



## CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

### MARCHE PUBLIC DE FOURNITURES COURANTES ET SERVICES

---

**Acquisition d'un banc de caractérisation des  
comportements magnéto-mécanique couplés**

---

N° consultation : A20F007

**Institut polytechnique de Grenoble**  
**DAF / Service Achats**  
46 avenue Félix Viallet  
38031 GRENOBLE

Pour le laboratoire G2Elab

# SOMMAIRE

1. CONTEXTE .....	3
2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES .....	3
▪ LOT 1 BANC PIEZOELECTRIQUE BI-AXIAL HAUTE FREQUENCE.....	3
LOT 2 SYSTEME DE CONTROLE ET D'ACQUISITION TEMPS REEL .....	4
3. ETAPE DE VALIDATION TECHNIQUE .....	6
4. CONDITIONS DE GARANTIE CONTRACTUELLE .....	6
5. LIVRAISON, INSTALLATION ET MISE EN SERVICE .....	7
6. FORMATION DES UTILISATEURS .....	7
7. DOCUMENTATIONS .....	7

# 1. Contexte

Le laboratoire G2Elab possède une expertise reconnue dans la caractérisation, l'étude et la modélisation des propriétés des matériaux magnétiques et diélectriques. Depuis une dizaine d'année il conduit une activité autour des couplages multiphysiques et notamment magnéto-mécanique. Ce banc doit permettre de poursuivre les travaux sur les couplages magnéto-mécaniques sous chargements statique et dynamique, uni & bi-axial. Le contrôle temps-réel des sollicitations mécaniques doit offrir la possibilité de contrôler les états de contraintes mécaniques dans les matériaux, permettant l'étude et la caractérisation fine des propriétés et comportements. Cet outil est essentiel aux modélisations développées pour la prise en compte des couplages multiphysiques dès la phase de conception des dispositifs.

## 2. Caractéristiques techniques

### ▪ Lot 1 Banc piézoélectrique bi-axial haute fréquence

#### Les caractéristiques techniques attendues pour le lot 1 sont les suivantes :

- Le dispositif doit permettre la mise sous contraintes bi-axiales (traction-compression) d'une éprouvette en forme de croix qui s'inscrit dans un carré de 100 mm x 100mm minimum.
- Le dispositif doit être conçu pour permettre une contrainte statique au centre de l'éprouvette de 70 MPa suivant les deux axes.
- Le déplacement des extrémités de l'éprouvette doit être au minimum de 18  $\mu\text{m}$  pour des fréquences inférieures à 3kHz et supérieur à 5  $\mu\text{m}$  pour des fréquences comprises entre 20 kHz et 30 kHz.
- Les actionneurs utilisés pour développer les contraintes et déplacements dans l'éprouvette, conformément aux exigences ci-dessus, doivent être de type piézoélectrique.
- Les actionneurs doivent être instrumentés pour permettre la mesure de leur déplacement (bande passante de 0 à 30 kHz et avec une résolution inférieure à 10 nm).
- Les alimentations des actionneurs doivent être pilotables via une entrée analogique de 0 à 30 kHz minimum.
- La forme de l'éprouvette doit être conçue de manière à ce qu'au centre, la contrainte statique reste homogène (écart inférieur à 1 %) à l'intérieur d'un disque de diamètre 40 mm minimum.
- Pour éviter le flambage de l'éprouvette pour les contraintes de compression, l'éprouvette est constituée d'une tri-lame.
  - Le matériau d'étude est au centre. Ces éprouvettes pourront être en matériaux magnétiques : alliage FeSi, FeCo ou encore FeNi d'épaisseurs comprises entre 0.05 mm et 0.5 mm. Les modules d'Young sont compris entre 180 et 220 GPa et le coefficient de Poisson de l'ordre de 0.3 et une masse volumique typique de 8000 kg/m<sup>3</sup>.
  - En dessous et en dessus de l'éprouvette sont positionnées deux (2) brides en matériau non magnétique et non conducteur (type Bakélite ou Permali). L'épaisseur des brides (< 10mm) doit être ajustée en fonction de l'épaisseur de l'éprouvette au centre et du risque de flambement. Ces deux brides sont également ajourées d'un trou de 60 mm de diamètre au centre pour permettre l'accès à la zone d'homogénéité en contrainte statique.
  - Les dimensions et la forme de l'éprouvette doivent être conçus et optimisés pour répondre aux exigences techniques de contraintes et déformations

mécaniques. A cette fin, pour permettre les tests, une éprouvette type en alliage FeCo (AFK1) doit être fournie.

- Le dispositif de mise sous contrainte dispose d'un système de mors pour permettre le maintien et le remplacement de l'éprouvette. Ces mors doivent être non magnétiques. Ces mors constituent comme l'éprouvette des masses en mouvement qui augmentent les forces inertielles dont il convient de tenir compte pour répondre aux exigences de contraintes et déplacements en dynamique.
- Les forces appliquées à l'éprouvette suivant les deux axes doivent faire l'objet d'une mesure (résolution inférieure à 0,05 % pour des fréquences comprises entre le continu et idéalement jusqu'à 100 kHz minimum, sortie analogique).
- Le bâti rigide qui permet le maintien de l'ensemble : éprouvette, mors, capteurs de force et actionneurs piézoélectriques, doit être dimensionné pour respecter les exigences de contraintes et de déplacement en statique et dynamique spécifiés précédemment. Le bâti doit être non magnétique.

## ▪ **Lot 2 Système de contrôle et d'acquisition temps réel**

### **Les caractéristiques techniques attendues pour le lot 2 sont les suivantes :**

- Le système d'acquisition et de contrôle doit être compatible avec au moins un des logiciels utilisés au laboratoire (Labview, Matlab, Simulink)
- Le système est de préférence modulaire pour permettre une évolution et une maintenance/réparation simplifiée
- Les différents modules doivent pouvoir être intégrés dans un châssis de type PXI Express et/ou hybride au format 3U avec les caractéristiques minimales suivantes :
  - Quatre (4) emplacements de type PXI Express et/ou hybride à connexion fond de panier dont un (1) est réservé pour le contrôleur (unité centrale)
  - L'emplacement réservé au contrôleur doit pouvoir accepter un module jusqu'à quatre (4) fois plus large que les autres modules périphériques
  - Quatre (4) liaisons de type PCI Express reliant directement les emplacements de périphériques à l'emplacement du contrôleur
  - Un (1) bus PCI 32 bits / 33 MHz est connecté à tous les emplacements
  - Une bande passante de 3 Go/s
  - Une capacité de refroidissement des emplacements de 35 W minimum
  - La puissance sonore des ventilateurs ne doit pas dépasser 70 dBA
- Le contrôleur (unité centrale) doit être équipé à minima :
  - Une connexion fond de panier type PXI Express
  - Un processeur Intel Core i7-5700EQ (4 cœurs @2,6GHz) ou équivalent
  - Embarquer 8 Go minimum de mémoire vive
  - Embarquer un espace de stockage de 250 Go minimum
  - Avoir une bande passante de 8 Go/s minimum
  - Disposer de ports Ethernet, USB 2.0 et/ou USB 3.0, COM, Display-port et GPIB
- Le contrôleur (unité centrale) doit permettre deux modes de fonctionnement :
  - Par le système d'exploitation Windows 7-64 bits (licence à fournir si besoin) équipé d'un environnement logiciel de programmation compatible avec LabVIEW 2018 SP1
  - Par un système d'exploitation temps réel (RTOS avec licence à fournir si besoin) compatible avec l'environnement de développement LabVIEW 2018 SP1

- Le premier module périphérique doit présenter les caractéristiques minimales suivantes :
  - Solution multifonctions avec seize (16) entrées analogiques différentielles, quatre (4) sorties analogiques et quarante-huit (48) entrées/sorties numériques
  - Les entrées analogiques sont :
    - A gamme sélectionnable avec un minimum de  $\pm 1$  V et un maximum de  $\pm 10$  V
    - A conversion analogique/numérique simultanée sur 16 bits sans perte de code sur toute la dynamique avec un rafraichissement pouvant monter jusqu'à au moins 1.25 Mech/s pour chacune des voies
    - Converties avec une erreur résiduelle de gain ne dépassant pas 138 ppm de la valeur lue quelle que soit la gamme sélectionnée et avec une stabilité qui doit être de 8 ppm/°C maximum
    - Converties avec un offset résiduel ne dépassant pas 15 ppm de la gamme sélectionnée, avec une stabilité qui ne doit pas dépasser 50 ppm/°C de la gamme la plus resserrée et 35 ppm/°C de la gamme la plus large
    - Converties avec une non-linéarité intégrale ne dépassant pas 46 ppm de la gamme sélectionnée
    - Le bruit aléatoire de conversion a une variance qui ne dépasse pas 61  $\mu$ Vrms pour la gamme la plus resserrée et 252  $\mu$ Vrms pour la gamme la plus large
  - Les sorties analogiques sont :
    - A gamme sélectionnable entre  $\pm 5$  V,  $\pm 10$  V
    - A conversion numérique/analogique simultanée sur 16 bits avec une non-linéarité dynamique maximale de  $\pm 1$  LSB et un rafraichissement pouvant monter jusqu'à au moins 3.3 Mech/s pour chacune des voies
    - Converties avec une erreur résiduelle de gain ne dépassant pas 135 ppm de la valeur lue quelle que soit la gamme sélectionnée et une stabilité qui doit être de 17 ppm/°C maximum
    - Converties avec un offset résiduel ne dépassant pas 65 ppm et une stabilité qui ne doit être de 1 ppm/°C maximum de la gamme sélectionnée
    - Converties avec une non-linéarité intégrale ne dépassant pas 64 ppm de la gamme sélectionnée
  - Les entrées/sorties numériques sont :
    - Individuellement programmable comme entrée ou sortie
    - Compatible avec la technologie TTL
    - Acceptent à minima de fournir ou recevoir 16 mA
- Le second module périphérique doit présenter les caractéristiques minimales suivantes :
  - Solution multifonctions avec un FPGA programmable, huit (8) entrées analogiques, huit (8) sorties analogiques et quarante-huit (48) entrées/sorties numériques
  - Le FPGA est de type Kintex-7 160T ou équivalent et est associé à 512 Mo de DRAM
  - Les entrées analogiques sont :
    - A gamme sélectionnable avec un minimum de  $\pm 1$  V et un maximum de  $\pm 10$  V
    - A conversion analogique/numérique simultanée sur 16 bits avec une non-linéarité dynamique maximale de  $\pm 1$  LSB et un rafraichissement pouvant monter jusqu'à au moins 1 Mech/s pour chacune des voies

- Converties avec une erreur résiduelle de gain ne dépassant pas 118.4 ppm de la valeur lue quelle que soit la gamme sélectionnée, avec une stabilité qui doit être de 20 ppm/°C maximum
- Converties avec un offset résiduel ne dépassant pas 16.4 ppm de la gamme sélectionnée, avec une stabilité qui ne doit pas dépasser 4.63 ppm/°C de la gamme
- Converties avec une non-linéarité intégrale ne dépassant pas 50.52 ppm de la gamme sélectionnée
- Le bruit aléatoire de conversion a une variance qui ne dépasse pas 74  $\mu$ Vrms pour la gamme la plus resserrée et 263  $\mu$ Vrms pour la gamme la plus large
- Les sorties analogiques sont :
  - A gamme unique de  $\pm 10$  V
  - A conversion numérique/analogique simultanée sur 16 bits avec une non-linéarité dynamique maximale de  $\pm 1$  LSB et un rafraichissement pouvant monter jusqu'à au moins 1 Mech/s pour chacune des voies
  - Converties avec une erreur résiduelle de gain ne dépassant pas 87.3 ppm de la valeur lue et avec une stabilité qui doit être de 12.6 ppm/°C de la gamme
  - Converties avec un offset résiduel ne dépassant pas 41.1 ppm et une stabilité qui ne doit être de 7.8 ppm/°C de la gamme
  - Converties avec une non-linéarité intégrale ne dépassant pas 61 ppm de la gamme
- Les entrées/sorties numériques sont :
  - Individuellement programmable comme entrée ou sortie
  - Compatible avec les technologies LVTTTL et LVCMOS
  - Acceptent de fournir ou recevoir jusqu'à 4 mA
- Des borniers sont déportés depuis les modules périphériques et connectent :
  - Les voies analogiques par l'intermédiaire de connecteurs BNC ou à vis
  - Les voies numériques par l'intermédiaire de connecteurs BNC ou à vis

### 3. Etape de validation technique

En complément du dossier technique transmis par chaque candidat, une présentation sera organisée dans les locaux du G2Elab, pour permettre de valider les choix techniques et les performances attendues (lot 1 et lot 2), notamment compte tenu des exigences exprimées en termes de force et déplacement des actionneurs et de leur alimentation (lot 1), et des caractéristiques du système de contrôle et d'acquisition temps réel (lot 2). Cette présentation pourra notamment se baser sur des résultats de simulation (lot 1), sur des tests propres aux fabricants (lot 1 et lot 2), des démonstrations de produits (lot 1 et lot 2).

**Ces présentations font l'objet de valeur technique et seront jugée de manière globale.**

**Après la consultation les soumissionnaires recevront un courrier via la plateforme PLACE qui précisera les modalités d'organisation de la présentation dans les locaux du G2Elab.**

### 4. Conditions de garantie contractuelle

Une garantie d'une durée minimale de 36 mois à compter de l'admission du matériel, frais de déplacement de personnel inclus, et un support technique pour les 12 premiers mois.

En cas de panne, le délai de réponse pour fixer une date d'intervention ou de renvoi de matériel ne devra pas excéder 1 semaine et ce pour les deux lots.

## **5. Livraison, installation et mise en service**

A partir de la notification du marché, le délai de livraison maximum souhaité est de 3 mois pour le lot 2 et de 5 mois pour le lot 1 :

Lieu de livraison :

Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble

Bâtiment GreEn-ER

21 avenue des Martyrs

38031 Grenoble

Pour le lot 1, l'installation et la mise en service doit se faire dans le délai de 5 jours ouvrés à compter de la livraison.

## **6. Formation des utilisateurs**

Une formation d'une demi-journée pour un groupe de 3 à 4 personnes est demandée pour le lot 1. Le titulaire devra préciser la modalité de l'organisation de la formation dans le cadre de réponse. La formation aura lieu dans les 2 jours ouvrés à compter de la mise en service.

## **7. Documentations**

Pour chaque lot une documentation des différents appareillages doit être fournie (format numérique ou papier) en langue française ou anglaise.