

# Marché n°2025-016 MAR

## Cahier des clauses techniques particulières

### Lot 1 : Achat d'une machine d'essais de fatigue servohydraulique

#### 1. Nature du projet

Ce projet a pour objet de permettre la consultation des entreprises susceptibles de fournir une machine d'essais servohydraulique permettant de réaliser des essais de traction et de compression. La machine objet de ce projet doit avoir une capacité maximale de 100kN et doit permettre d'obtenir les propriétés mécaniques des matériaux métalliques et composites. Cet équipement est destiné à être utilisé dans le cadre des travaux pratiques et des projets de recherche conduits au sein du département génie mécanique de l'IUT de BREST MORLAIX.

#### 2. Normes applicables

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

#### 3. Résumé des prestations demandées

Le candidat devra détailler les éléments suivants dans son offre :

- Décrire et chiffrer la prestation à réaliser qui comprendra au minimum la fourniture et l'installation des éléments contractuels suivants :
  - Une machine d'essais servohydraulique permettant de solliciter des éprouvettes sous un chargement monotone (rampe) ou cyclique (charge-décharge). La machine, équipée d'une cellule d'effort et d'un capteur de déplacement, doit permettre d'appliquer un effort maximal de 100kN. Les caractéristiques du moteur électrique et du système de transmission doivent être précisées ;
  - Un jeu de mâchoires de capacité de 100kN avec deux jeux de mordaches interchangeables (un jeu de mors plats 0-8mm et un jeu de mors en V diamètre 25mm) ;
  - Un système de pilotage, d'acquisition et de traitement de données (connectique, ordinateur et logiciel). Un manuel d'utilisation du logiciel doit être fourni et l'encodage des données doit être précisé ;
  - Un module d'acquisition de données avec des entrées/sortie analogique +/- 10V et encodage en 16 bits ;
  - La livraison et l'installation de la machine ;
  - La vérification métrologique COFRAC à l'installation ;
  - La formation des utilisateurs (5 personnes) ;
  - Une documentation technique de la machine (bâti, vérin et groupe hydraulique, module de commande et d'acquisition) et des capteurs intégrés (force et déplacement) ;
- Préciser la résolution du capteur d'effort (la classe du capteur d'effort le cas échéant) et la résolution du capteur de déplacement ;
- 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 capacité et la rigidité du bâti de la machine ;
- Préciser la course maximale du vérin (en mm, la valeur minimale demandée est 150mm) ;
- Préciser les dimensions de l'espace d'essais en termes de hauteur (hauteur de 1200mm mini attendue) et de largeur ;
- Préciser les caractéristiques des capteurs et des voies d'acquisition ;
- Préciser le nombre et le type des voies de mesures (entrée/sortie) disponibles ;
- Préciser la fréquence maximale d'acquisition des données (une valeur minimale de 20Hz est demandée) ;
- Préciser le délai de livraison à la commande dans le respect du délai maximal de 6 mois à compter de la notification du marché ;
- Préciser le contenu et conditions de la garantie proposée ;

- Préciser l'alimentation électrique de la machine et la puissance électrique nécessaire pour son bon fonctionnement ;
- Préciser le niveau du bruit généré par la machine en décibels (dB) et garantir le respect des normes en vigueur.
- Les tableaux 3 et 4 ci-dessous qui constituent le cadre de réponse technique, doivent être complétés et joints à l'offre des candidats.

#### **4. Description des spécifications techniques**

La machine d'essais doit répondre aux exigences techniques suivantes :

##### *4.1. Réalisation des essais*

1. Appliquer un chargement monotone jusqu'à rupture des éprouvettes sur des matériaux métalliques et des matériaux composites ;
2. Appliquer des rampes et permettre le maintien du chargement en effort ou en déplacement. La machine doit permettre de switcher entre les différents modes de pilotage au cours de la même méthode d'essais. Des essais de faisabilité sont décrits dans la section 4.3 ;
3. Réaliser des essais de charge-décharge avec la possibilité de pilotage en effort et en déplacement et la possibilité de changer la consigne entre les différentes étapes ;
4. Réaliser des essais de fatigue avec des rapports de contraintes positifs et négatifs à une fréquence imposée.

##### *4.2. Contrôle commande*

5. Préciser le schéma du contrôle commande et la fréquence d'échantillonnage de la boucle d'asservissement ;
6. Préciser les modes de pilotage de la machine et décrire les possibilités de programmation des méthodes d'essais ;

Le fournisseur doit préciser les caractéristiques du contrôleur et de l'ordinateur. Le logiciel de pilotage doit permettre la programmation d'essais, l'affichage en temps réels 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 sera appréciée et prise en compte dans la notation.

La machine pourra être utilisée pour réaliser des essais dans un environnement contrôlé (en température, corrosion...). La machine doit permettre l'intégration d'une enceinte thermique ou une enceinte de corrosion et un extensomètre à bras. Le fournisseur précisera si ces configurations seraient possibles et justifiera le cas échéant la solution technique permettant de réaliser ce type d'essais. L'acquisition d'une enceinte thermique ou de corrosion ou l'extensomètre à bras ne fait pas l'objet de cette consultation. Leur chiffrage n'est pas demandé et ne sera pas pris en compte dans la notation.

Toute caractéristique technique significativement meilleure sera appréciée et prise en compte dans la notation.

##### *4.3. Essais de faisabilité*

Le fournisseur devra livrer les résultats des essais, à température ambiante, qui seront réalisés sur une machine identique à la machine proposée dans le cadre de ce marché, en respectant le protocole expérimental décrit ci-après. Le matériau de(s) éprouvette(s) utilisée(s) pour réaliser ces essais doit être un acier ou un alliage d'aluminium. Le fournisseur doit préciser le matériau choisi et identifier son module d'Young et sa limite d'élasticité à partir des essais réalisés.

Cinq types d'essai sont requis pour cette partie. Chaque essai sera réalisé sur une éprouvette métallique (acier ou aluminium) et une éprouvette polymère.

- Un essai de traction monotone à rupture avec un contrôle en effort
- Un essai de traction monotone à rupture avec un contrôle en vitesse de déformation
- Un essai de maintien en effort
- Un essai de fatigue

Le fournisseur doit préciser si la méthode d'essai permet de programmer les différentes séquences du chargement d'une manière automatique. La fréquence d'acquisition des données sera ajustée en fonction du type d'essai et de la vitesse de chargement.

### Condition d'essais :

#### 4.3.1 Essais de traction monotone à rupture avec un contrôle en effort

Deux essais de traction monotone seront réalisés sur une éprouvette métallique et une éprouvette polymère. La vitesse de charge appliquée sera équivalente à 50% de la vitesse de traverse maximale indiquée. Les données seront enregistrées du début à la fin des essais. Le critère d'arrêt, s'il est imposé, sera précisé.

#### 4.3.2 Essais de traction monotone à rupture avec un contrôle en vitesse de déformation

Deux essais de traction monotone seront réalisés sur une éprouvette métallique et une éprouvette polymère. La vitesse de déformation appliquée sera équivalente à 50% de la vitesse de traverse maximale indiquée. Les données seront enregistrées du début à la fin des essais. Le critère d'arrêt, s'il est imposé, sera précisé.

#### 4.3.3 Essais de maintien en effort

Les paliers de maintien en effort sont illustrés sur la Figure 1. Les efforts F1, F2 et F3 seront adaptés en fonction de l'éprouvette utilisée et doivent représenter respectivement : 2%, 30% et 75% de la charge maximale à rupture.

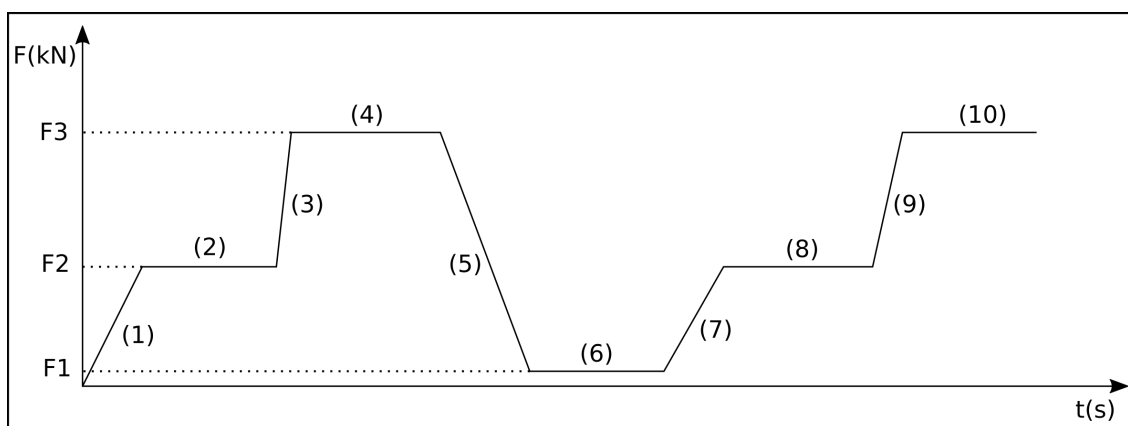


Figure 1 : séquence de chargement- essais de maintien en effort

Les consignes d'essai appliquées pour chaque étape de chargement sont récapitulées dans le Tableau 1. Deux essais seront réalisés sur une éprouvette métallique et une éprouvette polymère.

N° étape d'essai	Consigne	Valeur de la consigne	Durée d'étape
1	Vitesse traverse	50% de la vitesse max indiquée	Rampe
2	Maintien à F2	F2	15 minutes
3	Vitesse traverse	90% de la vitesse max indiquée	Rampe
4	Maintien à F3	F3	15 minutes
5	Effort	-	3 secondes
6	Maintien à F1	F1	15 minutes
7	Vitesse de déformation (extensomètre)	Equivalente à 50% de la vitesse max traverse indiquée	Rampe
8	Maintien en déformation (extensomètre)	F2	15 minutes
9	Vitesse de déformation (extensomètre)	Equivalente à 90% de la vitesse max traverse indiquée	Rampe
10	Maintien en déformation (extensomètre)	F3	15 minutes

Tableau 1 : consigne d'essais de maintien

#### 4.3.4 Essais de fatigue à grand nombre de cycles

Deux essais de fatigue en traction avec ratio de charge  $R=0,1$  et à fréquence maximum seront réalisés sur une éprouvette métallique et une éprouvette polymère. Les données seront enregistrées du début à la fin des essais. Le critère d'arrêt, s'il est imposé, sera précisé.

##### Les résultats attendus :

Pour l'ensemble des essais réalisés, le fournisseur devra livrer un rapport contenant les résultats obtenus et les données brutes issues des essais demandés, sous forme de fichier texte (.txt), Excel (.xlsx) ou format équivalent. Pour l'ensemble des essais demandés, les données suivantes doivent être fournies :

- a) Le temps
- b) L'effort
- c) Le déplacement
- d) La déformation mesurée par un extensomètre

L'enregistrement des données doit être réalisé pendant toutes les séquences de chargement à une fréquence appropriée.

Le rapport d'essai doit contenir au minimum les figures représentant les temporels de l'effort, du déplacement et de la déformation. Pour chacun des signaux enregistrés, une figure sera fournie.

Le fournisseur doit préciser la géométrie et les matériaux des éprouvettes utilisées pour réaliser les essais. Sur demande du fournisseur, l'IUT de Brest pourra fournir les échantillons nécessaires à la réalisation des différents essais. Les échantillons seront à restituer à la fin des essais et le fournisseur s'engage à ne pas utiliser les résultats pour aucune autre fin en dehors du cadre de cette consultation.

Les résultats des essais de faisabilité seront évalués et compteront pour 10% de la note finale. L'évaluation portera notamment sur la stabilité de la consigne lors des paliers de maintien et la réaction de la machine à haute vitesse et le respect des consignes d'essais.

#### 4.4. Livraison et installation de l'équipement

- Les opérations de livraison et d'installation de l'équipement sont à la charge du titulaire.
- Il est demandé au titulaire que la livraison et le positionnement soient en adéquation avec les locaux et l'utilisation de la machine.
- La livraison et l'installation peuvent être sous-traités à une société de manutention locale.
- La fourniture et l'installation du poste informatique ainsi que des logiciels informatiques de pilotage associés
- Des essais fonctionnels de l'installation de la machine seront réalisés.
- Compte tenu de la spécificité et configuration des lieux, une visite sur site sera obligatoire. À l'issue de cette visite, une attestation de visite sera remise et devra être jointe à la proposition.
- **Lieu de livraison : IUT de Brest, Département GMP, Bâtiment D, Rue de Kergoat, 29200 BREST**

#### 4.5. Formation et documentation

Le titulaire aura à sa charge la formation d'utilisateurs (au maximum 5 personnes) à l'issue de la réception sur le site. Cette formation portera sur :

- la sécurité
- le principe de fonctionnement
- l'entretien et la maintenance ;
- l'utilisation du logiciel de pilotage ;
- l'étalonnage des capteurs

Le titulaire fournira l'ensemble des documents nécessaires à l'installation, à l'exploitation et à la maintenance de l'équipement objet du présent document, en français et/ou en anglais, sur papier et en version numérique.

#### 4.6. Garantie

La garantie du matériel devra être de 1 an minimum, à compter de la date de mise en service de celui-ci. A titre indicatif le fournisseur chiffrera les formules d'extension de la garantie au titre d'une prestation supplémentaire éventuelle dans le DPGF. L'extension de la garantie ne sera pas prise en compte dans la notation.

#### 4.7. Date d'acquisition

**Le délai d'exécution est fixé à 6 mois maximum à compter de la notification du marché** (Livraison, installation, mise en service sur le site, formation et jusqu'à la réception définitive prononcée par le pouvoir adjudicateur).

**L'attention des candidats est attirée sur le fait que, dans cette durée globale d'exécution, est intégrée 1 semaine réservée par le pouvoir adjudicateur** après la mise en service et la formation, pour conduire des essais mécaniques sur la machine, les valider puis prononcer l'admission définitive (signature du Procès-Verbal de réception définitive).

### 5. Evaluation des offres techniques

#### 5.1. Exigences techniques minimales

Les exigences minimales listées ci-dessous constituent des sous-critères de la valeur technique.

Toute réponse « NON » pour les exigences minimales listées dans le Tableau 3 rend la proposition **non conforme**.

Exigences techniques minimales, (Tableau à remplir)	OUI	NON
Bâti d'une capacité minimale de 100kN		
Vérin hydraulique de capacité minimale de 100kN permettant de solliciter des éprouvettes en fatigue à au moins 40Hz		
Course max du vérin en dynamique Exigence minimale 150 mm		
Cellule d'effort Gamme exigée 100kN		
Capteur de déplacement		
Espace de travail Exigence minimale 1200 mm		
Groupe hydraulique pouvant être installé dans un autre local que la machine d'essai		
Système de commande comprenant un contrôleur et un ordinateur		
Voies d'acquisition entrée pour extensomètre		
Logiciel de pilotage et de programmation des méthodes d'essais		
Stockage, visualisation et exportation des résultats d'essais		
Mâchoires de serrage d'éprouvettes plate et cylindrique avec mors appropriés		

Tableau 2 : les exigences techniques minimales retenues

## 5.2. Caractéristiques techniques complémentaires

Les caractéristiques techniques listées dans le Tableau 4 constituent des sous-critères de la note technique. Les réponses en fonction des caractéristiques du/des produit(s) proposé(s) feront l'objet d'une notation dont la pondération est indiquée dans le Tableau 4 :

Caractéristiques complémentaires servant à la notation (Tableau à remplir)	Valeur (OUI/NON le cas échéant)	Pondération
Résolution du capteur d'effort**		10%
Amplitude maximale de déplacement sinusoïdal du vérin à 20Hz**		5%
Espace de travail max * Valeur minimale 1200 mm		8%
Vitesse maximale du vérin **		7%
Fréquence du vérin lors d'essais de fatigue**		8%
Fréquence d'acquisition : * Valeur minimale 20 Hz		5%
Voies d'acquisition entrée/sortie analogique +/-10V : * Exigence minimale 2 voies avec encodage 16bits		6%
Nombre de voies d'acquisition entrée type jauge **		4%
Niveau sonore du groupe hydraulique à 1m **		5%
Rigidité maximale du Bâti **		10%
Dimensions de l'espace d'essai (hauteur x largeur) **		8%
Déviation de la consigne de déplacement à 20Hz pour la course maximale du vérin**		10%
Possibilité d'accueillir un extensomètre à Bras ou optique		5%
Possibilité d'accueillir une enceinte thermique		4%
Localisation du SAV		5%

Tableau 3 : caractéristiques complémentaires retenues

\* La notation des caractéristiques techniques tiendra compte de tout écart significatif à la valeur exigée.

\*\* la notation tiendra compte de tout écart à la meilleure offre.

Toute réponse « non » au tableau 4 n'entraîne pas de non-conformité.

**Les tableaux 3 et 4 ci-dessus constituent une pièce de l'offre sous l'intitulé « Cadres de réponse technique Annexe au mémoire technique ».**

## 6. Choix

**Rappel : Les tableaux 3 et 4 doivent être complétés par les candidats et joints au dossier déposé par ces derniers.**

Pour choisir le titulaire du marché, la notation sera définie comme suit :

- Le paragraphe 5.2 permettra d'établir une note technique qui comptera pour **60%** de la note totale ;
- La proposition financière comptera pour **30%** de la note totale ;
- L'évaluation des résultats des essais de faisabilité comptera pour **10%** de la note totale.

Critère	Valeur technique	Prix	Essais de faisabilité	Total
Note	/60	/30	/10	/100