ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

(CCTP)

AMT26.55

FOURNITURE, LIVRAISON, INSTALLATION, MISE EN SERVICE ET FORMATION RELATIVES À UNE CELLULE ROBOTISÉE DE DÉPOSE AUTOMATISÉE DE FIBRES (AFP) ET SES ACCESSOIRES POUR LE CAMPUS ARTS ET MÉTIERS D'ANGERS

1 Objet du marché 3
1.1 Nomenclature CPV 3
2 Présentation du campus d'Angers 3
2.1 Identification du campus 3
3 Description de la solution souhaitée 3
3.1 Généralités 3
3.2 Prestations 3
4 Dispositions techniques générales 4
4.1 Jours ouvrés d'exécution 4
4.2 Plan de prévention 4
4.3 Risque chimique 4
4.4 Gestion des déchets 4
4.5 Manutention 4
4.6 Qualification du personnel 4
5 Description générale de la cellule robotisée AFP 4
5.1 Architecture et caractéristiques générales 4
5.2 Procédé AFP et matériaux 5
5.3 Cantre et alimentation matière 5
5.4 Pilotage, programmation et licence logicielle 6
5.5 Automatisme, connectivité et données procédé 6
5.6 Alimentation électrique 7
5.7 Évolutivité multiprocédés 7
5.8 Consommables de démarrage 7
5.9 Protection, accessibilité et conformité 7
5.10 Installation, mise en service et réception 7
5.11 Dossier technique 7
5.12 Formation 8
5.13 Garantie des prestations 8
5.14 Maintenance des prestations 8
6.Évolutivité de la cellule 9

1 Objet du marché

Le présent marché a pour objet l'acquisition, la livraison, l'installation, la mise en service et la formation relatives à une cellule robotisée compacte de Dépose Automatisée de Fibres (Automated Fiber Placement – AFP), destinée à la fabrication de préformes composites et à l'étude des interactions procédé–défauts–performance. La cellule sera installée dans la plateforme Polymères & Composites de l'ENSAM – Campus d'Angers et intégrera l'Evolutive Learning Factory du campus.

L'équipement sera utilisé pour des activités d'enseignement, de recherche, de formation continue et de valorisation, notamment sur les composites thermoplastiques, thermodurcissables et les tapes secs stabilisés.

1.1 Nomenclature CPV

Code principal	Description
42997300-4	Robot industriel
42611000-2	Machines industrielles

2 Présentation du campus d'Angers

2.1 Identification du campus

ENSAM – Campus d'Angers
2, boulevard du Ronceray
49100 Angers Cedex

3 Description de la solution souhaitée

3.1 Généralités

La solution recherchée est une cellule industrielle compacte, carénée, sécurisée et instrumentée permettant la dépose automatisée mono-bande/mono-fibre sur pièces planes et surfaces 3D. Elle devra permettre le contrôle du dépôt, la programmation hors ligne des trajectoires, l'acquisition de variables procédé et l'exploitation de matériaux composites thermoplastiques, thermodurcissables et tapes secs stabilisés.

La cellule doit être adaptée à un usage pédagogique à l'échelle industrielle, avec accès sécurisé, visibilité sur la zone de travail, interfaces de commande accessibles et documentation suffisante pour permettre l'exploitation par les enseignants, ingénieurs, techniciens et étudiants encadrés.

3.2 Prestations

À la charge de l'ENSAM :

- Préparation du site d'implantation, validation de l'emplacement et mise à disposition des plans de site.
- Mise à disposition des alimentations électriques, pneumatiques et du réseau informatique au voisinage de la cellule.

À la charge du titulaire :

- Études, fabrication, essais en atelier, transport, déchargement, manutention interne, implantation et mise en service complète de la cellule.
- Raccordement final aux alimentations mises à disposition par l'ENSAM.

- Le fournisseur devra être autonome sur son chantier et particulièrement en ce qui concerne l'outillage nécessaire à la réalisation de la tâche.
- Mise en place de l'ensemble des dispositifs de sécurité, essais fonctionnels et vérifications réglementaires.
- Formation des utilisateurs, fourniture du dossier technique et assistance à la réception.

Fourniture, à la charge du titulaire, de l'ensemble des matières premières, consommables et outillages spécifiques nécessaires à la mise en service, aux essais de réception et aux deux journées de formation. Ces consommables sont distincts du lot de démarrage destiné aux premières manipulations pédagogiques.

- Évacuation des emballages et déchets générés par l'installation.

4 Dispositions techniques générales

4.1 Jours ouvrés d'exécution

Les dates d'intervention sont arrêtées en accord avec le responsable technique du campus. Les opérations bruyantes ou présentant des risques particuliers sont organisées hors présence des étudiants si nécessaire.

4.2 Plan de prévention

Préalablement à toute intervention, un plan de prévention est établi avec le responsable technique et le conseiller de prévention du campus.

4.3 Risque chimique

En cas d'utilisation de produits chimiques, le titulaire fournit les fiches techniques et fiches de données de sécurité à jour conformément à la réglementation en vigueur.

4.4 Gestion des déchets

Le titulaire assure l'évacuation et le traitement des déchets occasionnés par ses travaux d'installation.

4.5 Manutention

Les moyens de manutention nécessaires à la livraison, au déchargement, au déplacement et à la mise en place de la cellule sont à la charge du titulaire.

4.6 Qualification du personnel

Le personnel intervenant doit disposer des qualifications et habilitations adaptées à la robotique industrielle, aux équipements électriques, pneumatiques et thermiques concernés.

5 Description générale de la cellule robotisée AFP

5.1 Architecture et caractéristiques générales

La fourniture porte sur une cellule industrielle compacte, carénée et sécurisée, dédiée à la dépose automatisée de fibres (AFP) pour des activités d'enseignement, de recherche et de démonstration.

Compte tenu des contraintes d'implantation dans l'atelier du campus d'Angers, la compacité constitue une exigence impérative du marché. L'emprise en fonctionnement de la cellule installée ne devra pas excéder 3,0 m x 3,0 m. Les opérations courantes d'exploitation devront être compatibles avec l'espace disponible dans l'atelier. Le titulaire

fournira un plan d'implantation coté précisant l'encombrement de la cellule ainsi que les dégagements ponctuellement nécessaires pour l'ouverture des accès, le chargement des bobines et les opérations de maintenance.

- robot industriel 6 axes, avec architecture permettant la gestion d'au moins deux axes externes synchronisés, dont le positionneur intégré à la cellule ;
- charge utile du robot adaptée à la tête AFP et aux équipements associés ; rayon d'action compatible avec le gabarit compact de la cellule ;
- zone utile de dépose permettant au minimum le travail sur une surface de 1 000 x 500 mm ;
- positionneur/table tournante synchronisée avec le robot ;
- emprise en fonctionnement maximale de la cellule installée : 3 000 x 2 700 mm ;
- emprise en preparation et maintenance : 3 000 x 3000 mm ;
- plan coté précisant les dégagements ponctuels d'exploitation et de maintenance à fournir ;
- enceinte carénée et régulée permettant de maîtriser les conditions de dépose ;
- IHM intégrée pour la conduite et le réglage des principaux paramètres de la cellule.

5.2 Procédé AFP et matériaux

La cellule devra permettre la dépose automatisée mono-bande de matériaux composites thermodurcissables, thermoplastiques et de tapes secs stabilisés. La solution devra être adaptée à des bandes/tapes de largeur couramment utilisée en AFP, jusqu'à environ 15 mm.

La tête AFP devra intégrer un chauffage radiant infrarouge pour la dépose standard ainsi qu'un système de chauffage localisé par air chaud adapté à la mise en œuvre de composites thermoplastiques et permettant d'atteindre une température d'au moins 300 °C.

Compte tenu de l'utilisation de la cellule dans un environnement pédagogique, aucune source laser ne sera admise pour le chauffage de dépose.

Le système devra permettre le réglage, le contrôle et l'acquisition des principaux paramètres de dépose, notamment la température ou la puissance de chauffe, la vitesse de dépose, l'effort de compaction et la tension de bande.

La cellule devra assurer une dépose précise et répétable permettant de maîtriser le positionnement des bandes, leur espacement ainsi que les opérations de coupe et de réacheminement. Les performances annoncées devront être précisées par le candidat et vérifiables lors des essais de réception.

- tolérance d'écart entre deux bandes : 0 / +2 mm au maximum ;
- précision de coupe et de réacheminement : ±2 mm ou meilleure ;
- effort de compaction réglable ;
- plateau chauffant piloté depuis la cellule, de dimensions minimales 500 x 500 mm et pouvant atteindre au moins 120 °C ;
- rouleau de compaction refroidi et système de refroidissement en boucle fermée pour la dépose thermoplastique.

5.3 Cantre et alimentation matière

La cellule devra intégrer un cantre permettant le stockage et l'alimentation contrôlée de la matière, avec régulation de la tension de bande et récupération du film séparateur lorsque le matériau le nécessite.

- compatibilité avec des bobines industrielles usuelles, notamment sur mandrin 3 pouces ;
- masse admissible d'au moins 4 kg par bobine ;
- mesure ou estimation du diamètre de bobine ;
- commande asservie de l'alimentation et de la récupération du film protecteur.

5.4 Pilotage, programmation et licence logicielle

La fourniture devra inclure, dans le prix de base du marché, l'ensemble de l'environnement logiciel nécessaire à la programmation hors ligne de la cellule AFP. Cet environnement devra permettre de définir les plans de drapage sur surfaces planes ou 3D, de simuler les trajectoires et mouvements du robot et de générer les programmes directement exploitables par la cellule. Il comprendra notamment une licence logiciel compatible avec la solution proposée, incluant un environnement numérique permettant la programmation de la cellule par un langage de programmation visuel (ex.: Grasshopper) à des fins pédagogiques, ainsi que le plug-in de programmation AFP associé (de type XLay ou solution fonctionnellement équivalente). Aucun achat logiciel complémentaire ne devra être nécessaire pour utiliser les fonctions de programmation AFP décrites dans le présent CCTP.

Les licences nécessaires au fonctionnement de cette solution devront être acquise en une seule fois et permettre une utilisation pérenne dans la version livrée, sans abonnement ni redevance annuelle obligatoire. Elle pourra être installée et utilisée sur jusqu'à 4 postes en simultanée. Les éventuelles mises à jour, maintenances logicielles ou prestations futures devront être clairement identifiées et ne devront pas conditionner l'utilisation de la configuration livrée.

Si l'équipement nécessite un ordinateur pour son pilotage il sera inclus dans l'offre proposée, avec la configuration adéquate.

5.5 Automatisme, connectivité et données procédé

La cellule devra intégrer un automate industriel et une communication réseau adaptée à son intégration dans l'Usine-École. Une fonction de monitoring procédé et une interface industrielle ouverte de type OPC UA devront être incluses dans l'offre de base afin de permettre l'accès, l'acquisition et l'exploitation des principales variables du procédé.

Les données accessibles devront pouvoir être associées au déroulement du programme robot et à la trajectoire de dépose. Le titulaire précisera les possibilités d'horodatage, de synchronisation et de journalisation disponibles dans la configuration proposée.

- position et orientation du robot ;
- vitesse de déplacement et vitesse de dépose ;
- température et/ou puissance du système de chauffe ;
- effort de compaction ou, à défaut, sa consigne ;
- tension de bande ;
- informations relatives à l'alimentation matière et à la bobine ;
- états machine, alarmes et événements procédé ;
- informations de production, de maintenance et consommation électrique lorsqu'elles sont disponibles.

Les données devront pouvoir être journalisées et exportées dans un format exploitable par des outils externes, directement (type OPC-UA ou MQTT) et être documentées. L'accès aux données nécessaires à l'exploitation pédagogique et scientifique ne devra pas nécessiter d'abonnement obligatoire supplémentaire.

Le fournisseur précisera, pour chaque variable accessible, s'il s'agit d'une consigne, d'une mesure réelle ou d'une valeur calculée/estimée, ainsi que son unité, sa fréquence d'acquisition et son mode d'accès.

La documentation des variables accessibles devra être fournie afin de permettre leur exploitation pédagogique, leur corrélation avec les résultats expérimentaux et numériques et le développement ultérieur de premières briques de jumeau numérique procédé-pièce.

5.6 Alimentation électrique

La cellule devra pouvoir fonctionner sur le réseau électrique existant du campus, sans création d'une ligne électrique indépendante dédiée. L'alimentation disponible pour la cellule sera de type monophasé 230-250 VCA, 50-60 Hz, 20 A maximum, sous réserve de validation lors de l'étude d'installation. Cette ligne ne comporte de transformateur d'isolement. S'il est nécessaire il devra être proposé dans l'offre et dimensionné à l'équipement. Le titulaire justifiera le dimensionnement retenu en fonction des différents consommateurs de la cellule.

5.7 Évolutivité multiprocédés

L'architecture de la cellule devra permettre l'intégration ultérieure d'effecteurs complémentaires sur le robot, sans remplacement de l'architecture robotique principale. Cette évolutivité pourra notamment concerner une tête d'extrusion thermoplastique pour fabrication additive robotisée, des outils de découpe, d'inspection ou de réparation. Ces équipements complémentaires, décrits à l'article 7 du présent cahier, ne font pas partie du socle obligatoire du présent marché,

5.8 Consommables de démarrage

Le titulaire fournira à sa charge les matières premières, consommables et outillages nécessaires à la mise en service, aux essais de réception et aux journées de formation qui pourront accueillir 4 personnes maximum. En complément, la fourniture devra comprendre un lot de consommables de démarrage distinct, qui ne devra pas être consommé lors de ces opérations.

Le lot de démarrage comprendra à minima des bandes/tapes compatibles avec la configuration AFP livrée, dont au moins un matériau composite thermoplastique compatible avec le système de chauffe, ainsi que les consommables courants nécessaires au fonctionnement de la tête. Le titulaire précisera dans son offre la nature, les dimensions et les quantités fournies.

5.9 Protection, accessibilité et conformité

La cellule devra être entièrement carénée et conçue pour une utilisation en environnement pédagogique. Les accès opérateur et matière devront être sécurisés. L'ensemble devra respecter la réglementation et les normes applicables à la date de livraison et être fourni avec déclaration de conformité et marquage CE. L'offre devra comprendre un contrôle par un organisme extérieur pour assurer que la machine est conforme après installation.

5.10 Installation, mise en service et réception

Le prix de l'offre devra inclure le transport, la livraison, le déchargement, la mise en place, les raccordements internes, l'installation, les réglages, la mise en service et les essais nécessaires à l'obtention d'une cellule pleinement opérationnelle ainsi que le contrôle de conformité par un organisme extérieur.

La réception comprendra au minimum la vérification des fonctions de sécurité, du fonctionnement robotisé, du positionneur synchronisé, du cantre, de la programmation hors ligne, de la dépose AFP, du système de chauffe/refroidissement et de l'accès aux données procédé. Une pièce ou préforme représentative sera réalisée sur le site de l'ENSAM.

5.11 Dossier technique

Le titulaire fournira un dossier technique complet en format numérique en français, comprenant au minimum :

- notice d'utilisation et manuel opérateur ;
- manuel d'installation, de programmation et de maintenance ;
- schémas électriques et pneumatiques;
- nomenclature des composants et pièces d'usure ;

- documentation des équipements spécifiques ;
- documentation des variables accessibles par l'interface de connectivité ;
- fichiers numériques 3D de la machine
- plan d'implantation et caractéristiques des énergies nécessaires.

5.12 Formation

Le titulaire assurera sur le site du campus Arts et Métiers d'Angers une formation au minimum d'une durée de deux journées destinées aux enseignants, enseignants-chercheurs, ingénieurs et techniciens amenés à utiliser la cellule. Puis une seconde formation de minimum 2j en fonction de disponibilité quelques mois plus tard.

La formation couvrira à minima la sécurité et la prise en main de la cellule, la préparation et le chargement de la matière, la programmation hors ligne, le réglage des paramètres AFP, la réalisation d'une dépose représentative, l'exploitation des principales données procédé et les opérations courantes de maintenance et de diagnostic.

Les attestations de formation devront être fournies au service RH.

5.13 Garantie des prestations

La cellule AFP devra bénéficier d'une garantie de 12 mois. Lorsque certains équipements bénéficient d'une garantie constructeur supérieure, notamment le robot industriel, celle-ci devra être intégralement transférée à l'ENSAM ,

. Les durées de garantie applicables aux principaux sous-ensembles seront précisées dans l'offre.

Pendant la période de garantie, le titulaire assurera une assistance technique à distance pour le diagnostic et la résolution des dysfonctionnements. Lorsqu'une résolution à distance n'est pas possible, le candidat précisera dans son offre les modalités et délais d'intervention sur site.

5.14 Maintenance des prestations

Le titulaire fournira un plan de maintenance préventive précisant les opérations à réaliser, leur périodicité, les contrôles associés ainsi que les principales pièces d'usure et consommables. Les opérations de maintenance de premier niveau réalisables par les personnels du campus devront être clairement identifiées et présentées lors de la formation.

Il devra également proposer en PSE Obligatoire un contrat de maintenance d'une durée de 3 ans à l'issue de la période de garantie, chiffré séparément, permettant d'assurer le maintien en condition opérationnelle de la cellule. Cette proposition précisera notamment :

- la périodicité des visites de maintenance préventive ;
- les opérations, contrôles et vérifications compris dans le contrat ;
- les modalités d'assistance et de diagnostic à distance ;
- les conditions et délais d'intervention sur site ;
- les pièces, consommables, frais de déplacement et main-d'œuvre inclus ou exclus ;
- le coût annuel du contrat et ses modalités de révision.

La souscription à ce contrat de maintenance restera éventuelle et ne devra pas conditionner le fonctionnement de la cellule, l'accès aux logiciels, aux données ou aux fonctionnalités acquises.

Il précisera enfin les conditions de disponibilité des pièces détachées et pièces d'usure nécessaires au maintien en fonctionnement de la cellule.

6.Évolutivité de la cellule

La cellule devra présenter une architecture ouverte et évolutive permettant l'intégration ultérieure de nouveaux effecteurs et fonctionnalités sans remplacement du robot industriel principal ni modification majeure de l'architecture de la cellule.

- **Changeur automatique d'outils ; (PSE Obligatoire)**
- tête d'extrusion thermoplastique pour fabrication additive robotisée 3D, à partir de filament et/ou de granulés **; (PSE Facultative)**
- solution logicielle adaptée à la génération de trajectoires de fabrication additive robotisée, notamment pour des trajectoires 3D et non planaires **; (PSE Facultative)**
- outils complémentaires de découpe, détourage ou réparation ; **(PSE Facultative)**
- possibilité d'intégrer ultérieurement un système d'inspection en ligne de la qualité de dépose, notamment pour la détection de gaps, overlaps ou défauts de positionnement des bandes ; **(PSE Facultative)**

Ces équipements complémentaires ne font pas partie du besoin de base. Le titulaire décrira les adaptations matérielles et logicielles éventuellement nécessaires.