

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES ET PARTICULIÈRES

MARCHÉ PUBLIC DE FOURNITURES COURANTES ET DE SERVICES

**Acquisition, livraison et installation d'une machine
électrodynamique d'essais de fatigue de
traction/torsion avec option extensomètre et banc de
flexion**

Université de Reims Champagne-Ardenne
2 avenue Robert Schuman
51100 Reims

L'ESSENTIEL DE LA PROCÉDURE

	Objet	Acquisition, livraison et installation d'une machine électrodynamique d'essais de fatigue de traction/torsion avec option extensomètre et banc de flexion
	Mode de passation	Appel d'offres ouvert
	Type de contrat	Marché public
	Délai de validité des offres	4 mois
	Forme de groupement	Aucune forme de groupement imposée à l'attributaire. Toutefois, dans le cas où le titulaire serait un groupement conjoint, il devra désigner un mandataire solidaire du groupement, ou bien il devra se reconstituer en groupement solidaire au moment de l'exécution du marché
	Variantes	Sans
	PSE	Sans
	Clauses sociales	Sans
	Clauses environnementales	Sans
	Durée / Délai	Défini par tranche
	Visite sur site	Sans

Acquisition d'une machine électrodynamique d'essais de fatigue de traction/torsion avec option extensomètre et banc de flexion

1. Nature du projet

La présente consultation a pour objet l'acquisition et l'installation d'une machine d'essais mécaniques à actionnement électrique, capable de réaliser des essais de fatigue en sollicitation combinée de traction/torsion, notamment sur des matériaux composites. Le choix d'un actionnement entièrement électrique a l'avantage d'éliminer le recours à des fluides externes (huile, eau) et de garantir un environnement de laboratoire plus propre, moins bruyant et avec peu de maintenance. Ce choix est motivé par les contraintes d'environnement de travail (nécessité d'avoir un niveau sonore réduit dans une salle dédiée aussi à des enseignements), d'infrastructure (difficulté d'installation d'un groupe de refroidissement) et de coûts d'exploitation, incompatibles avec une solution hydraulique. Du fait de ces contraintes, un équipement présentant un niveau sonore et un dégagement de chaleur le plus faible possible en cours de son utilisation prolongée (essais de fatigue) sera donc visé car il aura l'avantage également de ne pas nécessiter de travaux annexes pour son fonctionnement (comme la mise en place d'une ventilation spécifique ou climatisation) ni de coûts d'exploitation supplémentaires associés.

Cet équipement objet de ce projet doit avoir des capacités dynamiques minimales de 10kN en traction/compression et ± 100 Nm en torsion. Il a pour vocation de répondre aux exigences liées à la caractérisation mécanique des matériaux composites, en particulier des composites biosourcés, dans le cadre des activités de recherche menées au sein de l'ITheMM. A noter qu'il pourra être utilisé à des fins pédagogiques, en appui notamment aux formations proposées par le département Génie Mécanique et Productique de l'IUT de Troyes (BUT GMP et Licences Professionnelles).

La machine et ses appareillages complémentaires devront permettre :

- La réalisation des essais non combinés (traction ou compression, torsion, flexion) et combinés en traction/torsion ;
- L'asservissement des essais en charge, déplacement de traverse ou déformation ;
- La mesure fiable de la déformation en cours d'essai ;
- L'acquisition et le traitement des données.

2. Normes applicables

L'ensemble des fournitures objets de la consultation doit répondre aux normes françaises et européennes (normes CE).

La machine doit respecter la réglementation européenne et la réglementation française en vigueur à la date de livraison de la machine et donc être conforme en tous points aux articles du Code du Travail.

Un certificat de conformité établi par les soins d'une société agréée en attestera et devra être joint.

3. Résumé des prestations demandées

Cette machine viendra compléter les équipements existants dans le laboratoire dédié aux matériaux et sera de facto localisée en salle D011 du bâtiment D de l'IUT de Troyes, cette localisation imposant des contraintes de dimensions maximales de la machine.

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 de fatigue électrodynamique (à actionnement électrique) permettant de solliciter en traction/torsion des éprouvettes sous un chargement monotone (rampe) ou cyclique (charge-décharge). La machine, équipée de cellule de charge biaxiale (force et couple) et dotée d'un système intégré de mesure de déplacement (axial, angulaire), doit permettre d'appliquer un chargement avec une capacité dynamique minimale de 10 kN en traction/compression et ± 100 Nm en torsion. Les actionneurs linéaire et rotatif sont découplés, assurés par des moteurs linéaires à entraînement direct ou technologies équivalentes permettant d'atteindre les exigences demandées, avec un faible niveau de maintenance. Ce système d'essai est prévu pour une installation au sol avec un bâti vertical robuste et rigide et une traverse réglable en hauteur. Un système électrique de levage/abaissement de la traverse est intégré et couplé à un verrouillage de sécurité lors des essais. La machine doit intégrer un dispositif capable d'interrompre instantanément le déplacement dès la perte d'alimentation ou l'activation d'un arrêt d'urgence. Le niveau de bruit maximum est inférieur à 80 dB à 1 m de distance de la machine. La machine doit être accessible dans la salle d'essais D011 (hauteur de 2800 mm) par une porte de 1590 mm de large et une hauteur de 2200 mm. Les caractéristiques du moteur électrique et du système de transmission doivent être précisées ;
 - Des mors de fatigue compatibles avec la capacité de la machine avec plusieurs jeux de mordaches interchangeables (un jeu pour éprouvette plate d'épaisseur jusqu'à 6 mm au minimum et un jeu pour éprouvette cylindrique en V_é de diamètre 10 mm minimum) ;
 - Un système de pilotage, d'acquisition et de traitement de données (connectique, ordinateur et logiciel) ;
 - Un module d'acquisition de données avec des entrées/sorties analogiques +/- 10V et encodage en 16 bits minimum ;
 - La livraison, l'installation et la mise en service de la machine ;
 - La garantie de la machine ;

- La vérification / étalonnage métrologique certifiée de l'installation, notamment les cellules de charge (force, couple) et de déplacement (axial, angulaire) ;
- Le service d'assistance, la formation des utilisateurs (3 à 5 personnes) et une documentation technique de la machine et des capteurs intégrés.
- Préciser les éléments suivants :
 - La précision de la mesure du chargement, force et couple, conforme aux normes en vigueur ($\pm 0,5$ % de la valeur de mesure entre 1% et 100% de la capacité du capteur ou classe du capteur le cas échéant) ;
 - La précision de la mesure du déplacement, axial et angulaire, conforme aux normes en vigueur ;
 - La plage de vitesses d'essais possible (vitesse maximale et vitesse minimale) y compris à force maximale ;
 - Le nombre maximal de tours par minute (en tr/min) ;
 - La course maximale du vérin (en mm) ;
 - La vitesse maximale du vérin ;
 - La fréquence maximale du vérin ;
 - Le niveau de bruit généré par la machine en décibels (valeurs minimum et maximum à 1 m de distance de la machine en dB) ;
 - Les dimensions de l'espace utile d'essais en termes de hauteur (en mm, 700 mm minimum) et de largeur (en mm, 450 mm minimum), en tenant compte de la hauteur maximale de la machine dans la salle (2800 mm) ;
 - Le nombre et le type des voies de mesures (entrée/sortie) disponibles ;
 - La fréquence maximale d'acquisition des données simultanément sur tous les canaux (en kHz) ;
 - La fréquence d'enregistrement interne la plus élevée possible (en kHz) ;
 - Le transfert d'énergie maximal de la machine vers l'environnement de travail (salle de TP) (en kW) ;
 - Le cas échéant, le type de refroidissement nécessaire au fonctionnement de la machine et les caractéristiques associées pour estimer son coût de fonctionnement (consommation électrique, débit d'air, maintenance...) ;
 - Le délai de livraison à la commande dans le respect du délai maximal de 4 mois à compter de la notification du marché ;
 - Le contenu et conditions de la garantie proposée ;
 - L'alimentation électrique de la machine et la puissance électrique nécessaire pour son bon fonctionnement.

Les tableaux 1 et 2 définis dans l'offre permettent de synthétiser les réponses, notamment de la partie technique. Ils 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 de traction/torsion

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 force / couple ou en déplacement axial / angulaire. La machine doit permettre de changer la consigne entre les différents modes de pilotage au cours de la même méthode d'essais. Des essais de faisabilité sont décrits dans la section 4.2 ;
3. Réaliser des essais de charge-décharge avec la possibilité de pilotage en force / couple et en déplacement axial / angulaire 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. Essais de faisabilité

Le fournisseur devra livrer les résultats des essais, qui seront réalisés à température ambiante sur une machine identique à la machine proposée dans le cadre de ce marché, en respectant le protocole expérimental décrit ci-après. Si l'ensemble des résultats des essais demandés n'est pas fourni, la proposition du candidat sera de facto jugée non conforme.

Le matériau de(s) éprouvette(s) utilisée(s) pour réaliser ces essais doit être un acier ou un alliage d'aluminium pour l'éprouvette métallique et un polymère pour l'éprouvette polymère. 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 maintien en effort
- Un essai de maintien en couple
- Un essai de fatigue en traction
- Un essai de fatigue en torsion
- Un essai de fatigue en traction/torsion

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 :

- Essais de maintien en effort

Les paliers de maintien en effort sont illustrés sur la Figure 1. Les efforts F_1 , F_2 et F_3 seront adaptés en fonction de l'éprouvette utilisée et doivent représenter respectivement : 2%, 25% et 70% de la charge maximale à rupture.

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

N° étape de l'essai	Consigne	Valeur de la consigne	Durée de l'étape
1	Vitesse de déformation (extensomètre)	Equivalente à 40% de la vitesse maximale de la traverse indiquée	Rampe (Fin quand la force atteint F_2)
2	Maintien à F_2	F_2	10 minutes
3	Effort	-	3 secondes
4	Vitesse de la traverse	80% de la vitesse maximale de la traverse indiquée	Rampe (Fin quand la force atteint F_3)
5	Maintien en déformation (extensomètre)	F_3	10 minutes

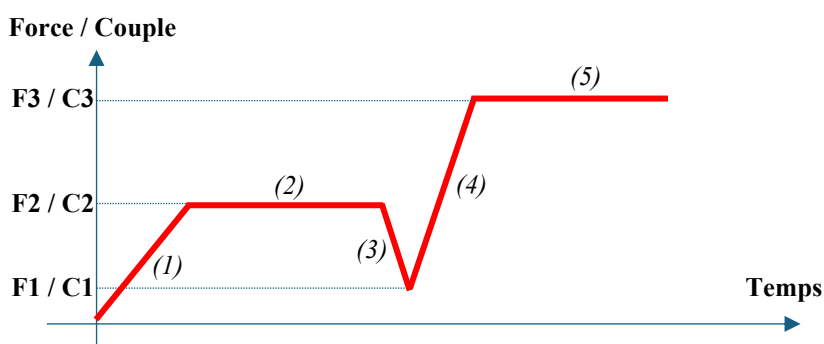


Figure 1 - séquence de chargement, en traction ou en torsion

- Essais de maintien en couple

Les paliers de maintien en couple sont illustrés sur la Figure 1. Les couples C_1 , C_2 et C_3 seront adaptés en fonction de l'éprouvette utilisée, avec C_1 et C_2 tels que : $C_1 = 2\% C_3$, $C_2 = 50\% C_3$.

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

N° étape de l'essai	Consigne	Valeur de la consigne	Durée de l'étape
1	Vitesse de déformation (extensomètre)	Equivalente à 40% de la vitesse maximale de la traverse indiquée	Rampe (Fin quand le couple atteint C_2)
2	Maintien à C_2	C_2	10 minutes
3	Couple	-	3 secondes
4	Vitesse de la traverse	80% de la vitesse maximale de la traverse indiquée	Rampe (Fin quand le couple atteint C_3)
5	Maintien en déformation (extensomètre)	C_3	10 minutes

- Essais de fatigue en traction

Deux essais de fatigue en traction avec ratio de charge (CTRL en force) $R=0,1$ et un niveau de chargement $r=0,8$ 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 (arrêt par exemple à 10000 cycles s'il n'y a pas de rupture).

- Essais de fatigue en torsion

Deux essais de fatigue en torsion avec ratio de charge (CTRL en couple) $R=0,1$ et un niveau de chargement $r=0,8$ 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 (arrêt par exemple à 10000 cycles s'il n'y a pas de rupture).

- Essais de fatigue en traction/torsion

Deux essais de fatigue en traction/torsion avec ratio de charge et de couple $R=0,1$ et un niveau de chargement $r=0,8$ 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 (arrêt par exemple à 10000 cycles s'il n'y a pas de rupture).

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.

Les données suivantes doivent être fournies pour chaque essai demandé :

- a) Le temps
- b) L'effort / couple
- c) Le déplacement axial / angulaire
- 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 / couple, du déplacement axial / angulaire 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'ITheMM 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 15% 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. Commande et connectique

1. Préciser le schéma du contrôle commande et la fréquence d'échantillonnage de la boucle d'asservissement. Une réponse dynamique rapide est exigée. Le candidat précisera les performances de la boucle d'asservissement permettant d'atteindre cet objectif. Le réglage de l'asservissement doit être automatique et intuitif. Afin de garantir la stabilité et la reproductibilité des essais, les paramètres appliqués doivent être gérés automatiquement et donc ne doivent pas être modifiés manuellement au cours de l'essai ;
2. Préciser les modes de pilotage de la machine et décrire les possibilités de programmation des méthodes d'essais. La possibilité de faire plusieurs types de rampes - cyclique (sinusoïdal par exemple), palier, combinée, complexe – doit être incluse.

Le fournisseur doit préciser les caractéristiques du contrôleur et de l'ordinateur (qui sera inclus dans l'offre).

Le dispositif de connexion, en lien avec la carte mère de régulation, doit comporter au minimum :

- Deux conditionneurs additionnels permettant l'utilisation d'extensomètres ou de capteurs type LVDT et la régulation/acquisition de signaux ± 10 V (en plus de ceux usuels dédiés aux paramètres principaux, force, couple et déplacement axial et angulaire) ;
- Au moins deux sorties ± 10 V de type BNC pour récupérer la force et le déplacement pour des systèmes externes.

4.5 Logiciel :

Le logiciel convivial et intuitif doit permettre :

- Le pilotage de l'essai ;
- La spécification de l'essai choisie conformément aux normes ISO et ASTM ;
- La programmation d'essais, avec la possibilité de faire plusieurs types de rampes : cyclique (sinusoïdal par exemple), palier, combinée, complexe ;
- L'affichage en temps réels des données pertinentes en cours d'essais et au moins la visualisation simultanée des valeurs des canaux principaux en temps réel (force, couple, déplacements axial et angulaire, extensomètre) ;
- L'acquisition de ses données et leur export sous forme de fichiers texte (ou équivalent) afin d'en réaliser l'analyse.

4.6 Mors et accessoires :

Un jeu de mâchoires spécifiques aux essais de fatigue de traction/torsion (normes ISO et ASTM), adaptés aux matériaux composites et compatibles avec la capacité de la machine est inclus dans l'offre, ainsi que les accessoires suivants :

- Deux jeux de mordaches interchangeables (un jeu pour éprouvette plate d'épaisseur jusqu'à 6 mm au minimum et un jeu pour éprouvette cylindrique en Vø diamètre 10 mm minimum) ;

4.7 Livraison, installation et mise en service :

Les opérations de livraison, d'installation et de mise en service de l'équipement sont à la charge du fournisseur.

- Garantir un délai minimum de livraison, installation et mise en ordre de marche sur le site, à compter de la notification du marché, dans un délai maximum de 4 mois à compter de la notification du marché ;
- Mettre en service la machine, ce qui incombe au fournisseur de réaliser :
 - Transport jusqu'à l'IUT de Troyes, 9 rue de Québec, entrée Atelier du bâtiment D
 - Déchargement puis acheminement jusqu'à la salle D011
 - Installation à l'emplacement prévu/ branchements / réglages

- Définir les moyens humains et techniques prévus pour l'installation.

4.8 Garantie :

- Assurer une garantie de base d'une durée de 1 an : logiciel et matériel (pièces, main d'œuvre, assistance téléphonique et déplacement aller-retour en atelier si nécessaire) ;
- Mettre à jour les versions du logiciel pendant la durée de la garantie.

4.9 Service d'assistance / Formation :

- Disposer d'un service support ou d'assistance propre au fournisseur (sans sous-traitance) au moins pendant la durée de la garantie pour aider à la résolution de problèmes, et répondre à des demandes particulières (par exemple en termes de configurations de méthodes d'essais existantes ou de développement d'essais particuliers) ;
- Fournir à la livraison toute la documentation technique (caractéristiques, schémas, fonctionnement, spécificités...) nécessaire à l'utilisation optimale du matériel livré, à son entretien courant et à la réparation des pannes de 1^{er} niveau sera à fournir, ainsi que les manuels d'utilisation ;
- Former le personnel utilisateur de l'ITheMM et du département GMP (3 à 5 personnes) qui aura lieu sur site au moment de la mise en service du matériel :
 - Formation de base au minimum d'1 jour incluant l'apprentissage de l'utilisation de l'équipement, la maintenance de premier niveau (si nécessaire), la prise en main du ou des logiciels de programmation et de commande machine, le traitement des résultats, les éventuels risques présentés par l'équipement ou les manipulations associées et les précautions à prendre ;
 - Si un support de formation est fourni, il sera rédigé de préférence en français, à défaut en anglais.

4.10 Tranche optionnelle

Une option / prestation complémentaire en lien avec deux accessoires adaptés à la machine d'essais de traction/compression en fatigue est également à étudier :

- Un extensomètre dynamique robuste adapté aux essais de traction/compression en fatigue (déformation axiale de $\pm 25\%$ minimum) ;
- Un dispositif de flexion trois points spécifique aux essais de fatigue, adapté aux matériaux composites et aux capacités de la machine (normes ISO et ASTM), incluant des rouleaux (ajustables) et adaptateurs sur la machine résistants à l'essai de fatigue.

5. Evaluation des offres

Les tableaux 1 et 2 doivent être complétés par les candidats et joints au dossier déposé par ces derniers.