	11

# 1. NOM ET DESCRIPTION DU MÉTIER

## LE NOM DU MÉTIER EST FABRICATION ADDITIVE

### DESCRIPTION DU MÉTIER

La fabrication additive est l'une des branches de l'ingénierie les plus récentes et les plus dynamiques.

Le procédé consiste à assembler des matériaux pour fabriquer des pièces à partir de données de modèle en 3D, en général couche après couche à l'inverse des méthodes de fabrication soustractive et de fabrication de mise en forme. Plus communément connue sous le nom d'impression 3D, la fabrication additive présente plusieurs avantages par rapport au fraisage et au tournage.

Parmi les avantages de la fabrication additive, nous pouvons citer :

- La réalisation de formes plus complexes et plus performantes
- L'allègement des structures
- La réduction des assemblages
- La personnalisation
- Le prototypage et l'agilité
- La fabrication de pièces de rechange et d'outillage

Malgré ses nombreux atouts, la fabrication additive complète les technologies soustractives comme le fraisage et le tournage, mais n'est pas un substitut. L'impression 3D étend les capacités et les applications de la fabrication dans une mesure significative, surtout là où la personnalisation, la légèreté, les formes et fonctions complexes, les nouveaux matériaux, la durabilité et la fiabilité sont en jeu.

La fabrication additive est très largement utilisée dans le domaine aéronautique et aérospatial notamment pour la légèreté des composants produits (l'un des premiers à adopter cette technologie) suivie par la médecine, les transports, l'énergie et les produits de consommation.

La fabrication additive nous permet de repenser de nombreux objets qui nous entourent et de repenser les approches de conception.

Le processus couche sur couche est relativement lent, l'impact global de la fabrication additive sur la conception et la fabrication consiste à raccourcir le cycle de production, à améliorer la qualité et à améliorer les avantages pour le client.

Un technicien en fabrication additive doit posséder un large éventail de connaissances, de compétences et d'attributs génériques. En ce qui concerne la 3D, leur rôle couvre la numérisation 3D, la métrologie, la reconception, l'impression et le post-traitement.

### DOCUMENTS COMPLÉMENTAIRES AU RÉFÉRENTIEL DE COMPÉTITION

Le Référentiel de Compétition Métier ne contient que des informations relatives au métier. Il doit donc être utilisé en association avec le règlement de la Compétition Nationale des Métiers et ne peut contredire ce Règlement. En cas de contradiction qui resterait dans le présent document, c'est le Règlement de la Compétition qui prime.

## 2. CONNAISSANCES ET PORTÉE DU TRAVAIL

La compétition est une démonstration et évolution de tout ou partie des compétences associées avec le métier en question. Le sujet d'épreuve est uniquement composé de travaux pratiques.

### COMPÉTENCES SPÉCIFIQUES

WSSS (WorldSkills Standards Specification)	Importance relative (%)
<p><b>1. Gestion et organisation du travail</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Les normes relatives à la protection de l'environnement, à la sécurité, à l'hygiène et à la prévention des accidents liés à l'utilisation de matériels de FA (scanners, imprimantes 3D, autres machines, et des équipements de post-traitement)</li><li>• Les principes et les applications de la fabrication additive (FA)</li><li>• Le rôle et l'importance de fournir des solutions innovantes et créatives aux problèmes et défis techniques de conception</li><li>• L'importance de garder un comportement professionnel et productif</li></ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fournir et garder un espace de travail sécurisé, rangé et efficace</li><li>• Promouvoir les meilleures pratiques de travail et la protection de l'environnement</li><li>• Planifier et gérer son temps pendant son travail</li><li>• Prioriser de manière rationnelle ses tâches</li><li>• Estimer et planifier le temps, la séquence et la durée des tâches et des étapes</li><li>• Trouver et appliquer des solutions innovantes et créatives aux problèmes et défis liés à la fabrication additive</li><li>• Travailler de manière efficace, économique et rationnelle</li></ul>	<b>5</b>
<p><b>2. Communication et compétences relationnelles</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• L'importance d'une communication efficace entre les collègues, les clients et les autres professionnels</li><li>• La portée des objectifs de la documentation sous forme papier et électronique ainsi que des instructions sous toutes les formes</li><li>• La terminologie technique et les symboles</li><li>• L'importance des spécifications techniques</li><li>• L'intérêt de résoudre rapidement les malentendus et les exigences contradictoires</li></ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Communiquer efficacement, à l'aide de compétences relationnelles solides, avec les collègues, les clients et d'autres professionnels associés pour s'assurer que les projets en développement répondent aux exigences</li><li>• Lire, interpréter et extraire des données techniques et des instructions de toutes les sources disponibles</li><li>• Faire preuve de discrétion et de confidentialité dans les relations avec les clients</li></ul>	<b>5</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clarifier les termes de référence, les spécifications et les instructions pour répondre le mieux aux exigences</li> <li>• Continuer à se former professionnellement et de manière proactive afin de conserver ses connaissances et ses compétences dans les technologies nouvelles et en développement.</li> </ul>	
<p style="text-align: center;"><b>3. Numérisation 3D</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes de fonctionnement des équipements de numérisation 3D, les avantages et inconvénients des différents types d'équipements pour la numérisation 3D</li> <li>• Les caractéristiques techniques des équipements en matière de précision et de vitesse de numérisation 3D</li> <li>• L'importance du calibrage du scanner et les conditions pour le faire.</li> <li>• Les exigences des caractéristiques de la surface de chaque objet pour la numérisation 3D, telles que la rugosité, la transparence, la translucidité, la brillance</li> <li>• Les méthodes et techniques de préparation des surfaces pour la numérisation 3D, telles que le lavage, le sablage et le matage</li> <li>• Les exigences relatives aux modèles polygonaux pour les processus de rétroconception</li> <li>• Les types de rejet de la numérisation 3D, leur source, et comment les éviter</li> </ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effectuer le réglage et l'étalonnage des équipements</li> <li>• Prendre des décisions concernant les tâches précédant le scan comme le démontage, le lavage ou la peinture de la pièce à scanner.</li> <li>• Effectuer les actions de prétraitement (Appliquer le revêtement de matage, appliquer les marqueurs optiques...)</li> <li>• Fixer les objets pour la numérisation</li> <li>• Effectuer la numérisation 3D de divers objets</li> <li>• Enregistrer les résultats au format adéquat</li> </ul>	<b>20</b>
<p style="text-align: center;"><b>4. Métrologie et Contrôles</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La gamme des instruments de mesure et les appareils (sondes, capteurs, dispositifs de fixation, etc.)</li> <li>• Les facteurs qui influencent sur la fiabilité des résultats de mesure (surface non propre, variation de température, mesure de force incorrecte, etc.)</li> <li>• Les niveaux de précision, de tolérance, les dimensions linéaires et angulaires et les tolérances géométriques</li> <li>• Les méthodes de prise de mesure</li> </ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Préparer les objets et les instruments de mesure pour procéder à la prise de mesures</li> <li>• Étalonner, ajuster et aligner les instruments de mesure</li> <li>• Choisir les bons instruments et dispositifs de mesure (aiguilles, sondes, etc.), les dispositifs auxiliaires et de fixation (étaux, blocs en V, pinces de fixation, etc.), en fonction de la stratégie de mesure</li> <li>• Prendre des mesures à l'aide de divers instruments de contrôle et de mesure</li> <li>• Lire les indications des instruments de mesure</li> <li>• Identifier et estimer l'exactitude des mesures et la fiabilité des données obtenues, afin de minimiser les erreurs humaines</li> </ul>	<b>5</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trouver les informations nécessaires dans les ouvrages de référence, les tableaux et les diagrammes spécialisés</li> <li>• Effectuer l'entretien régulier des instruments de mesure</li> </ul>	
<p style="text-align: center;"><b>5. Rétroconception et optimisation de conception</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les objectifs des processus de numérisation par rapport aux technologies additives (réduction du nombre de pièces, diminution du poids, optimisation des fonctions, etc.)</li> <li>• L'utilisation des logiciels de rétroconception ; CAO et les logiciels d'optimisation topologique</li> <li>• Les critères des modèles maillés en matière de numérisation</li> <li>• Les méthodes d'extraction de primitives des modèles polygonaux en vue de la restauration de modèles de CAO et de leur optimisation</li> <li>• Les systèmes mécaniques et les principes de fonctionnement</li> <li>• Les notions de base en matière d'esquisses et de dessin technique</li> <li>• Les bases de l'assemblage des composants</li> <li>• Les méthodes comparatives pour la CAO et le maillage</li> <li>• Les exigences relatives aux modèles solides en matière de fabrication additive, de post-traitement et d'utilisation future</li> <li>• Les propriétés des matériaux pour la fabrication additive et l'ingénierie mécanique</li> </ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer des modèles CAO à partir de données numérisées (mesh modèle)</li> <li>• Restaurer les données manquantes des éléments des objets à redessiner, à partir des données disponibles : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Des modèles maillés (par exemple, la roue dentée n'a plus qu'une seule dent, la vis sans fin ne fait qu'un tour, ou il n'y a qu'un tiers de la bride),</li> <li>○ Extraites des pièces connectées,</li> <li>○ Extraites d'objets existants par prise de mesure manuelle (par exemple, la profondeur d'un trou borgne).</li> </ul> </li> <li>• Modifier la géométrie des modèles créés suivant la fonction</li> <li>• Examiner les caractéristiques de la fabrication additive et du procédé de finition</li> <li>• Analyser et optimiser la structure du modèle selon sa fonction</li> <li>• Analyser la différence entre le modèle numérique solide et son scan</li> <li>• Optimiser la forme de la pièce suivant sa fonction</li> <li>• Appliquer les normes de cotation ISO pour les tolérances conventionnelles ainsi que les tolérances géométriques</li> </ul>	<b>33</b>
<p style="text-align: center;"><b>6. Préparation et production</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La physique et la chimie appliquée aux technologies additives</li> <li>• Les logiciels de préparation, de simulation et d'analyse de modèles</li> <li>• Les avantages et inconvénients des technologies additives les plus utilisées (SLA, SLS, FDM/FFF et MJ)</li> <li>• Les propriétés, avantages et inconvénients des matériaux utilisés pour l'impression 3D</li> <li>• Les règles de conception des modèles en fonction des technologies et des matériaux</li> <li>• Les technologies de post-traitement : les possibilités et les normes (exigences de fixation, éléments de liaison, tolérances de post-traitement, séquence des opérations de soulagement des contraintes)</li> </ul>	<b>5</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les technologies et procédés pouvant être utilisés pour les pièces de fabrication additive (formage à l'état de superplasticité, moulage à la cire perdue, injection plastique, etc.)</li> </ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Choisir la technologie la mieux adaptée</li> <li>• Choisir le matériau le mieux adapté</li> <li>• Préparer les modèles pour l'impression 3D selon la technologie et le matériau choisi (disposition, orientation, supports, retrait)</li> <li>• Appliquer la physique et la chimie aux technologies additives</li> <li>• Simuler et analyser les processus de fabrication</li> <li>• Démarrer et contrôler l'impression</li> <li>• Mettre en œuvre les processus de post-traitement nécessaires et définir leur complexité</li> </ul>	
<p style="text-align: center;"><b>7. Finaliser et livrer les pièces</b></p> <p>Les compétiteurs doivent connaître et comprendre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les processus et procédures de post-traitement</li> <li>• L'importance de réaliser des pièces selon les normes, dans la limite de ses responsabilités</li> </ul> <p>Les compétiteurs doivent être capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyer les pièces</li> <li>• Livrer les pièces aux endroits et/ou au personnel approprié, selon les souhaits de l'organisation</li> <li>• Évaluer et rendre compte des facteurs et des résultats en matière d'exigences et d'attentes</li> </ul>	<b>5</b>

### CONNAISSANCES THÉORIQUES

**Les connaissances théoriques sont requises, mais ne seront pas testées à proprement parler.**

**La connaissance des règles et règlements de compétition ne sera pas testée.**

### TRAVAUX PRATIQUES

Les données relatives aux tâches à réaliser seront fournies sous forme de schémas, de fichiers, de pièces ou d'assemblages réels.

La collecte d'informations à partir de ces données nécessite de savoir lire un schéma, un plan, une table de calcul, un manuel ou tout autre document technique.

Des informations complémentaires seront obtenues par mesure directe sur pièce réelle, modèle 3D ou plan.

Les compétiteurs seront amenés à numériser des pièces, à retravailler des fichiers de conception ou concevoir et à imprimer des pièces en utilisant plusieurs technologies de fabrication additive.

## 3. LE SUJET D'ÉPREUVE

### FORMAT / STRUCTURE DU SUJET D'ÉPREUVE

Le sujet d'épreuve est développé par l'équipe métier sous la conduite de l'expert métier.

Le sujet se divise en modules traitant différentes thématiques de la fabrication additive. Chaque module fait l'objet d'un sujet. Ces modules peuvent être dépendants les uns des autres. Une combinaison des compétences spécifiques est autorisée dans chaque module.

Chaque sujet élaboré devra comprendre :

- Le texte du sujet ;
- Les données pour le compétiteur ;
- Un descriptif des tâches demandées avec toutes les données appropriées ;
- Le barème des notations subjectives et objectives, précisant les critères, sous-critères et aspects évalués, accompagnés de leurs pondérations ;
- Les documents et fichiers à rendre.

Le logiciel de CAO utilisé lors de la compétition nationale est **Autodesk Fusion 360**.

Les données 3D des sujets seront fournies dans un format compatible avec le logiciel Autodesk Fusion 360.

Les textes des sujets seront réalisés au format Word. Ils seront donnés aux compétiteurs en version papier, et au format numérique PDF. Une traduction des sujets sera proposée aux compétiteurs étrangers et pourra être rectifiée au besoin par le juré accompagnateur.

Les tâches d'impression 3D devront être lancées pendant le temps de l'épreuve et pourront se poursuivre après la fin des épreuves, sauf indication contraire exprimée explicitement dans le sujet. Une limite de temps de fabrication peut être imposée dans le sujet.

Le post-traitement des pièces imprimées en 3D sera à la charge des compétiteurs, sauf indication contraire exprimée explicitement dans le sujet. Un temps sera prévu à cet effet. Cette phase pourra être évaluée.

Les technologies de fabrication additive évaluées lors du sujet porteront sur des technologies polymères (FDM, SLA, SLS, voire MJF).

### DISTRIBUTION / CIRCULATION DU SUJET D'ÉPREUVE

Aucune information concernant les thèmes abordés ou les tâches demandées lors de la compétition ne sera communiquée aux compétiteurs préalablement à la compétition. Les sujets seront diffusés lors du démarrage du module concerné.

## 4. NOTATION

### CRITÈRES D'ÉVALUATION

Cette section définit les critères d'évaluation et le nombre de points accordés (notation subjective et objective). Les valeurs données dans ce tableau pourront évoluer dans de légères proportions en plus ou en moins. Le nombre total de points pour tous les critères d'évaluation réunis est égal à 100.

SECTION	Domaines de compétences	NOTE		
		Judgement	Measurement	Total
<b>A</b>	Critère 1 : Modélisation de produit pour la fabrication additive et production	2	18	<b>20</b>
<b>B</b>	Critère 2 : Optimisation topologique	2	18	<b>20</b>
<b>C</b>	Critère 3 : La rétroconception, la reconception et/ou l'optimisation et production	2	38	<b>40</b>
<b>D</b>	Critère 4 : Numérisation 3D et production	2	18	<b>20</b>
<b>Total =</b>		<b>8</b>	<b>92</b>	<b>100</b>

### SPÉCIFICATION D'ÉVALUATION DU MÉTIER

Dans le tableau précédent, le « Judgement » est une notation subjective qui fait appel à l'appréciation des membres du jury (exemple : esthétique, finition...) selon une échelle préalablement définie. Les notes « Measurement » correspondent à des critères mesurables (exemple : dimensions, tâche réalisée ou non...).

L'expert (Président de jury) divise le jury en 2 ou 3 groupes de notation en veillant à ce que chaque groupe soit constitué de jurés expérimentés et novices.

Aucun juré ne peut noter un aspect sans la présence des autres jurés de son groupe. Les éventuels jurés étrangers pourront participer à la notation.

Chaque groupe de notation sera responsable de la notation des mêmes aspects sur l'ensemble des compétiteurs.

L'expert essaiera d'attribuer le même nombre de points à évaluer à chaque groupe de notation sur l'ensemble des modules.

## 5. EXIGENCES DE SÉCURITÉ LIÉES AU MÉTIER

Le tableau ci-dessous présente les recommandations WorldSkills en matière de santé, de sécurité et d'environnement :

	Lunettes de sécurité avec protection latérale	Gants de laboratoire (en nitrile)	Gants anti-coupure	Vêtements de travail ajustés (pantalons longs)	Chaussures de sécurité avec embout renforcé	Protection auditive	Masque complet de protection
EPI standard pour les zones de sécurité				√	√		
Pendant le temps de travail/ de mise en service dans l'atelier	√			√	√		
Pendant le travail avec machines et outils à plus de 85 dB				√	√	√	
Travailler avec des imprimantes FDM/FFF pendant le processus de construction	√			√	√		
Pendant l'utilisation de l'imprimante résine (DLP ou SLA)	√	√		√	√		√
Pendant les opérations de post-traitement et finition	√		√	√	√		√

## 6. ÉQUIPEMENTS ET MATÉRIAUX

### LISTE D'INFRASTRUCTURES

*La liste des infrastructures reprend tous les équipements courants, matériaux et installations mis à disposition des compétiteurs sur les espaces de concours en général.*

Les compétiteurs auront à disposition :

- Du matériel informatique (un PC avec écrans, clavier et souris) avec les logiciels installés
- Des imprimantes 3D (a minima une imprimante FDM et une imprimante SLA)
- Des équipements de protection individuelle : lunette de sécurité, gants nitrile et gants anticoupeure, masque FFP3 et bouchons d'oreille
- Du matériel de nettoyage (essuie-tout, isopropanol)

### MATÉRIAUX, ÉQUIPEMENTS ET OUTILS QUE LES COMPÉTITEURS APPORTERONT DANS LEUR CAISSE À OUTILS

La taille externe maximale de la caisse à outils est de 800 mm x 800 mm x 500 mm.

Le compétiteur pourra apporter dans sa caisse à outils :

- Du matériel de post-traitement manuel (papier abrasif, limes...)
- Des instruments de mesure et petit outillage (réglet, pied à coulisse, pinces, cutter, spatule, clés Allen...)
- Des EPI spécifiques (vêtement de travail ou blouse, chaussures de sécurité, gants, lunettes...)
- Au besoin, des périphériques personnels (clavier, souris, souris3D, tapis), uniquement s'ils sont filaires

Les baladeurs MP3 sont autorisés, uniquement s'ils ne possèdent pas de fonctionnalité leur permettant une communication extérieure, et s'ils sont avec des écouteurs ou un casque avec fil.

*Une liste complémentaire pourra être distribuée lors du séminaire de préparation à la Compétition Nationale et/ou apparaître sur le sujet d'épreuve.*

### MATÉRIAUX ET ÉQUIPEMENTS INTERDITS SUR L'ESPACE DE COMPÉTITION

Tout matériel et équipement apporté par les compétiteurs devra être présenté au chef d'atelier responsable de cette vérification le premier jour de la compétition, et à tout instant.

Tout matériel permettant une communication externe est interdit pendant la compétition. Les téléphones portables des compétiteurs seront éteints et rassemblés dans une boîte prévue à cet effet dès l'entrée sur le stand.

Tout matériel de stockage (clé USB, disque dur...) ne pourra être utilisé afin de transférer des fichiers sur les ordinateurs. Seuls les pilotes des périphériques personnels autorisés pourront être installés en présence de deux membres du jury minimum.

Le jury exclura tout article jugé non conforme à la liste exposée plus haut.

*Une liste complémentaire pourra être distribuée lors du séminaire de préparation à la Compétition Nationale et/ou apparaître sur le sujet d'épreuve.*