Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg – UMR 7504
23 rue du Lœss BP43
67034 Strasbourg CEDEX 2 – France

Cahier des Charges Techniques Particulières (C.C.T.P)

Objet du marché :

ACQUISITION, LIVRAISON, INSTALLATION, MISE EN SERVICE ET FORMATION À L'UTILISATION D'UN CRYOSTAT A HELIUM EN CYCLE FERME AVEC CHAMP MAGNETIQUE INTEGRE AVEC ACCES OPTIQUES ET ELECTRIQUES

1) Contexte de l'opération

L'IPCMS assemble actuellement un banc de mesures magnéto-optiques dans le visible et la gamme THz. Ce banc de mesure a pour objectif l'étude des propriétés THz de systèmes magnétiques.

Ces expériences combinant transport électrique et microscopie font appel à des mesures pompe sonde de type microscopie Kerr magnétooptique ainsi que des mesures de détection THz électriques dans des microstructures. De par leur nature ces expériences nécessitent des conditions de champ magnétique et de températures accordables et contrôlées ainsi qu'une grande stabilité mécanique et des vibrations minimales.

Nous souhaitons acquérir un cryostat magnéto-optique doté d'accès optiques compatibles avec le visible et le domaine THz (0.1-10 THz), destiné à la réalisation de mesures magnéto-optiques ainsi qu'à l'émission et la détection THz. Ce système présentera un espace de travail à température cryogénique dans lequel prendra place une bobine supraconductrice permettant l'application d'un champ magnétique ainsi que des nanopositionneurs et des éléments d'optiques comme des lentilles asphériques. L'espace dans lequel prendront place les échantillons devra permettre de faire varier la température de l'échantillon dans la gamme 4K-300K, sa position pourra aussi être modifiée grâce aux nanopositionneurs permettant la cartographie des échantillons. Il sera également équipé d'un système de refroidissement ne nécessitant pas l'apport de liquides cryogéniques externes.

La procédure d'achat prend la forme d'un marché à prix forfaitaire. Elle comprend également :
- 1 prestation supplémentaire éventuelle à chiffrage obligatoire ;
- 5 prestations supplémentaires éventuelles à chiffrage facultatif.

Les caractéristiques attendues et les prestations supplémentaires éventuelles sont décrites ci-après.

2) Description du besoin

a. Caractéristiques techniques attendues – Prestations attendues

- *Caractéristiques des matériels*

Les équipements proposés seront uniquement du matériel neuf. Livraison et installation d'un cryostat optique (visible et THz) en cycle fermé avec champ magnétique.

Généralités :
- La technologie utilisée pour le refroidissement doit être basée sur un système de circulation d'hélium en circuit fermé. Les candidats préciseront la technologie employée.
- L'espace de travail utile du cryostat où siège l'échantillon doit pouvoir prendre place sur une table optique de 150 cm x 140 cm.
- Le contrôle actif de la température dans la gamme minimale 4-300K dans l'espace échantillon doit être assuré. Des possibilités de refroidissement en deçà de 4K voire de chauffage au-delà de 300K peuvent être proposées.
- Un champ magnétique dans le plan de la table optique, le long de l'axe défini par les accès optiques doit être assuré de 300K à 4K avec une amplitude contrôlée de 0 à au moins 7 T avec la possibilité d'opération bipolaire. Les candidats préciseront l'uniformité du champ magnétique sur un volume donné, la précision sur la valeur du champ appliqué, sa stabilité au cours du temps ainsi que les vitesses de balayage admissibles.
- Le temps de refroidissement depuis la température ambiante jusqu'à 4K (utilisation de la bobine supraconductrice) doit être de moins de 24 h.
- Système de sécurité en cas de problème de refroidissement/quenching (arrêt de l'aimant).
- La température au niveau de l'échantillon doit être définie avec une précision de quelques dizaines de mK dans la gamme 4K-300K. Des solutions pour optimiser les temps de refroidissement et de réchauffement peuvent être proposées. Les lignes électriques pour la chauffe et les capteurs de température seront incluses.
- Le cryostat et les bobines utilisées doivent permettre l'intégration de lentilles asphériques ou d'objectifs de microscope ainsi que de nanopositionneurs dans la zone à 4K.
- Le bore (idéalement dans les trois axes) de la bobine doit être au minimum de 1 pouce (25.4 mm) pour permettre l'installation de l'échantillon, des nanopositionneurs et des éléments d'optique.

Spécifications particulières :

- Le cryostat doit disposer d'au minimum 4 accès optiques dans le plan de la table optique. Ces 4 accès optiques doivent être en regard 2 à 2 pour effectuer des mesures en transmission le long et perpendiculairement à l'axe du champ magnétique. (Idéalement un cinquième accès optique, par le dessus, pour couvrir l'axe normal en réflexion).
- La hauteur totale nécessaire au chargement et au déchargement d'un échantillon, mesurée depuis le plateau de la table, n'excède pas 2300 mm. Cela comprend la hauteur de l'équipement en configuration de fonctionnement augmentée du dégagement vertical nécessaire à l'opération, quel que soit le principe de chargement retenu (canne d'insertion verticale, ouverture par le haut, accès latéral ou tout autre dispositif). Le candidat fournit à l'appui de son offre un plan d'encombrement coté faisant apparaître distinctement la hauteur en configuration de fonctionnement et la hauteur totale requise pour le chargement d'un échantillon.
- Les accès optiques seront équipés de fenêtre transparente à la fois dans la gamme visible/proche IR (400-1100 nm) et la gamme THz (0.1-10 THz). Typiquement des fenêtres en TPX ou en saphir ou tout autre solution fonctionnelle dans ces deux gammes de longueur d'onde. Les fenêtres devront être interchangeables et non collées pour une plus grande flexibilité de mesure.
- Le cryostat doit permettre l'intégration d'un porte-échantillon contacté électriquement. La taille d'échantillon typique est de 5 à 10 mm de côté, 170 µm à 1 mm d'épaisseur. Il nous faut au minimum 8 lignes DC (supportant >100 V). Le porte échantillon devra permettre de combiner des mesures électriques et optiques (idéalement y compris en transmission). Des possibilités de lignes additionnelles pourront être proposées.
- Le porte-échantillon contacté (par des micro-fils) pourra être remplacé facilement par un doigt froid plus simple pour des mesures optiques sur des échantillons de plus grande taille (> 1cm de côté). Les candidats incluront le porte-échantillon contacté et non contacté dans l'offre de prix.
- Le cryostat doit présenter une excellente stabilité mécanique. En particulier les dérives doivent être nettement inférieures à 1 µm pendant des durées supérieures à 12h à température fixe.
- L'amortissement des vibrations mécaniques au niveau de l'échantillon doit être optimal sur la plus large gamme de fréquences possible, afin de garantir qu'elles ne perturberont pas les mesures de microscopie. En particulier le niveau de vibration maximal admis doit être de moins de 100 nm RMS.
- Les conduites permettant de déporter le compresseur d'hélium à distance du cryostat auront une longueur totale d'au moins 20 m. Le compresseur sera déporté dans une pièce attenante.
- L'écrantage du champ doit permettre l'installation de l'appareil à moins de 3 mètres d'autres équipements de mesure (champ magnétique inférieur à 5 G) ainsi que l'installation sur une table non amagnétique. Les valeurs de champ magnétique autour de l'aimant (dans l'axe de l'aimant et radialement) devront être précisées. Un système d'écrantage du champ magnétique pourra être proposé.

- *Caractéristiques informatiques et des logiciels*

Une interface utilisateur permettra de contrôler le cryostat. En particulier il devra être possible de :

  - Contrôler et piloter la température (points de consigne, rampes) de façon logicielle
  - Contrôler et piloter le champ (points de consigne, rampes) de façon logicielle
  - Contrôler et piloter tout le système de vide : vannes, pompes et injection de gaz de façon manuelle ou logicielle. Le candidat précisera la liste des organes à commande exclusivement manuelle et non pilotable de façon logicielle.

En outre, il devra être possible d'interfacer l'équipement par un logiciel développé par l'utilisateur en Python. Un guide de communication entre un ordinateur et l'équipement sera fourni, comprenant une description de la syntaxe de commande et les différentes fonctions utilisables (lecture des paramètres de champ, température, etc. ; envoi d'instructions de point de consigne, rampes, etc.).

Le ou les logiciels devront être fournis avec une licence pour au moins ce poste. Une prise en charge de la mise à niveau de l'ensemble des logiciels devra être prévue durant la période de garantie.

- *Sécurité, conformité et documentation*

L'équipement devra être conforme à la règlementation française et aux normes CE en vigueur. Il sera en particulier conforme aux normes électriques.

Le titulaire devra livrer un jeu complet de documentation accessible au format électronique PDF en français et/ou en anglais.

Les personnes intervenantes lors de l'installation devront être titulaire des titres d'habilitation nécessaire à la mise en marche et la maintenance de l'équipement (habilitation électrique…)

3) Livraison, Installation et formation

a. Livraison

Les fournitures objets du présent marché doivent être livrées et installées à l'adresse suivante :

Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS)
Batiment 69
23 rue du Lœss
67100 Strasbourg

Le titulaire devra fournir un plan détaillé des connexions, des spécificités techniques et des besoins en servitude nécessaires à l'installation de l'équipement dans un délai de trente (30) jours suivant la notification du marché, le cas échéant. Pour pouvoir fournir l'information la plus pertinente, le titulaire devra convenir avec les agents du laboratoire d'un nombre de visites suffisant sur les lieux d'installation.

Les contraintes d'accès sont les suivantes :

- Livraison uniquement sur rendez-vous préalable auprès du responsable de l'équipement ;
- Enregistrement préalable à l'accueil à l'entrée et à la sortie, du personnel assurant la livraison et l'installation ;
- La mise en place devra permettre le franchissement de portes limitées en largeur à 130 cm et en hauteur à 190 cm ;
- La machine reposera sur une table optique.

Les risques afférents au transport et à la livraison des matériels sont à la charge du titulaire.

Les coûts de douane, d'expédition, de transport, d'assurance de transport et les taxes éventuels seront à la charge du titulaire.

Le stockage des matériels ainsi que les frais afférents jusqu'à installation finale sont à la charge du titulaire.

En concertation avec le CNRS, qui pourra souhaiter conserver les caisses de stockage et de transport, le titulaire devra reprendre tous les emballages et assurera l'élimination ou la valorisation finale des déchets dans les filières appropriées. Les emballages et autres déchets ne pourront être déposés dans les poubelles et conteneurs présents sur les sites du Campus de Cronenbourg.

Le titulaire livrera le matériel sur site avec les consommables éventuellement nécessaires à la mise en ordre de marche et accompagnées des notices et mode d'emploi en français et/ou en anglais en version papier et/ou électronique.

Le candidat précisera dans son offre le délai maximal de livraison ainsi que le délai maximal nécessaire pour l'installation de l'ensemble du matériel. En tout état de cause, ce délai de livraison et d'installation ne pourra pas excéder 12 mois à compter de la notification du marché. Le délai d'installation pourra toutefois faire l'objet d'un allongement dans l'unique cas de travaux ou d'installations spécifiques à la charge de l'IPCMS, non réalisés à la date de livraison, rendant de facto matériellement impossible l'installation du matériel.

b. Installation

La date d'installation sera déterminée conjointement entre le titulaire et l'IPCMS.

Le titulaire devra fournir toutes les interfaces de raccordement nécessaire (gaz (He, etc.), eau, électricité.

Le titulaire procédera à une mise en servie complète de l'appareil et lors de l'installation des matériels, le titulaire devra effectuer des tests de fonctionnement de chaque élément (y compris informatique). A l'issue de la mise en service, le titulaire remettra à l'IPCMS un document indiquant la date de mise en ordre de marche effective. Ce document, valant PV d'installation, devra être signé par un représentant du titulaire, ainsi que par la personne

responsable de l'équipement à l'IPCMS. Une copie du document signé devra être remise à l'IPCMS.

c. Formation à l'utilisation et à la maintenance des instruments

Le titulaire devra assurer la formation pour entre 2 et 10 personnes sur site dans un délai maximal de 1 mois suivant l'installation des équipements.

Le titulaire livrera un guide complet en format papier et/ou électronique, en Anglais et/ou en Français, reprenant les points évoqués lors de la formation.

Le lieu et la date de réalisation des formations seront précisés par le personnel concerné après concertation avec le titulaire.

A l'issue de la formation, le titulaire délivrera un récépissé attestant de la réalisation de la formation des utilisateurs.

4) Garantie et Service après-vente (SAV)

Les prestations font l'objet d'une garantie de 1 an. Le point de départ de la garantie est la date d'admission des prestations.

Pendant toute la période de garantie, le titulaire a une obligation de résultat concernant la remise en état de fonctionnement opérationnel de l'instrument en conformité avec les performances techniques et fonctionnelles prévues initialement.

Sera inclus au minimum dans cette garantie, ainsi que ces éventuelles extensions :

1) le support sur la totalité des fournitures ;
2) pièces, main-d'œuvre et déplacement inclus, y compris l'échange standard, sans surcout et illimité des pièces défectueuses ;
3) le conditionnement, l'emballage et le transport des équipements nécessaires en cas d'échange ou de remise en état dans les locaux du titulaire ;
4) un service offrant la possibilité de contacter un technicien/réparateur qualifié par téléphone (appel non surtaxé) ou par mail devra être disponible de façon illimitée, tous les jours ouvrés idéalement lors des horaires de bureau (de 9h à 17h heure française) ;
5) les mises à jour mineures et majeures (mise à jour et changement de version), sans surcout, des logiciels, ainsi que la documentation technique concernant les modifications apportées.

En cas de panne/dysfonctionnement, le titulaire interviendra :

1) soit via le conseil par téléphone, par mail, ou prise en main à distance (si cette option est proposée) ;
2) soit sur place via un technicien ;
3) soit en organisant le retour de l'équipement pour réparation.

Le délai d'intervention sur site du titulaire sera précisé dans son offre.

Le délai dont dispose le titulaire pour effectuer une mise au point ou une réparation qui lui est demandée est celui qui est fixé par décision de l'IPCMS, après consultation du titulaire.

Si une réparation ne peut être effectuée dans ce délai, le titulaire devra indiquer ses délais de réparation et mettre en place une solution de dépannage temporaire, ou un mode de fonctionnement dégradé, si possible, dans les plus brefs délais.

Le titulaire précisera, le cas échéant, les éventuelles possibilités et modalités de prêt d'un appareil en cas d'indisponibilité prolongée.

- *Prise en main à distance* :

La prise de main à distance, le cas échéant, par un tiers sur un équipement du système d'information ne peut être réalisée que dans les conditions suivantes :

1) L'intervenant doit être clairement identifié ;
2) La présence de l'utilisateur habituel de l'équipement est obligatoire ;
3) L'outil de prise de main à distance utilisé doit être sûr et référencé par l'ANSSI et/ou le CNRS en connexion point à point sans utilisation de solution type "cloud", sauf si celle-ci est interne à l'unité ou au CNRS et complétement maitrisée. Les outils non maitrisés (en particulier les outils tiers utilisant des services hébergés sur Internet en mode SaaS) sont proscrits pour la prise de main à distance ;
4) Avoir un mécanisme qui oblige une acceptation préalable, par l'utilisateur de l'équipement, à la prise de main par l'intervenant ;
5) Visibilité totale par l'utilisateur des actions réalisées par l'intervenant ;
6) Possibilité pour l'utilisateur de forcer la déconnexion de l'intervenant à tout moment.

5) Clause environnementale

Dans le cadre de l'exécution du marché, le titulaire prend les mesures nécessaires pour limiter les incidences environnementales directement liées au transport, à la livraison, à l'installation, à la mise en service, aux prestations exécutées au titre de la garantie et, si elle est retenue, à la maintenance préventive de l'équipement.

Organisation des transports et des interventions

Le titulaire optimise l'organisation des transports et des déplacements nécessaires à l'exécution des prestations.

Sous réserve des contraintes techniques, des délais contractuels, de la sécurité des opérations et de la nécessité de ne pas prolonger l'indisponibilité de l'équipement, il regroupe :

- les livraisons de l'équipement, de ses accessoires et de ses consommables ;
- les visites préalables nécessaires à la préparation de l'installation ;
- les opérations d'installation, de mise en service et de formation ;
- les interventions de maintenance pouvant être réalisées conjointement.

Lorsque la nature du dysfonctionnement le permet, le titulaire privilégie un diagnostic préalable à distance afin de limiter les déplacements inutiles. Toute prise en main à distance demeure soumise aux conditions de sécurité informatique définies par le présent CCTP et ne peut être imposée au CNRS.

Emballages et déchets

Le titulaire limite les emballages nécessaires au transport et à la protection de l'équipement. Il privilégie, lorsqu'ils sont compatibles avec les exigences de sécurité, de protection et de conservation du matériel, les emballages réemployables, recyclables ou intégrant des matières recyclées.

Le titulaire assure l'orientation des déchets vers les filières appropriées en privilégiant, conformément à la hiérarchie des modes de traitement des déchets, le réemploi, la réutilisation et la valorisation, notamment par recyclage, avant toute opération d'élimination.

Cette obligation s'applique également aux pièces, composants, fluides et consommables remplacés lors des interventions réalisées au titre de la garantie, de son éventuelle extension ou du contrat de maintenance préventive, lorsqu'ils doivent être repris par le titulaire ou qu'une filière adaptée existe.

Maintenance et durée de vie de l'équipement

Les opérations de maintenance sont réalisées de manière à préserver les performances énergétiques et la durée de vie de l'équipement.

Lorsqu'une pièce ou un composant doit être remplacé, le titulaire examine prioritairement, sous réserve de la sécurité et des performances attendues, la possibilité de réparer le composant concerné ou de procéder à un échange standard plutôt qu'au remplacement d'un ensemble complet.

Les réglages ou paramétrages réalisés à l'occasion d'une intervention ne doivent pas entraîner une augmentation injustifiée de la consommation électrique ou des consommations de fluides par rapport aux performances initialement annoncées.

6) Prestations supplémentaires éventuelles

a. Prestations supplémentaires éventuelles (PSE) obligatoires

Le candidat devra chiffrer obligatoirement dans l'annexe financière jointe à la présente consultation, la prestation suivante :

1) PSE obligatoire n°1 : Nanopositionneurs 3 axes (x,y,z)

Fourniture et intégration dans le cryostat d'un système de micro/nano-positionneurs linéaires 3 axes (x,y,z) :
- Compatibilité basse température (de 300 K jusqu'à 4K) et intégrabilité dans le cryostat optique ;
- Compatibilité avec le porte échantillon et mesures électriques/optiques ;
- Déplacement reproductible sur plusieurs mm ;
- Cartographie fine avec un pas < 100 nm ;
- Encombrement permettant le placement des nanopositionneurs et le déplacement de l'échantillon dans le bore de l'aimant supraconducteur ;
- Si possible fonctionnement en boucle fermée ;
- Un logiciel associé pour l'interfaçage de l'équipement devra être fourni.

b. Prestations supplémentaires éventuelles (PSE) facultatives

Ces prestations sont facultatives. Le candidat à la possibilité de proposer ou non tout ou partie de ces prestations et de compléter ou non le prix de ces prestations dans l'annexe financière jointe à la présente consultation.

1) PSE facultative n°1 : Développement logiciel pour l'acquisition automatisée

   Développement en Python d'un ensemble logiciel, permettant l'exécution automatisée des séquences de mesure suivantes :
   - Acquisition et enregistrement horodatés des grandeurs d'état (température, champ magnétique, position des axes) et des signaux mesurés, sur une base de temps unique ;
   - Rampe en champ magnétique à température fixe, en mode continu ou par paliers, vitesse et critère de stabilisation paramétrables ;
   - Rampe en température à champ fixe, en montée et en descente, selon les mêmes modalités ;
   - Mesure en fonction de la position des nanopositionneurs : balayage selon un axe et cartographie sur deux axes, avec enregistrement de la position effective à chaque point ;
   - Livraison du code source commenté et de sa documentation d'installation et d'utilisation, avec formation à l'utilisation ;

2) PSE Facultative n°2 : Fourniture d'au minimum 2 lignes micro-ondes pour des mesures dans la gamme 0-18 GHz, avec des connecteurs SMA avec possibilité d'extension à 4 lignes.

3) PSE facultative n°3 : Fourniture d'au minimum 2 lignes micro-ondes pour des mesures dans la gamme 0-46 GHz avec possibilité d'extension à 4 lignes.

4) PSE Facultative n°4 : Extension de garantie de 24 mois supplémentaires, dans les mêmes conditions que la garantie initiale.

5) PSE Facultative n°5 : Contrat de maintenance préventive pour une durée de 4 ans, à compter de l'admission de l'équipement.

   - Maintenance préventive sur 4 ans du cryostat hélium en circuit fermé (incluant l'aimant supraconducteur et les accès optiques), avec vérification annuelle des paramètres (niveau

d’hélium, température, pression), des capteurs, des joints et de l’intégrité de l’équipement, pour 4 interventions programmées (1 par an), livrant un rapport d’intervention avec relevés techniques et recommandations.

Le choix de retenir, ou non, ces PSE, se fera à la notification du marché au titulaire.