

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

MARCHE DE FOURNITURES COURANTES ET DE SERVICES

FOURNITURE D'UN EQUIPEMENT DE RECHERCHE

Acquisition, livraison, installation et mise en service d'un cryostat à dilution sans hélium liquide équipé de câbles de mesures dc et micro-ondes.

Consultation n°2025-A113

Université Paris-Saclay

Bâtiment Breguet

3, Rue Joliot Curie

91190 Gif-sur-Yvette

Sommaire

1. PRESENTATION	4
1.1 Présentation de l'Université Paris Saclay et du Service Acheteur.....	4
1.2 Descriptif du projet	4
2. OBJET DU MARCHE.....	5
2.1 Libellé du marché.....	5
2.2 Description détaillée des prestations attendues	5
A. Fourniture de l'équipement.....	5
B. Fourniture et intégration du câblage expérimental	5
C. Livraison, installation et intégration sur site	5
D. Mise en service, essais et démonstration de fonctionnement.....	6
E. Formation, documentation et garantie.....	6
2.3 Caractéristiques techniques et fonctionnelles	6
2.3.1 Caractéristiques fonctionnelles	6
2.3.2 Caractéristiques techniques et performances attendues.....	7
2.3.3 Contraintes techniques.....	7
2.4 Durée du marché et délai d'exécution	8
3. PRESTATIONS DE BASE ET MODALITES D'EXECUTION (OFFRE DE BASE/TRANCHE FERME)	8
3.1 Livraison - Installation – Mise en Service	8
3.2 Assistance- Service après-vente	9
3.3 Formation à l'utilisation	9
3.5 Garantie.....	9

3.7	Logiciel - Evolutivité de la solution.....	9
3.8	Consommables.....	10
4	PRESTATIONS COMPLEMENTAIRES (PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES – TRANCHE FERME) / TRANCHES OPTIONNELLES).....	10
4.1	Prestations supplémentaires éventuelles (Tranche Ferme).....	10
4.2	Tranches optionnelles	10
5	ATTENTES PARTICULIERES VIS-A-VIS DU TITULAIRE DU MARCHE	11
5.1	Devoir de conseil	11
5.2	Devoir d'information.....	11
5.3	Obligation de résultat et clause de subrogation.....	11

1. PRESENTATION

1.1 Présentation de l'Université Paris Saclay

Née fin 2019 de la volonté conjugée d'universités et de grandes écoles, l'Université Paris-Saclay compte parmi les grandes universités européennes et mondiales.

Avec 16 500 personnels académiques, techniques et administratifs et 48 000 étudiants, elle constitue un pôle dense, actif, couvrant les secteurs des Sciences et Ingénierie, des Sciences de la vie et Santé et des Sciences Humaines et Sociales.

Sa politique scientifique associe étroitement recherche et innovation et s'exprime à la fois en sciences fondamentales et en sciences appliquées pour répondre aux grands enjeux sociétaux.

Du premier cycle au doctorat, en passant par des licences, des B.U.T., des masters et des programmes de grandes écoles, l'Université Paris-Saclay déploie une offre de formation sur un large spectre de disciplines, au service de la réussite et de l'insertion professionnelle. Au-delà, elle prépare les étudiants à une société en pleine mutation, où l'esprit critique, l'agilité et la capacité à renouveler ses compétences sont clés. L'Université Paris-Saclay propose également un riche programme de formations tout au long de la vie.

Située au sud de Paris, sur un vaste territoire regroupant une vingtaine de campus répartis sur 15 communes franciliennes, l'Université Paris-Saclay bénéficie d'une position géographique et socio-économique favorisant à la fois sa visibilité internationale et des liens étroits avec ses partenaires - grands groupes industriels, PME, start-up, collectivités territoriales -.

1.2 Descriptif du projet

Le projet porte sur l'acquisition d'un cryostat à dilution en cycle fermé fonctionnant sans hélium liquide, de type tube pulsé. L'équipement comprendra l'ensemble des composants nécessaires à son fonctionnement nominal, notamment le mélange He3/He4, les systèmes de pompage et de compression, l'instrumentation de thermométrie, ainsi que le système de pilotage et de contrôle... Le cryostat sera également doté de l'ensemble des lignes de mesure, de type courant continu (DC) et micro-ondes, incluant les câbles et connecteurs, assurant la liaison depuis la température ambiante jusqu'à la platine à très basse température.

2. OBJET DU MARCHÉ

2.1 Libellé du marché

Le présent marché a pour objet l'acquisition, la livraison, l'installation et la mise en service d'un cryostat à dilution sans hélium liquide équipé de câbles de mesures dc et micro-ondes.

2.2 Description détaillée des prestations attendues

Le présent marché comprend l'achat d'un cryostat à dilution (dont Hélium 3) équipé de câbles de mesures dc et micro-ondes. Le titulaire devra assurer une prestation complète « clé en main » comprenant :

A. Fourniture de l'équipement

- La fourniture d'un cryostat à dilution sans hélium liquide, de type tube pulsé, conforme aux caractéristiques techniques et fonctionnelles définies au présent marché.
- La fourniture de l'Hélium 3 en quantité nécessaire au fonctionnement du cycle de dilution.
- La fourniture de l'ensemble des sous-systèmes nécessaires à son fonctionnement, incluant notamment le système de dilution, les systèmes de pompage et de compression, le système de gestion et de contrôle, les écrans thermiques et magnétiques, ainsi que tous les accessoires associés.
- Le système devra être équipé d'un réservoir de stockage (dump) capable de récupérer l'intégralité du mélange gazeux de manière passive (sans électricité) en cas de réchauffement accidentel ou de coupure d'électricité prolongée.

B. Fourniture et intégration du câblage expérimental

- La fourniture, l'installation et l'intégration complète des lignes de mesure électriques et micro-ondes requises pour l'exploitation scientifique du cryostat.
- Cette prestation comprend notamment :
 - Les câbles de mesure DC, résistifs et faiblement résistifs/supraconducteurs, leurs connectiques, ancrages thermiques et interfaces à température ambiante.
 - Les lignes micro-ondes coplanaires, les câbles semi-rigides, les atténuateurs, les connecteurs et les interfaces nécessaires.
 - Les éléments de câblage et d'alimentation permettant l'intégration d'amplificateurs micro-ondes bas bruit à l'étage 4 K, fournis par l'Université Paris-Saclay.
- L'ensemble du câblage devra être installé, ancré thermiquement et testé sur chacun des étages de refroidissement.

C. Livraison, installation et intégration sur site

- La livraison du système complet sur le site de l'Université Paris-Saclay.

- L'installation mécanique du cryostat et de ses équipements annexes (compresseur, ballon de mélange, vannes, etc.), en conformité avec les contraintes d'encombrement et d'implantation du local.
- L'intégration du cryostat dans son environnement expérimental, incluant le châssis, les interfaces utilisateur et les connexions nécessaires.

D. Mise en service, essais et démonstration de fonctionnement

- La mise en service complète du cryostat et de ses sous-systèmes.
- La réalisation des essais fonctionnels et de performance permettant de vérifier la conformité aux spécifications techniques du marché.
- La réalisation d'une démonstration de fonctionnement du système, incluant un cycle complet de refroidissement et de réchauffement.

E. Formation, documentation et garantie

- La formation des utilisateurs à l'exploitation, à la sécurité et aux opérations courantes du cryostat.
- La fourniture de la documentation technique complète (manuel utilisateur, schémas, procédures d'exploitation et de sécurité).
- La garantie du bon fonctionnement de l'ensemble du système conformément aux conditions du marché.

2.3 Caractéristiques techniques et fonctionnelles

2.3.1 Caractéristiques fonctionnelles

1. Le système de gestion du cryostat doit garantir la mise en sécurité du système en cas de coupure de courant.
2. Le système de gestion du cryostat doit permettre un contrôle automatisé du système et, en particulier, de sa mise à froid.
3. Le cryostat sera équipé d'écrans au moins sur les étages à 50K et à 4K.
4. Le système sera pourvu d'un écran de type μ -métal permettant l'écrantage des champs magnétiques à température ambiante.
5. Le cryostat comprendra au moins 3 ports d'accès (pour les câbles) de diamètre supérieur ou égal à 25mm dont un au moins restera bouchonné afin de laisser une possibilité d'évolution.
6. Câbles (≥ 12) de mesures DC de type paires twistées. Une première partie des câbles de la température ambiante jusqu'à la plaque à 4K sera constitué de matériaux résistifs (type PhBr ou autre, Résistance ≤ 10 Ohms à froid), une deuxième partie de 4K jusqu'à la température de base comprendra également des matériaux résistifs (type PhBr ou autre, Résistance ≤ 20 Ohms à froid). Chaque section de câble devra se terminer avec des connecteurs de type micro-D 25 branches. Chaque câble sera thermiquement ancré sur chacun des étages de refroidissement. L'accès aux câbles à température ambiante se fera soit à partir d'un bornier de connecteurs BNC soit par un connecteur multiport de type Fischer ou autre.
7. Câbles (≥ 12) de mesures DC de type paires twistées. Une première partie des câbles de la

température ambiante jusqu'à la plaque à 4K sera constitué de matériaux peu résistifs (type Cu ou autre, Résistance ≤ 2 Ohms à froid), une deuxième partie de 4K jusqu'à la température de base comprendra des matériaux supraconducteurs (type NbTi ou autre). Chaque section de câble devra se terminer avec des connecteurs de type micro-D 25 branches. Chaque câble sera thermiquement ancré sur chacun des étages de refroidissement. L'accès aux câbles à température ambiante se fera soit à partir d'un bornier de connecteurs BNC soit par un connecteur multiport de type Fischer ou autre. La résistance totale de la température ambiante à la chambre de mélange ne devra pas excéder 3 Ohms à froid.

8. Six lignes coplanaires micro-ondes avec des câbles semi-rigides permettant des mesures jusqu'à 18 GHz.
 - Quatre de ces lignes, dédiées à la descente des micro-ondes, seront constitués de la température ambiante jusqu'à la plaque à 4K par des matériaux résistifs (type SCuNi ou autre), et de 4K jusqu'à la température de base par des matériaux résistifs également (type SCuNi ou autre).
 - Les 2 autres lignes, dédiées à la remontée des micro-ondes, seront également séparées en 2 parties, formées de matériaux supraconducteurs (type NbTi ou autre) entre la chambre de mélange et l'étage à 4K et de matériaux résistifs (type SCuNi ou autre) entre 4K et 300K. Un espace devra être prévu pour connecter des amplificateurs micro-ondes fournis par l'Université Paris Saclay (de type LNF-LNC4_8C ou LNF-LNC0.3_14A par exemple) à la plaque à 4K.
 - Chaque section de câble devra se terminer avec des connecteurs de type SMA et le passage au travers chaque étage de la dilution se fera grâce à des atténuateurs cryogéniques soigneusement choisis et ancrés thermiquement sur chacun des étages.
 - L'accès aux câbles à température ambiante se fera à partir d'un bornier de connecteurs SMA contenant au moins 6 connecteurs étanches.
9. Eléments de câblage pour alimenter au moins 2 amplificateurs micro-ondes bas bruit sur l'étage à 4K (type LNF-LNC4_8C ou LNF-LNC0.3_14A par exemple).
10. Le volume disponible au contact et autour de la chambre à mélange devra être suffisant pour ancrer thermiquement et électriquement des circulateurs magnétiquement blindés, 1 amplificateur paramétrique avec coupleur directionnel et un porte échantillon.

2.3.2 Caractéristiques techniques et performances attendues

11. Température de base ≤ 30 mK.
12. Puissance de refroidissement sur la plaque de la chambre de mélange : ≥ 150 μ W à 100 mK
13. Temps de refroidissement (à vide) à la température de base inférieur ou égal à 16 h et temps de réchauffement inférieur ou égal à 12h.
14. Le titulaire devra préciser les niveaux de vibrations mécaniques au niveau de la platine de mélange ($< 1 \mu$ m).

2.3.3 Contraintes techniques

15. Volume expérimental : diamètre chambre de mélange > 140 mm, distance entre chambre de mélange et écran ≥ 140 mm.
16. Le système sera fourni avec un châssis permettant son installation dans une pièce avec 2m80 de

hauteur sous plafond.

17. La partie annexe comportant compresseurs, ballon de mélange, vannes... devra être d'une hauteur inférieure à 220cm, d'une largeur strictement inférieure à 80cm et d'une profondeur strictement inférieure à 120cm.

2.4 Durée du marché et délai d'exécution

La durée globale du marché est de **48 mois** à compter de sa date de notification

Le délai maximum de livraison **pour le système complet est de 18 mois** à compter de la date de notification du marché

Le délai maximum d'installation et de mise en service est de **1 mois** à compter de la date de livraison sur site

Le délai de formation à assurer est de : **1 mois** après l'installation et la mise en service de l'équipement.

3. PRESTATIONS DE BASE ET MODALITES D'EXECUTION (OFFRE DE BASE/TRANCHE FERME)

3.1 Livraison - Installation – Mise en Service

Adresse de livraison et d'installation :

Laboratoire de Physique des Solides
UMR 8502 – CNRS – Université Paris Saclay
Bât 510
1, rue Nicolas Appert
91405 Orsay Cedex
France

Modalités de livraison :

La livraison du cryostat et de ses équipements annexes sera effectuée sur le site de l'Université Paris-Saclay, à l'adresse indiquée ci-dessus. Elle inclura le transport, la manutention, le déballage et la mise en place dans le local d'installation. Le titulaire restera responsable du matériel jusqu'à sa réception sans réserve par le pouvoir adjudicateur. La livraison donnera lieu à une réception sur site, préalable à l'installation et à la mise en service. La réception ne sera prononcée qu'après vérification de la température de base avec l'intégralité du câblage (DC et RF) installé et sous tension, afin de prouver que la charge thermique des câbles ne dégrade pas significativement les performances nominales.

3.2 Assistance- Service après-vente

La société devra disposer d'un service après-vente (SAV) assuré par des ingénieurs ou techniciens qualifiés, disposant de compétences avérées dans les systèmes de cryogénie pour très basses températures, et plus particulièrement dans les cryostats à dilution.

L'offre technique devra préciser :

- Un numéro de téléphone auquel le SAV puisse être contacté
- Une assistance technique à distance en cas de système connecté
- Un temps de réaction rapide pendant la durée de la garantie (moins de 7 jours ouvrés)

3.3 Formation à l'utilisation

Une formation devra être assurée pour au moins 2 personnes, en français ou en Anglais et sur site. La formation devra inclure l'utilisation du cryostat et des différents modules logiciels mais également les opérations de maintenance simple. Une documentation digitale complète (supports documentaires) pour l'utilisation devra être disponible pour consultation ultérieure.

3.4 Garantie

Les prestations feront l'objet d'une garantie d'au moins 2 ans dont le point de départ est la date de notification de la décision d'admission.

Les modalités minimales de cette garantie sont les suivantes :

Cette garantie couvre l'ensemble des équipements et prestations fournis. Elle inclut la prise en charge des défauts de fonctionnement, des pièces, de la main-d'œuvre et des déplacements nécessaires à la remise en état du système pendant toute sa durée.

Le titulaire doit intervenir (à distance ou sur site) au maximum sous 8 jours ouvrés.

3.5 Logiciel - Evolutivité de la solution

Le cryostat devra être piloté par un logiciel de contrôle permettant une exploitation automatisée et sécurisée du système, incluant la mise à froid, le fonctionnement nominal et le réchauffement. Le logiciel devra assurer la supervision des paramètres de fonctionnement et la mise en sécurité automatique du système en cas d'anomalie ou de coupure d'alimentation.

La solution logicielle devra permettre l'accès, la visualisation et l'exploitation des données issues du cryostat, notamment les températures et autres paramètres de fonctionnement.

Elle devra être évolutive et permettre l'intégration de mises à jour logicielles lorsqu'elles sont disponibles ou nécessaires, sans remise en cause du fonctionnement du système. Le titulaire fournira la documentation logicielle nécessaire à l'exploitation et à la maintenance du système.

Le cryostat doit disposer de ports 'blancs' (bouchonnés) supplémentaires pour permettre l'ajout futur de nouvelles lignes de mesure (fibres optiques, câbles coaxiaux supplémentaires) sans perçage des brides d'origine.

Sécurité Informatique : Le système de pilotage logiciel fourni doit être compatible avec les exigences de sécurité de la DSI de l'Université. Le Titulaire doit préciser si une connexion internet permanente est requise (ex : pour le diagnostic à distance via Team Viewer/VPN) et garantir que les protocoles utilisés sont sécurisés.

Protection Antivirale : Le PC de contrôle doit être livré avec un système d'exploitation à jour, dépourvu de logiciels tiers non nécessaires et compatible avec l'antivirus de l'établissement.

Sécurité Physique : Le Titulaire s'engage à respecter les consignes d'accès aux locaux de l'Université Paris Saclay. En cas de télémaintenance, celle-ci ne pourra se faire qu'avec l'autorisation explicite et ponctuelle de l'administrateur système de l'Université.

3.6 Consommables

Le titulaire devra identifier et préciser l'ensemble des consommables et éléments de maintenance nécessaires au fonctionnement du cryostat, notamment ceux liés aux systèmes de pompage et au tube pulsé (tels que huiles, filtres, joints ou pièces d'usure).

Le titulaire précisera, pour chacun de ces éléments, la périodicité de remplacement ou d'entretien, ainsi que les modalités d'approvisionnement.

4 PRESTATIONS COMPLEMENTAIRES (PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES – TRANCHE FERME) / TRANCHES OPTIONNELLES)

4.1 Prestations supplémentaires éventuelles (Tranche Ferme)

Extension de garantie possible

4.2 Tranches optionnelles

- Néant

5 ATTENTES PARTICULIERES VIS-A-VIS DU TITULAIRE DU MARCHÉ

5.1 Devoir de conseil

Le titulaire, du fait de son expertise, est tenu de conseiller ses interlocuteurs du LPS de l'Université Paris Saclay sur les modalités d'exécution des prestations. Ce devoir de conseil s'exerce au fil de l'exécution des prestations : il peut porter sur l'organisation mise en œuvre, les modalités d'approvisionnement, plus spécifiquement sur tout point lié à l'objet du marché qui pourrait faire l'objet de propositions d'optimisation, et, de ce fait, à la réduction des coûts.

5.2 Devoir d'information

Le titulaire s'engage à informer ses interlocuteurs du LPS de l'Université Paris Saclay de toute modification de la réglementation, de la norme en vigueur, de son processus de production, [relatif à l'objet du présent marché](#).

5.3 Obligation de résultat et clause de subrogation

Le titulaire est assujéti à une obligation de moyen et à une obligation de résultat (l'équipement ne doit pas être indisponible).

En cas d'incapacité du fournisseur à remettre en service l'équipement dans le délai contractuel pour quelque raison que ce soit (manque de pièce, coût d'intervention trop élevé...) le fournisseur pourra proposer un matériel de remplacement sans pour autant s'exonérer des pénalités prévues au marché.

Le titulaire fournira un kit de maintenance de premier niveau (joints, fusibles, filtres compresseur) inclus dans l'offre de base.

Le titulaire doit préciser le coût et la périodicité de la révision majeure du compresseur et de la tête du tube pulsé (typiquement toutes les 20 000 h).