



CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

MARCHE DE FOURNITURES COURANTES ET SERVICES

**Achat d'un cryostat pour travaux pratiques Hall quantique,
pour Grenoble INP – Phelma.**

N° consultation : F25F017

Institut polytechnique de Grenoble
DAFa / Service Achats
46 avenue Félix Viallet
38031 Grenoble CEDEX 1

Pour PHELMA

SOMMAIRE

1. OBJET DE LA CONSULTATION	3
2. CONTEXTE	3
3. SPECIFICATIONS TECHNIQUES ATTENDUES.....	4
3.1 CRYOSTAT A CIRCUIT FERME	4
3.1.1 Réfrigérateur à cycle fermé	4
3.1.2 Aimant supraconducteur.....	4
3.2 LA PLATE-FORME D'ECHANTILLON	5
3.2.1 La variation de température de l'échantillon.....	5
3.3 LES EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES ET LES LOGICIELS POUR LE FONCTIONNEMENT DU CRYOSTAT ET LES MESURES D'ECHANTILLONS	5
3.4 COMPRESSEUR D'HELIUM	6
3.5 PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES FACULTATIVES	6
3.5.1 Prestation supplémentaire éventuelle n°1 : Garantie supplémentaire de 12 mois	6
3.5.2 Prestation supplémentaire éventuelle n°2 : Maintenance du compresseur	6
3.5.3 Prestation supplémentaire éventuelle n°3 : Maintenance de la tête froide	6
4. LIVRAISON	6
5. INSTALLATION ET MISE EN SERVICE	7
6. DOCUMENTATION.....	8
7. FORMATION	8
8. GARANTIE	8
9. SERVICE APRES-VENTE (AU-DELA DE LA PERIODE DE GARANTIE)	8
10. MODALITES D'EXECUTION	8
11. PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	9
11.1 INDICE DE REPARABILITE	9
11.2 GESTION DES DECHETS.....	9
11.3 TRANSPORT.....	9

1. Objet de la consultation

La présente consultation concerne:

L'Achat d'un cryostat pour travaux pratiques Hall quantique, pour Grenoble INP – Phelma.

Grenoble INP, institut d'ingénierie et de management de l'Université Grenoble Alpes, occupe une place de premier plan dans la communauté scientifique et industrielle.

2. Contexte

L'école Grenoble INP Phelma est une école d'ingénieurs de l'Institut polytechnique de Grenoble. Elle offre à ses étudiants un large choix de parcours de formation à la pointe des avancées scientifiques et technologiques : micro & nanotechnologies, instrumentation, énergie, matériaux innovants, technologies de l'information, ingénierie biomédicale, génie des procédés et environnement. Elle accueille plus de 1400 élèves dans 11 filières ingénieurs dont une par voie de l'apprentissage et une dizaine de parcours de masters. L'équipe enseignante est composée d'une centaine enseignants titulaires et de plus de 300 chargés d'enseignement vacataires. L'équipe administrative et technique compte une cinquantaine de personnels. L'école est présente sur deux sites, site Minatec de Grenoble et site du campus universitaire de Saint-Martin d'Hères. Tout en réaffirmant ses trois piliers principaux que sont la physique, l'électronique et les matériaux, Phelma assure une évolution de la formation de ses élèves-ingénieurs et de ses étudiants en masters au vu de l'évolution des métiers, liée essentiellement à la transition énergétique et à la transition numérique.

Dans le cadre de sa pédagogie et de sa recherche, Phelma souhaite acquérir un nouveau « Cryostat fonctionnant avec un circuit d'hélium en cycle fermé » pour les expériences de transport électrique à des températures de 1 Kelvin ou légèrement supérieures, et dans un champ magnétique vertical supérieur ou égal à 5 T.

Les travaux pratiques (TPs) de Phelma sont deux TP historiques nommés « Supraconductivité » et « Effet Hall ». Nous souhaitons à terme faire évoluer ces deux TP pour les rendre plus proche des thématiques et enjeux actuels autour des technologies quantiques.

Pour commencer, nous proposons de faire évoluer le TP « supraconductivité », qui se focalise actuellement sur l'étude d'un matériau massif, pour aller vers l'étude de dispositifs quantiques : les SQUIDS (Superconducting QUantum Interference Device) ; Il s'agit de dispositifs quantiques basés sur une interférence d'électrons polarisés en spin. Ce sont des dispositifs qui peuvent être utilisés en tant que capteurs quantiques pour la magnétométrie ou comme brique de base de dispositifs de traitement de l'information quantique.

La seconde évolution concerne l'étude de l'effet Hall quantique, en plus de l'effet Hall classique étudié jusqu'à présent.

Pour mener à bien ces évolutions, il est nécessaire d'acquérir un cryostat permettant une utilisation sous pointe des dispositifs. Ce cryostat doit fonctionner avec un circuit d'hélium fermé, ce qui permet un coût de fonctionnement très faible par rapport à la manipulation actuelle qui nécessite de réapprovisionner en hélium à chaque TP.

Ce cryostat doit permettre la mise en œuvre pratique par les étudiants d'un dispositif quantique fonctionnel. Ce TP avec ce cryostat permettra également une étude concrète des SQUIDS,

dont le principe de fonctionnement est vu en cours et en travaux dirigés. Il sera également l'occasion de revoir avec une approche pratique les notions vues en cours de physique quantique, notamment en ce qui concerne le transport des électrons.

3. Spécifications techniques attendues

Les spécifications techniques de l'instrument sont composées d'un ensemble de caractéristiques et performances demandées telles que décrites ci-dessous.

3.1 Cryostat à circuit fermé

Le cryostat doit être spécifiquement conçu pour fonctionner avec un système de réfrigération à circuit fermé d'hélium sans nécessiter d'hélium liquide.

Il faut également que le cryostat d'atteigne des températures inférieures à 3 Kelvin (K) et fournisse des champs magnétiques supérieurs ou égaux à 5 Tesla (T). Il est essentiel que le cryostat ait un ratio du champ maximum sur la température la plus basse, $B[\text{Tesla}]/T[\text{Kelvin}]$, dans les mêmes conditions, supérieur à 2,5 T/K. Plus ce ratio est élevé, plus le cryostat est adapté à l'étude des dispositifs quantiques.

3.1.1 Réfrigérateur à cycle fermé

Le cryostat doit être basé sur un système de réfrigération à cycle fermé, comme un tube pulsé ou Gifford McMahon refroidisseur cryogénique, avec une température de base inférieure à 3 K.

Il est nécessaire que le refroidisseur cryogénique refroidisse l'aimant supraconducteur et l'échantillon à la température de base de fonctionnement dans un délai maximum de 24 heures après la mise en marche du système. Un temps de refroidissement plus court sera apprécié.

Il est nécessaire d'isoler à la fois l'aimant supraconducteur et l'échantillon des vibrations associées au refroidisseur, et le niveau de vibration résultant au niveau de l'espace d'échantillon doit être inférieur à 30 μm .

Le refroidisseur cryogénique doit fonctionner en continu, sans maintenance, pendant au moins 20 000 heures de travail.

3.1.2 Aimant supraconducteur

L'aimant supraconducteur doit pouvoir fonctionner dans un environnement sans cryogène à basse température fourni par le refroidisseur cryogénique. Il est essentiel que cet aimant supraconducteur puisse créer un champ magnétique vertical maximum supérieur ou égal à 5 Tesla.

L'homogénéité du champ magnétique sur la région de l'espace échantillon doit être meilleure ou égale à 0,1 %.

L'aimant supraconducteur doit être conçu pour une vitesse de balayage de champ supérieure à 100 milli-Tesla/minute sans aucun risque d'extinction.

3.2 La plate-forme d'échantillon

La plate-forme de support d'échantillon cryogénique doit être spécifiquement conçue pour effectuer les mesures de transport électrique sur un dispositif d'échantillonnage à des températures et des champs magnétiques bien contrôlés.

Il est nécessaire que la plate-forme d'échantillon dispose d'une seule plate-forme d'échantillon avec un minimum de 12 contacts DC,. Une plateforme d'échantillon avec plus de contacts (jusqu'à 24) sera appréciée.

La plate-forme d'échantillonnage doit être orientée de telle façon que la direction hors plan de l'échantillon soit parallèle aux champs magnétiques.

Les porte-échantillons compatibles avec la plate-forme d'échantillon doivent être fournis. Les échantillons, tels que les dispositifs Quantum Hall ou supraconducteurs, des tailles minimales de 10 mm doivent pouvoir être montés sur ces porte-échantillons.

3.2.1 La variation de température de l'échantillon

La plate-forme d'échantillon également doit être spécifiquement conçue pour effectuer les mesures dépendantes de la température sur un dispositif d'échantillonnage à des températures bien contrôlées.

Il est nécessaire que la température de l'échantillon soit variable depuis la température de base jusqu'à environ 10 K de manière de bien contrôler.

Une méthode de contrôle de la température de l'échantillon doit donc être conçue comme une partie intégrante de la plateforme d'échantillon. La température de l'échantillon doit être contrôlée précisément pour toute température comprise entre la température de base et 10 K, avec une stabilité supérieure à ± 50 mK. Cependant, un contrôle de température pour des valeurs supérieures à 10 K pourrait être proposé.

3.3 Les équipements électroniques et les logiciels pour le fonctionnement du cryostat et les mesures d'échantillons

Il est nécessaire de fournir tous les composants électroniques et logiciels essentiels utilisés pour contrôler tous les aspects du fonctionnement du cryostat et des protocoles de mesure.

Cet instrument cryostat doit également inclure les composants suivants :

- L'alimentation électrique de l'aimant supraconducteur
- Le contrôleur et le moniteur de température cryogénique
- Les électroniques de fonctionnement du cryostat et mesures l'échantillons
- Les logiciels assurant le contrôle automatisé du cryostat et mesures d'échantillons
- 12 fils DC au minimum et 24 fils DC au maximum pour mesures d'échantillons

3.4 Compresseur d'hélium

Le compresseur d'hélium doit être fourni par le titulaire et être compatible avec les spécifications techniques exigées pour le refroidisseur cryogénique.

Il devra pouvoir fonctionner en continu, sans maintenance, pendant au moins 30 000 heures de travail.

La consommation électrique du compresseur doit être inférieure à 9 kilowatts/heure.

3.5 Prestations supplémentaires éventuelles facultatives

Le soumissionnaire peut chiffrer les prestations supplémentaires facultatives listées ci-dessous.

Le candidat présentera les prestations supplémentaires dans les documents prévus pour la réponse à l'offre de base. L'acheteur indiquera au titulaire au moment de la notification du marché les prestations supplémentaires qu'il entend retenir.

3.5.1 Prestation supplémentaire éventuelle n°1 : Garantie supplémentaire de 12 mois

Au-delà de la garantie de 12 mois présente dans la prestation de base, le soumissionnaire chiffrera au titre d'une PSE facultative une garantie supplémentaire de 12 mois. Dans le cas où le soumissionnaire peut proposer une garantie supplémentaire de 12 mois sans frais supplémentaire, il indiquera 0 dans le cadre de réponse financier.

3.5.2 Prestation supplémentaire éventuelle n°2 : Maintenance du compresseur

Le soumissionnaire peut proposer une prestation ponctuelle de maintenance du compresseur, à réaliser une fois après environ 30 000 heures de fonctionnement. Cette opération comprendra au minimum le remplacement du filtre et de l'absorbeur.

Le soumissionnaire indiquera dans son cadre de réponse financier un prix forfaitaire unique pour cette intervention.

3.5.3 Prestation supplémentaire éventuelle n°3 : Maintenance de la tête froide

Le soumissionnaire peut proposer une prestation ponctuelle de maintenance de la tête froide à réaliser après environ 20 000 heures de fonctionnement.

Le soumissionnaire indiquera dans son cadre de réponse financier un prix forfaitaire unique pour cette intervention

4. Livraison

A compter de la notification du marché, le délai de livraison maximum est de 10 mois.

Les soumissionnaires peuvent proposer un délai de livraison plus favorable dans le cadre de réponse technique dans la limite du délai de livraison maximum fixé.

Lieu de livraison:

L'instrument sera livré sur le site grenoblois de Grenoble INP - Phelma Minatec, à l'adresse suivante :

Grenoble INP - Phelma Minatec

3 Parvis Louis Néel - CS 50257

38016 Grenoble Cedex 1

Conditions de livraison :

Lieu de dépôt : Accueil du bâtiment PHELMA – Grenoble INP

Heures de livraison : jours ouvrés, de 9h à 12h et de 13h30 à 16h.

Le titulaire procède au déchargement du matériel et le dépose à l'accueil. Le déplacement interne jusqu'à la salle d'installation sera assuré par les équipes techniques de l'établissement.

La date exacte de livraison sera fixée d'un commun accord entre l'acheteur et le titulaire. A cet effet, avant toute livraison, le titulaire devra obligatoirement contacter le responsable technique au moins 48 heures à l'avance par courriel.

La livraison des fournitures s'effectue dans les conditions de l'article 21 du CCAG-FCS.

Le titulaire veille à limiter l'impact environnemental des livraisons et du transport des produits proposés.

La livraison est constatée par la délivrance d'un récépissé au titulaire ou par la signature du bon de livraison.

5. Installation et mise en service

L'installation et la mise en service seront assurées par le titulaire dans un délai maximum de 15 jours ouvrés à compter de la date de la livraison.

Un accompagnement à l'installation à distance est requis en suivant les instructions d'installation ainsi que des démonstration vidéo si nécessaire. Une installation sur site est possible à la place de l'installation à distance. Le titulaire devra en décrire les modalités dans son offre.

L'instrument sera installé dans le bâtiment M de Grenoble INP - Phelma Minatec. Le Cryostat et les stations de pompage sera installé dans une salle spécifique, mais le compresseur et le chiller sera installé séparément dans le local technique "helium" situé au 4ème étage au-dessus de la salle. Le Cryostat et le compresseur seront connectés avec le circuit d'hélium.

La salle a une surface libre de 3 m x 4m avec 3m de hauteur sous plafond pour l'installation du cryostat et des stations de pompage.

6. Documentation

Une documentation de l'équipement doit être fournie (format numérique ou papier) en langue française et anglaise.

7. Formation

La formation des utilisateurs doit être incluse dans la prestation.

Elle concernera trois personnes et devra être réalisée dans un délai de 15 jours maximum (hors périodes de fermeture du bâtiment), à compter de la fin de l'installation et de mise en service.

La formation pourra être réalisée sur site ou à distance, selon les disponibilités des utilisateurs et les modalités techniques proposées par le titulaire dans son offre.

8. Garantie

L'équipement bénéficiera d'une garantie de 12 mois à compter de la date d'admission. Pendant cette période, le titulaire s'engage à assurer la disponibilité d'un interlocuteur dédié pour répondre aux difficultés rencontrées lors de l'utilisation du matériel.

Le candidat devra décrire dans son mémoire technique les modalités de garantie et de support associées, en précisant ce qui est inclus et exclu, les conditions d'application, la durée de vie moyenne de l'équipement, les modalités d'accès au support, les plages horaires, les délais moyens de réponse et de résolution, la langue d'assistance, ainsi que le niveau d'expertise et la localisation (en France ou à l'étranger) des interlocuteurs proposés selon les types de pannes pouvant survenir.

9. Service après-vente (au-delà de la période de garantie)

À l'issue de la période de garantie, qu'il s'agisse de la garantie de base ou de l'extension de garantie si la PSE n°1 est retenue, un service après-vente devra rester disponible pour répondre aux questions techniques des utilisateurs, fournir la documentation nécessaire, transmettre les mises à jour logicielles correctives et informer l'acheteur sur la disponibilité et les délais d'approvisionnement des pièces détachées.

Le candidat devra décrire dans son mémoire technique les modalités de son service après-vente post-garantie, en précisant les services fournis gratuitement ainsi que l'organisation, la réactivité et le niveau d'expertise des interlocuteurs proposés.

10. Modalités d'exécution

Le titulaire précise dans son mémoire technique les délais nécessaires à la fabrication de l'équipement dans son usine ainsi que les délais d'installation et de mise en service. Les délais d'exécutions prévisionnels maximums souhaités par l'acheteur sont définies à l'article 3.1 du CCAP

11. Protection de l'environnement

11.1 Indice de réparabilité

Le titulaire développe dans le cadre de réponse technique la mise en oeuvre de l'indice de réparabilité ou à défaut la présentation d'éléments démontrant la réparabilité du produit tenant par exemple compte des éléments suivants :

- Un coût de réparation raisonnable et proportionné : cela comprend le coût du service de réparation mais également le prix des pièces détachées, le prix des outils et le prix d'accès à la documentation technique.
- La démontabilité des pièces détachées nécessaires au bon fonctionnement du produit : les pièces sont démontables et remontables en un nombre d'étapes raisonnable et proportionné. Les fixations concernées sont amovibles et réutilisables ou, lorsqu'elles ne sont pas réutilisables, a minima accessibles à l'achat.
- La facilité de l'accès à un réseau de réparateurs identifiable pour l'acheteur public.
- Le temps minimal de disponibilité des pièces détachées à compter de la date de mise sur le marché de la dernière unité du modèle concerné.

11.2 Gestion des déchets

Le titulaire décrit le traitement des déchets liés à la fabrication et au transport des matériels objet de ce marché, notamment la gestion et le recyclage des déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE).

Il indique ce sur quoi il s'engage dans le cadre de ce marché pour réduire les impacts écologiques négatifs en matière de gestion des déchets.

11.3 Transport

Le titulaire décrit les moyens de transport utilisés pour livrer les fournitures ou assurer les prestations de maintenance, en précisant notamment ce qui permet d'en réduire l'impact carbone.

Il indique ce sur quoi il s'engage dans le cadre de ce marché pour réduire le bilan carbone du transport pour livrer les fournitures ou assurer les prestations de maintenance.