



**FOURNITURE, LIVRAISON, INSTALLATION, MISE EN
SERVICE, FORMATION ET GARANTIE D'UN SYSTEME DE
DETECTION DE PHOTONS UNIQUES A BASE DE
NANOFILS SUPRACONDUCTEURS (SNSPD) REFROIDI A
L'HELIUM EN CIRCUIT FERME POUR LE COMPTE DU
LPCNO-CNRS**

MARCHE N°26.14.009

**CAHIER DES CLAUSES
TECHNIQUES PARTICULIERES
N°26092 DU 06/03/2026**

SOMMAIRE

MARCHE N°26.14.009	1
PREAMBULE	3
ARTICLE 2 - DESCRIPTIF DU BESOIN A SATISFAIRE	3
2.1. Descriptif du besoin à satisfaire – détecteur de photons uniques résolu en temps.....	3
2.3. Descriptif du besoin à satisfaire – extension de garantie	4
ARTICLE 3 - PERFORMANCE TECHNIQUE – NORMES – MARQUAGE	4
ARTICLE 4 - PERFORMANCE ECOLOGIQUE	4
ARTICLE 5 – EMBALLAGE ET TRANSPORT	5
ARTICLE 6 – CONTRAINTES SECURITAIRES	5
ARTICLE 7 – LIVRAISON	5
ARTICLE 8 – OPERATIONS DE VERIFICATION.....	6
ARTICLE 9 - FORMATION.....	6
ARTICLE 10 - LIVRABLES	6
ARTICLE 11 – SUPPORT TECHNIQUE ET SERVICE APRES-VENTE	6
11.1 Logiciels.....	7
11.2 Support technique.....	7
11.3 Délais d'intervention en cas de panne	7
11.4 Délais de mise au point ou de réparation en cas de panne.....	7

PREAMBULE

Le marché a pour objet la fourniture, la livraison, l'installation, la mise en service, la formation et la garantie d'un système de détection de photons uniques résolu en temps à base de nano-fils supraconducteurs dans un cryostat à hélium liquide en circuit fermé.

Ce marché s'inscrit au sein du projet de recherche subventionné par des fonds CPER dans lequel l'équipe « Optoélectronique quantique », concernée par la fourniture objet du marché, s'intéresse à l'étude des propriétés optiques de structures semiconductrices, notamment à base de matériaux 2D.

ARTICLE 2 - DESCRIPTIF DU BESOIN A SATISFAIRE

L'équipement, objet du présent marché, sera une des pièces-maîtresses de différents projets de recherche visant à explorer les propriétés optiques de structures semiconductrices, notamment à base de matériaux 2D.

Le défi de ce type d'expériences réside dans le fait de pouvoir détecter l'émission de photons uniques sur une large gamme spectrale, allant du visible jusqu'au proche infra-rouge. C'est particulièrement pour les longueurs d'onde télécom (1.3-1.5 μm) que le LPCNO a besoin d'un nouveau détecteur complémentaire à ceux déjà opérationnels au laboratoire, pour étendre ses possibilités d'études optiques. Une attention particulière sera portée à la résolution temporelle du détecteur pour permettre des mesures résolues en temps à une échelle picoseconde.

Le système permettra en outre l'étude de corrélations de photons de différentes longueurs d'onde, ce qui ouvrira un axe de recherche nouveau et prometteur pour l'équipe.

Ainsi, en alliant sensibilité au photon unique, résolution temporelle à la dizaine de picoseconde, large gamme spectrale et comptage / corrélation de photons, ce système sera un outil très polyvalent et versatile pour l'étude de structures semiconductrices de différents matériaux.

2.1. Descriptif du besoin à satisfaire – détecteur de photons uniques résolu en temps

Le Titulaire doit fournir un détecteur de photons uniques neuf à base de nanofils supraconducteurs au sein d'un cryostat en circuit fermé d'hélium (à fournir au titre du présent marché). Du fait de la diversité des matériaux semiconducteurs étudiés par l'équipe (notamment les matériaux 2D), le système de détection doit présenter une gamme spectrale de fonctionnement étendue, une haute efficacité et un faible bruit pour des expériences résolues en temps et/ou d'optique quantique.

Le système doit ainsi répondre à l'ensemble des caractéristiques ci-dessous :

- Système cryogénique permettant d'accueillir au moins 10 détecteurs de photons uniques à base de nanofils supraconducteurs,
- Type de refroidissement : cryostat à hélium en circuit fermé permettant d'atteindre des températures inférieures à 3K,
- Compresseur :
 - Refroidissement par air ou par eau,
 - Alimentation : 220V, 50Hz,
- Lignes flexibles : 2 lignes flexibles entre le compresseur et le cryostat de minimum 3 m sous pression d'hélium,
- Accès optiques fibrés avec connecteurs de type FC/APC pour la partie externe,
- 4 détecteurs supraconducteurs optimisés à 1550 nm avec une efficacité de détection $\geq 80\%$, une résolution temporelle (jitter électronique) ≤ 30 ps, un bruit noir ≤ 100 coups par seconde (cps) et un taux de comptage ≥ 5 Mcps
- 2 détecteurs supraconducteurs optimisés à 1064 nm avec une efficacité de détection $> 80\%$, une résolution temporelle (jitter électronique) ≤ 30 ps, un bruit noir ≤ 100 coups par seconde (cps) et un taux de comptage ≥ 5 Mcps
- 1 détecteur supraconducteur optimisé à 2000 nm avec une efficacité de détection $\geq 60\%$, une résolution temporelle (jitter électronique) ≤ 50 ps, un bruit noir ≤ 5000 coups par seconde (cps) et un taux de comptage ≥ 5 Mcps

- 1 détecteur supraconducteur couplé à une fibre optique multimode de 50 µm de diamètre de cœur avec une efficacité de détection > 40 % à 1064 nm ou à 1550 nm, une résolution temporelle ≤ 100 ps, un bruit noir ≤ 500 cps et un taux de comptage ≥ 1 Mcps
- Electronique de contrôle :
 - A fournir par le Titulaire,
 - Nombre de voies (minimum) : 10,
 - Réglage du courant de polarisation,
 - Amplification, mise en forme et polarité des impulsions détectées compatibles avec les modules de comptage de photons déjà présents au laboratoire
 - Connecteurs de sortie : SMA,
 - Pas de rebond électronique post-signal (« afterpulsing »)
- Logiciel de pilotage et d'acquisition : à fournir par le Titulaire.
L'offre du Titulaire décrit le logiciel de pilotage et d'acquisition proposé.
- Drivers : drivers compatibles Labview et Python à fournir par le Titulaire.

L'électronique de contrôle doit être compatible avec les modules déjà présents au laboratoire - cf. caractéristiques techniques ci-dessous :

- i. Module de comptage de photons PicoHarp 330 de chez PicoQuant (2 entrées et une entrée de synchronisation)
- ii. Module de comptage de photons Swabian TimeTaggerX (4 entrées et une entrée de synchronisation)

2.3. Descriptif du besoin à satisfaire – extension de garantie

Selon ses besoins et durant la validité du marché, le LPCNO pourra commander des prestations d'extension de garantie d'une durée de 12, 24 et/ou 36 mois.

La règle de principe est la suivante : les prestations d'extension de garantie ne peuvent débuter qu'à l'issue de la période de garantie en cours.

Les prestations d'extension de garantie s'exercent à minima dans les mêmes conditions que la garantie initiale. Le Titulaire peut proposer en complément des visites de maintenance préventive pendant la durée d'extension de garantie. Le cas échéant, l'offre du Titulaire précise le nombre de visites et les opérations effectuées pendant les visites.

Sur la base du marché, la durée cumulée des prestations d'extension de garantie ne pourra pas dépasser 36 mois au total à compter de la fin de la garantie initiale.

Si la durée maximale n'est pas atteinte, le LPCNO a la possibilité de commander une nouvelle extension de garantie. Dans ce cas, les prestations commandées débutent à l'issue de la période d'extension de garantie en cours.

ARTICLE 3 - PERFORMANCE TECHNIQUE – NORMES – MARQUAGE

Les fournitures proposées au titre du marché doivent être conformes aux normes européennes en vigueur au moment de la livraison.

Le respect des prescriptions légales, prises de terre notamment, et, d'une manière générale, de la réglementation sur l'emploi des matériels livrés incombe à l'acheteur. Celui-ci déclare disposer d'un emplacement ou d'une installation électrique conforme aux spécifications techniques fournies par le Titulaire.

Le marquage CE doit être apposé sur l'équipement. Il doit être visible, lisible et indélébile.

Les fournitures doivent être munies d'une plaque portant le nom du fabricant, le type d'équipement et le n° de fabrication.

ARTICLE 4 - PERFORMANCE ECOLOGIQUE

Le Titulaire fait ses meilleurs efforts pour réduire l'impact écologique des prestations fournies au titre du marché, notamment :

- En traitant les déchets liés à la fabrication et au transport de l'équipement pour en réduire les impacts écologiques négatifs ;
- En proposant un équipement économe en énergie ;
- En proposant des moyens de transport respectueux de l'environnement.

L'offre du Titulaire précise la durée de disponibilité et de commercialisation des pièces détachées par rapport à la date d'acquisition.

Le Titulaire doit privilégier, chaque fois que possible, des modalités d'exécution des prestations limitant les déplacements et, par conséquent, l'empreinte carbone associée.

A cet effet, les prestations ci-dessous doivent être réalisées selon les modalités suivantes :

- Installation :
 - L'installation peut être effectuée par le laboratoire, sous la responsabilité et supervision à distance du Titulaire (tutoriels vidéo, visioconférence, documentation technique détaillée, etc.),
 - Si une intervention sur site est indispensable, le Titulaire doit proposer un plan de déplacement optimisé (regroupement des interventions, utilisation de transports bas carbone, etc.)
- Mise en service :
 - La mise en service peut être effectuée à distance par le Titulaire, sous sa responsabilité (outils de télémaintenance, accès sécurisé aux systèmes, etc.),
 - Si une intervention sur site est indispensable, le Titulaire doit proposer un plan de déplacement optimisé (regroupement des interventions, utilisation de transports bas carbone, etc.)
- Formation :
 - La formation peut être dispensée à distance par le Titulaire,
 - En cas de besoin avéré de formation en présentiel, le Titulaire doit proposer un plan de déplacement optimisé (regroupement des interventions, utilisation de transports bas carbone, etc.).

Conformément à l'article 31 du CCAG-FCS, le transfert de propriété entre le Titulaire et le CNRS est effectué à l'admission définitive des prestations, peu importe si l'installation et la mise en service ont été effectuées à distance ou sur site.

Si au cours de l'installation et/ou de la mise en service à distance l'intervention du Titulaire sur site est rendue nécessaire, le Titulaire doit intervenir à ses frais (déplacement, hébergement et main d'œuvre) en respectant le délai sur lequel il s'est engagé dans son offre (cf. cadre de réponse technique – informations complémentaires). Dans le cas du non-respect de ce délai, le Titulaire encourt une pénalité telle que décrite à l'article 9.2 du CCAP n°26091.

ARTICLE 5 – EMBALLAGE ET TRANSPORT

Les risques afférents au transport et à la livraison de l'équipement sont à la charge du Titulaire.

La récupération des emballages relative à l'équipement est à la charge du Titulaire.

Le Titulaire est incité à utiliser un emballage respectueux de l'environnement.

ARTICLE 6 – CONTRAINTES SECURITAIRES

L'instrument doit respecter les exigences essentielles de santé et de sécurité énumérées dans la directive dite « Machines » 2006/42/CE.

L'instrument fourni par le Titulaire doit être conforme à la directive Européenne 2011/65/UE visant à limiter l'utilisation de substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

ARTICLE 7 – LIVRAISON

La livraison doit être effectuée au lieu indiqué ci-dessous :

Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-objets (LPCNO)

ARTICLE 8 – OPERATIONS DE VERIFICATION

Les opérations de vérification qualitatives et quantitatives sont effectuées en deux étapes, dans les conditions décrites ci-dessous :

- **Etape n°1 : vérification d'aptitude**

Le système de détection de photons est admis provisoirement après la réalisation et la validation par le LPCNO de l'ensemble des étapes ci-dessous :

1. Pré-réception en usine avant expédition de l'équipement.
Les spécifications techniques des équipements proposés seront validées par le LPCNO avec le Titulaire avant expédition de l'équipement. Le Titulaire devra réaliser les tests standards (tests constructeurs) au moment de la pré-réception pour démontrer que les spécifications techniques attendues sont bien présentes. La pré-réception en usine pourra se dérouler en visioconférence. La date sera déterminée d'un commun-accord entre le LPCNO et le Titulaire.
Le Titulaire doit remettre à l'issue de la pré-réception un compte-rendu des échanges et un rapport sur les tests réalisés.
2. Livraison de l'équipement sur le site du LPCNO,
3. Installation de l'équipement,
4. Mise en service de l'équipement,
5. Réalisation du protocole de test du fournisseur.
Un rapport de test rédigé par le Titulaire sera remis à l'acheteur dans un délai de 7 jours après la date de mise en service de l'équipement.
6. Réalisation de la formation.
7. Remise des livrables.

- **Etape n°2 : vérification du service régulier**

Le système de détection de photons est admis définitivement après la période de service régulier.

Pendant la durée du service régulier, le LPCNO testera la résolution temporelle des 8 détecteurs pendant une durée de 15 jours à compter de la validation de la vérification d'aptitude.

ARTICLE 9 - FORMATION

Le marché inclut, à la charge du Titulaire, la dispense d'une formation à l'utilisation du système et des logiciels pour 4 à 5 personnes.

ARTICLE 10 - LIVRABLES

A minima, le Titulaire fournit l'ensemble des documents listés ci-dessous :

- Documentation technique détaillée du système et des logiciels (en français ou en anglais).

ARTICLE 11 – SUPPORT TECHNIQUE ET SERVICE APRES-VENTE

Les prestations de service après-vente du Titulaire s'exécutent durant toute la période de garantie (extension de garantie le cas échéant).

Le Titulaire s'engage à assurer dans le cadre de le marché, le service après-vente décrit dans le mémoire technique qu'il a remis dans sa réponse à l'appel d'offres. Les éléments qui y figurent sont :

- Les conditions d'assistance aux utilisateurs ;

- Les horaires et jours d'ouverture du SAV ;
- Les coordonnées du SAV ;
- Les modalités d'intervention ;
- Les délais de réponse du support technique ;
- Les délais d'intervention en cas de panne ;
- Les moyens mis en œuvre sur les équipements en cas de panne.

En tout état de cause, le service après-vente prévoit au minimum et sans surcoût pendant la durée de garantie (extension de garantie comprise le cas échéant) les services décrits ci-dessous :

11.1 Logiciels

Le service après-vente du Titulaire inclut au minimum :

- Les mises à jour et changements de version des logiciels ;
- Les mises à jour des logiciels de traitement des données.

La mise à jour s'entend comme une évolution dans une même version du logiciel.

Les autres engagements du Titulaire concernant les logiciels figurent dans son offre.

11.2 Support technique

Le service après-vente du Titulaire inclut un support technique (y compris sur les logiciels) gratuit et illimité pendant les jours ouvrés pendant toute la période de garantie de l'équipement.

Le support technique est accessible par téléphone (appel non surtaxé) et par courriel.

Le délai de réponse sur lequel s'engage le Titulaire est indiqué dans son offre technique.

Dans le cas du non-respect de ce délai, le Titulaire encourt une pénalité telle que décrite à l'article 9.2 du CCAP n°26091.

Les autres engagements du Titulaire concernant le support technique figurent dans son offre.

11.3 Délais d'intervention en cas de panne

Pendant toute la période de garantie, le Titulaire a une obligation de résultat concernant le respect des délais d'intervention sur site en cas de panne de l'équipement acheté en application du présent marché.

La demande d'intervention par le bénéficiaire peut être effectuée par téléphone, confirmée par voie électronique ou par télécopie. L'enregistrement de la demande d'intervention doit faire l'objet d'une confirmation écrite (courriel ou télécopie) par le Titulaire.

Le délai d'intervention commence dès l'enregistrement de la demande d'intervention du Bénéficiaire par le Titulaire.

Le délai d'intervention sur lequel s'engage le Titulaire est indiqué dans son offre.

Dans le cas du non-respect de ce délai, le Titulaire encourt une pénalité telle que décrite à l'article 9.2 du CCAP n°26091.

11.4 Délais de mise au point ou de réparation en cas de panne

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

Conformément aux stipulations de l'article 33.3 du CCAG FCS, 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 du Directeur du LPCNO ou son représentant (bénéficiaire), après consultation du Titulaire.

Le point de départ de ce délai de mise au point ou de réparation en cas de panne commence à la date de première intervention sur site du Titulaire ou en cas d'absence d'intervention du Titulaire, à la date de la demande d'intervention du bénéficiaire.

Passé ce délai, le Titulaire encourt des pénalités telles que fixées à l'article 9.2 du CCAP n°26091.

En cas de retour à l'usine de l'équipement pour réparation, les frais d'expédition aller et retour sont à la charge du Titulaire.