

Consultation n° 2025-A120

## **CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES**

**FOURNITURE, LIVRAISON, INSTALLATION, MISE EN SERVICE  
D'UN SYSTÈME CRYOMAGNÉTIQUE AVEC RÉFRIGÉRATEUR He4  
SANS HÉLIUM LIQUIDE POUR LE C2N**

## Table des matières

I.	Objet de l'achat	3
II.	Caractéristiques techniques	3
II.1.	Aimant supraconducteur sans fluide cryogénique	3
II.2.	Cryostat à température variable de 300 K à 1.5 K	4
III.	Test en usine	4
IV.	Date de livraison, installation et mise en service	4
IV.1.	Date et lieu de livraison	4
IV.2.	Installation et mise en service	5
V.	Modalités de réception, livraison, installation	6
V.1.	Modalités de réception	6
V.2.	Livraison et montage	6
V.3.	Formation	
VI.	Admission	7
VII.	Service après-vente	7
VIII.	Garanties	7
IX.	Documentation	8
X.	Conception	8
XI.	Sécurité générale	9
XII.	Fourniture des emballages et conditionnements	9

## I. Objet de l'achat

Acquisition d'un réfrigérateur à He4 cryofree, garantissant une température inférieure ou égale à 1.5 K et permettant un échange rapide des échantillons, avec une bobine supraconductrice de champ magnétique supérieur ou égal à 8 T, pour le Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N - CNRS UMR 9001). Il sera important que les échantillons à mesurer puissent être cyclés en température et être amené au champ magnétique maximal en un minimum de temps.

## II. Caractéristiques techniques

Le système cryogénique inclura :

- 1) Un aimant supraconducteur sans fluide cryogénique, avec un champ magnétique supérieur ou égal à 8 T, refroidis par un système de tube pulsée (avec compresseur et tubes de circulation des gaz sous pression) avec une électronique de mesure et contrôle de température et incluant connexions et source de courant.
  - 2) Un cryostat à température variable (dit « VTI ») de 300 K à 1.5 K, refroidis par un système de tube pulsée et sans Hélium liquide. Ce cryostat doit avoir une canne de mesure expérimentale équipé de 24 lignes de mesures DC. Le système cryomagnétique sera fourni avec les éléments nécessaires à son bon fonctionnement (notamment les pompes de circulation, compresseurs, système de thermométrie, système de gestion, amenées de courant pour la bobine supraconductrice ainsi que son alimentation de courant), hormis le groupe de pompage du vide d'isolement.
- A. La conception des systèmes cryomagnétiques devra permettre de minimiser les vibrations dues au tube pulsé et aux pompes. Spécifiquement le couplage thermique doit être faite via des tresses de cuivre plutôt que des connexions rigides.
  - B. Le champ magnétique devra avoir une variation totale moins ou égale à 0,1 % sur une sphère de 10 mm de diamètre.
  - C. Des thermomètres doivent être installés à tous les étages de température du réfrigérateur, et ils devront être isolés électriquement de ce réfrigérateur.
  - D. Le système cryomagnétique devra être compatibles avec une hauteur sous plafond de 4m, Le compresseur du tube pulsé ainsi que le banc de pompage pour la circulation de l'He4 devront pouvoir être placés dans un local adjacent.
  - E. Les contraintes sur le local d'installation devront être précisées dans l'offre, notamment la hauteur de plafond ainsi que les distances à respecter pour les sols, murs et plafonds métalliques.

### II.1. Aimant supraconducteur sans fluide cryogénique

Le système sera équipé d'un aimant **supraconducteur d'au moins 8 T refroidis par un système de tube pulsée et sans fluide cryogénique (y compris azote liquide)**, pouvant être opéré en mode permanent à l'aide d'un switch supraconducteur. L'aimant sera pourvu d'un dispositif de protection en cas de *quench* accidentel. Il sera fourni avec tout le câblage nécessaire à son bon fonctionnement. L'aimant sera également fourni avec sa source de courant bipolaire, incluant le contrôle du switch cryogénique. Le temps maximal pour monter de 0 T à 8 T ne pourra excéder 30 min; la température de la première section du cryostat (la section la plus chaude - la section 50 K) doit augmenter de moins de 3 °C pendant la rampe. La stabilité du champ magnétique en mode persistant ne doit pas permettre une variation relative du champ supérieure à  $1.0 \times 10^{-4}$  par heure, mesurée à 8 T. La puissance frigorifique développée par le réfrigérateur à tube pulsé sera **au moins égale à 1 W à 4.2 K**. La pompe de circulation, le compresseur du tube pulsé et sa vanne seront isolés électriquement du cryostat à température variable.

## II.2. Cryostat à température variable de 300 K à 1.5 K

Le système comportera un cryostat à température variable (VTI) avec une température de base de 1.5 K garantie en mode opération continue. Le VTI sera refroidi par un système de gaz indépendant de l'espace échantillon afin d'éviter les pollutions avec l'Hélium du système de refroidissement du VTI. Le diamètre utile du contre-cryostat sera  $\geq 50$  mm.

La canne de mesure expérimentale devra être isolée électriquement du VTI afin d'éviter les bruits parasites sur les mesures et comportera au moins 24 descentes électriques DC, connectées avec un support de type connecteur Fischer à 24 broches, pour des mesures de transport électrique. La canne de mesure devra être capable de faire un cycle en température entre 300 K et  $< 5$  K dans un temps  $\leq 2$  heures et ainsi de permettre une échange rapide des échantillons, avec un temps de cyclage (réchauffage de l'échantillon + refroidissement de l'échantillon) de maximum 4 heures.

La température sera pilotée via un thermomètre et une résistance de chauffage et un contrôleur inclus dans l'offre. Cette canne de mesure exentale devra permettre des mesures de transport électronique en présence de gaz d'échange. La canne doit permettre l'échange d'échantillon pendant que le VIT est à basse température.

L'un des critères importants pour le choix du fournisseur, sera l'existence de tranches optionnelles permettant des solutions d'automatisation ultérieures. Ces tranches doivent couvrir les caractéristiques suivantes :

- \* Unité de contrôle du système hébergeant un logiciel basé sur Python, Labview ou similaire pour la communication avec d'autres instruments de mesure. Pour être compatible avec d'autres cryostats utilisés dans le laboratoire, ce logiciel doit être compatible avec les scripts utilisés sur Proteox (Oxford Instruments).
- \* Logiciel de contrôle du système hébergé localement et permettant un accès par TCP/IP à distance (avec des mises à jours gratuites pendant la période de garantie). Pour être compatible avec d'autres cryostats utilisés dans le laboratoire, ce logiciel doit être compatible avec les scripts utilisés sur Proteox (Oxford Instruments).

## III. Tests en usine

Les équipements seront contrôlés en usine avant la livraison. Les performances décrites ci-dessus devront être démontrées. Les tests qui devront être faits incluent à minima la température de base, l'isolation électrique en fonctionnement (sans courant dans la bobine), la stabilité du mode persistant aux champs maximums, ainsi le temps de refroidissement de l'échantillon en utilisant le VTI. Bien que cela ne soit pas considéré comme une spécification technique garantie, la température de base sera également mesurée en présence du champ magnétique maximum de la bobine installée.

Le personnel du C2N validera les tests en usine par la rédaction d'un procès-verbal.

## IV. Date de livraison, installation et mise en service

### IV.1. Date et lieu de livraison

La livraison, installation et mise en service et la formation devra intervenir dans le délai indiqué dans l'offre du titulaire, mais au plus tard 6 mois après la notification du marché. Un temps plus court sera noté plus favorablement.

Les équipements seront livrés et installés par le titulaire.

Les frais d'expédition et d'assurances ainsi que les frais de douane seront à la charge du titulaire. L'incoterm applicable est DDP Palaiseau.

L'équipement est destiné à être installé dans une salle de laboratoire du C2N, Bd Thomas Gobert, 91120 PALAISEAU au rez-de-chaussée haut.

Le C2N ne pourra pas être rendu responsable si les dimensions de l'équipement ne permettent pas sa mise en place jusqu'à l'emplacement désigné.

#### IV.2. **Installation** et mise en service

Le titulaire raccordera les équipements sur les attentes mises en place par le C2N. Il précisera également, dans son offre les attentes nécessaires pour l'installation et la mise en service des équipements. En cas d'omissions ou d'erreurs de la part du titulaire, les travaux d'adaptation seront à sa charge.

### v. Modalités de livraison, réception

#### v.1. Modalité de réception

Le C2N vérifiera la conformité des fournitures livrées, installées et mises en service dans un délai d'un mois. Les fournitures devront être en conformité avec les exigences du présent document.

#### v.2. Livraison et montage

Le fabricant devra prévoir tous les moyens nécessaires à la manutention et au montage de l'équipement. Aucun matériel ne sera prêté par le C2N.

Les livraisons s'effectuent au rez-de-chaussée bas, via la cour logistique. Le déchargement des camions est à la charge du Titulaire. Le bâtiment n'étant pas équipé de quai de déchargement, celui-ci devra prévoir les moyens adaptés (ex : camion avec hayon, chariot élévateur...). Il devra également prévoir tous les moyens de levage nécessaire à la manutention de l'équipement. Les moyens de protections des locaux (sols en particulier) devront être fournis.

Pour accéder au RDC haut, le Titulaire pourra utiliser deux moyens d'accès :

- Un monte-charge, situé à une dizaine de mètres de l'extérieur. Les caractéristiques de ce monte-charge sont : cabine LxHxP=1,8 m X 2,4 m X 2,55 m, portes LxP=1,8 m X 2,4 m, charge nominale 2500 kg.
- Un accès au RDC haut donnant sur l'extérieur du bâtiment de dimensions LxH= 1,76 m X 2,49 m. Cet accès à 4 m du sol nécessitera l'utilisation d'un système de monte-charge (à prévoir par le Titulaire).

La manutention des colis est à la charge du Titulaire du pied des camions jusqu'à la mise en place dans les locaux. Aucun matériel de manutention n'est actuellement disponible au C2N-Palaiseau.

Le titulaire aura la possibilité de venir sur le site préalablement à la livraison afin de prendre connaissance des lieux et d'évaluer les difficultés pour la livraison de l'équipement jusqu'à sa mise en service.

Le titulaire aura la possibilité de venir sur le site préalablement à la livraison afin de prendre connaissance des lieux et d'évaluer les difficultés pour la livraison de l'équipement jusqu'à sa mise en service.

Le C2N ne pourra pas être rendu responsable si les dimensions de l'équipement ne permettent pas sa mise en place jusqu'à l'emplacement désigné.

### V.3. Formation

Une formation de minimum 2 jours sur site du personnel utilisateur du matériel, incluse dans le prix de vente, sera assurée par le Titulaire dans les quinze jours maximums suivant la mise en service. La date de formation sera fixée en commun accord avec les utilisateurs du C2N. Cette formation pour 2 personnes aura pour objectif l'acquisition des connaissances relatives aux procédures élémentaires d'utilisation, de maintenance et de sécurité du matériel.

## VI. Admission

L'admission définitive de l'équipement permettra de constater les performances du matériel et de son adéquation avec le cahier des charges sur le site de Palaiseau en présence de représentants du C2N.

Les tests de performances qui seront réalisés lors de cette étape d'admission sur le site du C2N Palaiseau :

- Le système assemblé doivent être testés par le titulaire à basse température au C2N. Ces tests devront inclure à minima la température de base, le temps de refroidissement complet du réfrigérateur, le temps de refroidissement de l'échantillon en utilisant le VTI, ainsi que le champ magnétique maximal et le temps nécessaire pour le monter de zéro à la valeur maximale . Une

décision express d'admission sera prononcée à l'issue des opérations de vérification si l'équipement répond aux critères de réception.

Le C2N organisera une vérification de la conformité réglementaire de l'équipement par un organisme habilité. Les modifications éventuellement nécessaires pour mettre l'équipement en conformité seront à la charge du titulaire.

Un procès-verbal d'admission sera prononcé après formation des personnels du C2N et à l'issue des opérations de vérification si l'équipement répond aux critères de réception.

## VII. Service après-vente

L'offre détaillera le service après-vente proposé par le titulaire pour l'ensemble des équipements livrés. Elle précisera les types d'interventions possibles : de maintenance, de réparation, d'échange standard, de service à distance etc. Elle précisera également dans quelle mesure le titulaire gardera en stock des pièces de rechange. Elle détaillera le nombre et la qualification du personnel intervenant, le prix des interventions, les délais d'intervention.

En cas de panne, le titulaire sera tenu d'intervenir, possiblement à distance, dans un délai maximum de 7 jours.

## VIII. Garanties

Les matériels livrés doivent être conformes aux normes en vigueur au jour de la livraison. Les candidats devront proposer une formule de garantie d'une durée minimale de deux ans. Les conditions de cette garantie doivent porter notamment sur les pièces détachées ainsi que les frais de transport, la main d'œuvre, le déplacement et de séjour des personnels qualifiés sur le site et le remplacement de l'équipement.

Toute amélioration de la garantie ainsi que la qualité du service après-vente seront un plus.

## IX. Documentation

La documentation sera conforme à la réglementation en vigueur, et notamment à la directive Machines 2006/42/CE.

A la livraison de l'équipement, le titulaire fournira les documents nécessaires à l'utilisation, la maintenance et les petites réparations des équipements. Ces documents comprendront en particulier une notice d'utilisation de toutes les composantes des équipements livrés, une description détaillée des procédures de maintenance et de petites réparations de tous les équipements, et les plans

techniques des équipements. Une notice d'instructions en langues française et anglaise devra être fournie. S'il s'agit d'une traduction, elle devra être accompagnée de la notice originale.

- Les plans du cryostat et du système de manipulation des gaz, incluant les dimensions doivent être fournis (avec l'offre technique), ainsi qu'un manuel d'utilisation (à la livraison, voir V).
- Les versions électroniques des plans doivent être fournies dans un format compatible avec le logiciel utilisé dans les travaux de conception du C2N (SolidWorks). Ceci inclut en particulier les plans de toutes les éléments structurels du cryostat, aux dimensions précises.
- Tous les documents associés à l'équipement seront fournis par le fabricant en langue française et anglaise : notice d'instruction, documentation technique, etc... La notice d'utilisation devra permettre à l'utilisateur d'utiliser le cryostat compte tenu des conditions définies par le constructeur et de prendre les mesures nécessaires pour que la mise en service, l'utilisation, la manutention, l'installation, le montage, le démontage, le réglage et la maintenance puissent s'effectuer sans risque.
- Elle précise notamment les limites d'utilisation et les contre-indications d'emploi. Elle doit comprendre les plans et schémas nécessaires pour que toutes les opérations de mise en service, d'entretien, de vérification et de réparation puissent s'effectuer de façon sûre. Elle doit si nécessaire donner des informations telles que des instructions d'apprentissage, les caractéristiques des outils, les prescriptions de montage pour diminuer le bruit et les vibrations....

## x. Conception

L'équipement sera conforme à la réglementation en vigueur, et notamment à la directive Machines 2006/42/CE.

La conformité à la réglementation sera attestée par le constructeur à l'aide de la déclaration CE de conformité et du marquage CE apposé sur la machine.

Le fabricant prendra entre autres toutes les mesures nécessaires pour réduire les risques à la conception de l'équipement (principe de la sécurité intrinsèque), et intégrera les protections nécessaires à la sécurité des personnes en termes de protection collective. Tous les risques seront symbolisés par des pictogrammes conformes à la norme ISO EN7010. Tous les organes de commande seront identifiés et seront en français. Des consignes sous forme de pictogrammes conformes seront apposés sur l'équipement et rappelleront la nécessité du port d'équipements de protection individuelle lorsque c'est nécessaire.

L'équipement devra être conçu de façon à faciliter les opérations de maintenance, de nettoyage, de réglage, de dépannage, de montage et de démontage d'outils ou de parties d'équipements. Le principe d'accessibilité de tous les éléments constitutifs sera respecté, et la conception de l'équipement devra tenir compte des principes élémentaires ergonomiques.

## xi. Sécurité générale



Le Titulaire devra participer à l'évaluation des risques dans le cadre de la rédaction du plan de prévention et/ou du protocole de chargement/déchargement. Il s'engage à respecter l'ensemble des dispositions et des mesures de prévention définies dans ces documents de sécurité.

## XII. Mesures de sécurité / respect de la législation en vigueur

Afin d'assurer l'application de la législation en vigueur quant aux normes de sécurité, un plan de prévention Hygiène et Sécurité sera défini, préalablement à la livraison des équipements. Il sera rédigé par le C2N en collaboration avec un représentant dûment habilité du titulaire.

Le plan de prévention précisera les modalités d'installation de l'équipement, les mesures de prévention à appliquer et les habilitations ou certifications obligatoires à présenter au C2N le cas échéant.

Le titulaire devra assurer une protection des locaux lors des travaux d'installation :

- a) Dans les zones à forte densité et régularité de circulation
- b) À chaque lieu où des charges particulièrement importantes devront être manutentionnées (chemin d'accès jusqu'au point de livraison)
- c) Aux endroits particulièrement exposés (vitres, angles très vifs, marches d'escalier, sols fragiles, etc.).

Il sera demandé au titulaire de ne pas provoquer le moindre dégât immobilier.

Pendant l'exécution des opérations, le titulaire prendra les précautions nécessaires pour ne pas causer de dégradations aux matériaux et ouvrages qui ne seraient pas de sa prestation.

Une aspiration à la source de toutes les poussières générées devra être effectuée par le titulaire (perçage, découpe par exemple), de même que le nettoyage du chantier.

Un état des lieux sera dressé avec le titulaire préalablement au démarrage de ses prestations, dans le cadre de son intervention puis un état des lieux contradictoire sera réalisé après les opérations d'installation des équipements.