Cahier des clauses techniques particulières :

Acquisition de deux machines de traction électromécaniques pour laboratoire d'essai mécanique

Référence 20260008

SOMMAIRE

NATURE DU PROJET 2

1.1 Objet : 2

1.2 Contexte : 2

2 NORMES APPLICABLES 2

3 RESUME DES PRESTATIONS DEMANDEES 3

4 DESCRIPTION DES SPECIFICATIONS TECHNIQUES 4

4.1 Réalisation des essais 4

4.2 Contrôle commande 5

4.3 Livraison et installation de l'équipement 6

4.4 Formation et documentation 6

4.5 Garantie 7

5 EVALUATION DES OFFRES TECHNIQUES 7

5.1 Exigences techniques minimales 7

NATURE DU PROJET

1.1 Objet :

Ce projet a pour objet l'acquisition de DEUX (2) machines de type électromécaniques, permettant de réaliser des essais de caractérisation mécaniques des matériaux et structure de type traction, compression, flexion et tout autre essai de ce type pratiqué dans les laboratoires d'essai via l'acquisition et l'adaptation d'outillage dédiés.

La première machine proposée (machine 1) de type machine de table doit avoir une capacité d'au moins 50 kN dans les deux sens de sollicitation (traction & compression) et permettre de tester divers types de matériaux et structures (métalliques, polymère et composites …) au moyen d'essai de traction.

La seconde machine proposée (machine 2) est de type sol et doit offrir une capacité d'au moins 100kN. Des outillages adaptés de type mors autoserrants pour chacune des machines sont inclus dans l'offre. Ces équipements sont destinés à être utilisés dans le cadre des travaux pratiques et des projets de recherche conduits au centre d'essais de l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme de l'ENSTA – IP Paris.

Les deux machines sans être nécessairement identiques devront permettre l'interchangeabilité de tout ou partie des outillages, accessoires et options proposées.

1.2 Contexte :

1.2.1 L'ENSTA

Parmi les toutes meilleures Ecoles d'ingénieur de France, l'Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées (ENSTA), membre de l'Institut Polytechnique de Paris, est présente sur le campus de Paris-Saclay à Palaiseau ainsi que dans l'écosystème du Grand Ouest par son campus de Brest. Elle combine ainsi leurs forces et expertises, en formation et en recherche, pour relever les défis stratégiques de souveraineté dans un monde en quête de transformation et d'adaptation aux grands défis sociétaux : énergies durables, transports et mobilités, défense et sécurité, numérique, maritime, spatial, santé…

L'ENSTA Campus de Brest forme des ingénieurs civils et militaires capables d'assurer, dans un environnement international, la conception et la réalisation de systèmes industriels complexes à dominante électronique, informatique, mécanique, hydrographique ou pyrotechnique.

1.2.2 Le service « prescripteur »

Masmeca est une plate-forme technologique regroupant les moyens d'essais, d'analyse et de mesure à l'ENSTA - campus de Brest, permettant la caractérisation avancée des matériaux et des structures. Elle est adossée à l'Institut de recherche Dupuy De Lôme, une Unité Mixte de Recherche CNRS. L'IRDL est le laboratoire référent des systèmes mécaniques en Europe liées à l'ingénierie des matériaux et des systèmes utilisés dans les secteurs industriels liés à l'automobile, le génie civil, l'énergie, l'aéronautique, la santé, aux transports et plus particulièrement tous les domaines en interaction dynamique avec le milieu marin, telles que la construction navale et offshore, les énergies marines.

2 NORMES APPLICABLES

Tous les matériels, objets de la consultation, doivent être neufs et conformes aux normes CE applicables en France et relatives à la conception et la sécurité de ce type d'équipement.

3 RESUME DES PRESTATIONS DEMANDEES

Dans sa proposition financière, le fournisseur devra décrire et chiffrer, pour les deux machines, la prestation à réaliser qui comprendra au minimum la fourniture et l'installation des éléments contractuels suivants (à dupliquer pour chacune des deux machines, sauf mention contraire) :

- Une machine d'essais électromécanique, permettant de solliciter des éprouvettes sous un chargement monotone (rampe), répété quasi-statique (charge-décharge), sous chargement stabilisé en effort ou déplacement, ou prescrit par des cycles de chargement complexes combinaison de ceux précédemment cités. Chaque machine, équipée d'une cellule d'effort et d'un capteur de déplacement/course traverse, devant permettre d'appliquer un effort d'au moins 50 kN pour la première et au moins 100kN pour la seconde. Les caractéristiques du moteur électrique et du système de transmission doivent être précisées ;
- Un jeu de mâchoires de capacité équivalente à la capacité maximale de la machine et deux jeux de mordache interchangeable dont un pour éprouvettes plates l'autre pour éprouvettes cylindriques ;
- Un système de pilotage, d'acquisition et de traitement de données (connectique, ordinateur et logiciel) par machine. Un manuel d'utilisation du logiciel doit être fourni éventuellement sous format informatique et l'encodage des données doit être précisé ;
- Un module d'acquisition de données et entrées/sorties analogiques +/- 10V et encodage en 16 bits ainsi que des entrées / sorties logiques par machine (nombre de voies à préciser (E/S Analogique minimum 2, TTL minimum 1)) ;
- Une voie de mesure asservissable analogique pour mesure jauge, extensomètre à jauge ou tout autre capteur externe pouvant nécessiter alimentation et conditionnement ad-hoc ;
- La livraison et l'installation des deux machines ;
- La vérification métrologique COFRAC à l'installation, pour chaque machine ;
- La formation des utilisateurs (2 à 3 personnes), pouvant être mutualisée pour les deux machines si elles sont identiques ;
- Une documentation technique de chaque machine (moteur, bâti et transmission, module de commande et d'acquisition) et des capteurs intégrés (force et déplacement) ;
- Des portes de protection avec asservissement de sécurité (interruption du mouvement de la traverse à l'ouverture), conformes à la directive Machines 2006/42/CE, sur chacune des deux machines.
- Des Plateaux/tables rainurés permettant l'adaptation de montages d'essais spécifiques en plus des outillages standards ;
- Des Cellules de force de 1kN pour machine 1 et de 10kN pour machine 2 et interface machine correspondant ;
- Un extensomètre vidéo (sans contact).

Prestations supplémentaires éventuelles : indépendamment de l'offre de base, le candidat est invité à faire figurer en option, chiffrées séparément dans l'acte d'engagement toute prestation ou accessoire susceptible d'accroître la polyvalence du parc. Il sera précisé si les accessoires sont spécifiques à chaque machine ou interchangeable. Les options demandées comprennent :

- Une liste d'outillages standards pour essais de compression (plateaux fixe et sur rotule blocable), essais de flexion trois point à portée réglable, des jeux de mordache supplémentaires
- Un extensomètre axial à contact de classe 0.5 (selon ISO 9513), à longueur entre repères réglable (25mm et 50mm) et course de mesure -5mm à +10mm ; incluant les connectiques et cartes nécessaires
- Des modules de conditionnement de jauges d'extensométrie

Le candidat devra pour chaque machine proposée :

- Préciser les classes de précision des capteurs proposés (capteur d'effort, capteur de déplacement) ;
- Préciser la résolution de l'entraînement de la traverse ;
- Préciser la déviation de vitesse d'essai réglée en pourcentage de la vitesse maximum réglée ;
- Préciser la plage de vitesses d'essais possible (vitesse maximale et vitesse minimale), y compris à force maximale ;
- Préciser la vitesse de retour traverse ;
- Préciser la puissance du moteur ;
- Préciser la capacité et la rigidité propre du bâti de la machine, une valeur minimale de ≈100kN/mm est préconisée ;
- Préciser le type et le principe de la transmission mécanique ;
- Préciser la course maximale de la traverse (en mm ; la course minimale demandée est 1 000 mm pour la machine 1 et 1300mm pour la machine 2) ;
- Préciser les dimensions de l'espace d'essais en termes de hauteur et de largeur ;
- Préciser les dimensions hors tout de l'espace atelier nécessaire pour l'installation confortable du moyen
- Préciser les caractéristiques des capteurs et des voies d'acquisition ;
- Préciser le nombre et le type des voies de mesures (entrée/sortie) disponibles et leur nature asservissable ou non ;
- Préciser la fréquence maximale d'acquisition des données (une valeur minimale de 100 Hz est demandée) ;
- Préciser la fréquence de la boucle d'asservissement
- Préciser le délai de livraison à la commande pour l'ensemble du lot des deux machines ;
- Préciser la durée de garantie ;
- Préciser la durée pendant laquelle la disponibilité des pièces détachées est garantie, y compris après l'arrêt de commercialisation du modèle ;
- Préciser l'alimentation électrique de chaque machine et la puissance électrique nécessaire à son bon fonctionnement ;
- Donner des indications permettant d'apprécier les finitions proposées vis-à-vis des visuels « non contractuels », protection des guidages et capotages, passes câble.

Les tolérances et seuils sur les valeurs numériques indiquées seront précisées si pertinent pour l'évaluation de la proposition.

4 DESCRIPTION DES SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Les deux machines d'essais doivent répondre aux exigences techniques suivantes (exigences identiques pour les deux unités) :

4.1 Réalisation des essais

Des données d'essai de traction obtenus sur moyen d'essai identique ou équivalent à celui proposé dans le cadre de ce marché pourront être jointes au dossier technique pour illustrer les performances mécaniques du système. Des éprouvettes pour essai de traction (cf. haltères) en acier, aluminium ou polymère pourront être fournies par ENSTA à cet effet à défaut d'éprouvette utilisées par le client pour la démonstration dont la nature sera alors précisée.

Ces essais seront réalisés sous air et à température ambiante. La production de ces résultats sur une unique machine représentative de celles faisant l'objet du marché suffit. Le test type proposé ci-dessous peut être complété par tout résultats supplémentaires permettant d'attester et illustrer des performances mécaniques du moyen en termes de rigidité, précision, vitesse et respect des consignes d'asservissement. Les données expérimentales fournies comprendront une description des consignes de commande données au moyen ainsi que les mesures réalisées durant le test sous forme d'évolution en fonction du temps d'essai sur les capteurs de course traverse et de force ainsi que les mesures fournies par extensomètre additionnel fixé à l'éprouvette testée. La charge maximale de qualification proposée est de 90 % de la capacité maximale de la machine. Le matériau de(s) éprouvette(s) utilisée(s) pour réaliser ces essais doit être un acier, un alliage d'aluminium ou un polymère. Le fournisseur doit préciser le matériau choisi et identifier son module d'Young et sa limite d'élasticité à partir des essais réalisés. Un essai typique est proposé ci-après.

Essai de traction sur éprouvette haltère jusqu'à 90 % de la capacité

Objectif : Vérifier le comportement mécanique global du dispositif sous une charge élevée, proche de sa capacité maximale, et contrôler l'absence de comportement anormal, de jeu ou de déformation permanente.

Conditions d'essai

Installer une éprouvette haltère métallique ou un autre matériau dont la résistance permet d'atteindre 90% de la capacité machine sans rupture prématurée. Effectuer un chargement progressif jusqu'à 90% de la capacité de charge de la machine à faible vitesse, typiquement 0,5 à 1 mm/min. Prévoir des paliers intermédiaires, par exemple à 10%, 30%, 60%, et 90% de la charge maximale. Maintenir chaque palier pendant 30 à 60 s afin d'observer une éventuelle dérive. Réaliser, si possible, un cycle de déchargement puis un second chargement afin d'évaluer la répétabilité.

Grandeurs mesurées

Force mesurée par la cellule de charge F.

Déplacement de la traverse.

Déformation ou allongement de l'éprouvette mesuré par un extensomètre indépendant.

Critères d'analyse

Absence de comportement instable ou de jeu mécanique.

Réponse force–déplacement régulière et répétable.

Absence de dérive excessive lors des paliers de charge.

Absence de déformation permanente détectable du dispositif après retour à zéro.

Cohérence entre la charge appliquée et la déformation mesurée sur l'éprouvette.

Des données d'essai supplémentaires pourront être proposées en appui pour qualifier les rigidités annoncées du dispositif, ainsi que les respects des consignes en asservissement (force et / ou déplacement traverse) notamment dans les régimes proches des limites de capacités machine (faible ou forte charge, faible ou forte consigne en vitesse de déplacement).

4.2 Contrôle commande

- Préciser le schéma du contrôle commande et la fréquence d'échantillonnage de la boucle d'asservissement, indiquer les conditions de réglage et modes de pilotage de la boucle d'asservissement ;
- Préciser les modes de pilotage de la machine et décrire les possibilités de programmation des méthodes d'essais (toute option facilitant la programmation sera appréciée).

La fréquence de rafraîchissement de la boucle d'asservissement en boucle fermée devra être supérieure ou égale à 1KHz. L'acquisition de données devra permettre un enregistrement synchrone >100Hz sur toutes les voies analogiques en simultané.

Le contrôleur doit disposer éventuellement en option à chiffrer d'un signal de déclenchement (Trigger numérique TTL entrée/sortie) programmable afin de permettre la synchronisation temporelle exacte avec des systèmes d'instrumentation externes. Les conditions de programmation (cadence fixe, sur événements …) et d'activation (depuis l'interface, depuis la console …) de ce déclenchement devront être précisées, la modularité de cette fonction est importante en particulier lors de la mise en place d'essais suivant des trajets complexes.

Le fournisseur doit préciser les caractéristiques du contrôleur et de l'ordinateur. Le logiciel de pilotage doit permettre la programmation d'essais suivant des cycles dont la complexité pourra être appréciée, l'affichage en temps réel des données pertinentes en cours d'essais et l'export sous forme de fichiers texte (ou équivalent) afin d'en réaliser l'analyse. Toute fonctionnalité supplémentaire notamment permettant à un opérateur d'interagir en cours d'essai (mise à jour de consignes, déclenchement, réaction sur événement …) sera appréciée et prise en compte dans la notation. La possibilité d'éditer et personnaliser l'interface d'essai est un exemple de fonctionnalité utile. La possibilité de conduire des essais avec un pilotage manuel et de pouvoir modifier les paramètres d'essai en cours d'exécution est également une fonctionnalité recherchée.

Chaque machine doit pouvoir permettre ultérieurement l'intégration d'une enceinte thermique, de corrosion ou une cellule climatique afin de réaliser des essais en environnement contrôlé. Le fournisseur précisera si ces configurations seraient possibles et justifiera le cas échéant la solution technique permettant de réaliser ce type d'essais. La proposition d'espaces d'essai larges sera dès lors appréciée. L'acquisition d'une enceinte thermique ou climatique ne fait pas l'objet de cette consultation ; leur chiffrage n'est pas demandé et ne sera pas pris en compte dans la notation.

Le candidat peut proposer une démonstration pour illustrer les capacités et les fonctionnalités des deux machines en complément des données d'essai. Afin de permettre l'évaluation du sous-critère « logiciel de pilotage – ergonomie », chaque candidat pourra fournir, avec son offre, tout document illustrant les fonctionnalités (démonstration en vidéo commentée, captures d'écran, notice d'utilisation, accès temporaire à une version de démonstration du logiciel). Ces documents permettront d'appréhender le déroulé complet d'un essai courant (paramétrage, lancement, suivi temps réel, arrêt, export du rapport).

4.3 Livraison et installation de l'équipement

Les opérations de livraison et d'installation des deux machines sont à la charge du titulaire. Des essais fonctionnels de l'installation de chaque machine seront réalisés et des rapports de conformité et métrologiques seront établis.

4.4 Formation et documentation

Le titulaire aura à sa charge la formation des utilisateurs (2 à 3 personnes) à l'issue de l'installation sur site ou à l'occasion d'une pré-réception chez le fournisseur, portant sur la sécurité, le principe de fonctionnement, l'entretien et la maintenance, l'utilisation du logiciel de pilotage et l'étalonnage des capteurs, pour les deux machines. Le titulaire fournira l'ensemble des documents nécessaires à l'installation, à l'exploitation et à la maintenance des équipements, en français et/ou en anglais, en version numérique et en version papier un manuel de prise en main et utilisation minimal.

4.5 Garantie

La garantie de chaque machine devra être de 1 an minimum, à compter de la date de mise en service. À titre indicatif, le fournisseur chiffrera les formules d'extension de garantie. Le fournisseur précisera également la durée pendant laquelle la disponibilité des pièces détachées est garantie.

5 Evaluation des offres techniques

5.1 Exigences techniques minimales

Les exigences minimales listées ci-dessous constituent des sous-critères de la valeur technique et s'appliquent à CHACUNE des deux machines du lot. Toute réponse « NON » pour les exigences minimales listées dans le Tableau 1 rend la proposition non conforme.

Exigences techniques minimales (tableau à remplir par le candidat)
Machine 1 - Bâti d'une capacité minimale de 50 kN
Machine 1 - Cellule d'effort – gamme exigée 50 kN, cellule de force de classe 0,5
Machine 2 - Bâti d'une capacité minimale de 100 kN
Machine 2 - Cellule d'effort – gamme exigée 100 kN, cellule de force de classe 0,5
Capteur de déplacement (résolution < 1µm, précision ±0,05mm) (pour chacune des deux machines)
Machine 1 - Course de la traverse – exigence minimale 1 000 mm
Machine 2 - Course de la traverse – exigence minimale 1 300 mm
Plage de vitesse de déplacement traverse 0.005 à 500 mm/min avec stabilité de ±1% (pour chacune des deux machines)
Système de commande comprenant un contrôleur et un ordinateur (pour chacune des deux machines)
Fréquence d'acquisition de donnée >100Hz (pour chacune des deux machines)
Fréquence de l'actualisation de la boucle d'asservissement supérieure à 1KHz (pour chacune des deux machines)
Voie de mesure analogique pour pilotage sur capteur, jauge, extensomètre, capteur externe (pour chacune des deux machines)
Module d'entrées/sorties analogiques (2 voies minimum) et logiques (minimum 1 voie) (pour chacune des deux machines)
Logiciel de pilotage et de programmation des méthodes d'essais (pour chacune des deux machines)
Stockage, visualisation et exportation des résultats d'essais (pour chacune des deux machines)
Mâchoires de serrage d'éprouvettes plate avec mors appropriés compatibles des capacités machine (pour chacune des deux machines)
Présence de plateaux rainurés (pour chacune des deux machines)
Fourniture extensomètre vidéo (sur une machine)
Portes de protection asservies (interruption du mouvement à l'ouverture) sur chaque machine, conformes à la directive Machines 2006/42/CE (pour chacune des deux machines)

Tableau 1 : exigences techniques minimales retenues