



**FOURNITURE D'UN PEIGNE DE FREQUENCE OPTIQUE  
STABILISE (PFO)  
POUR LE COMPTE DU LABORATOIRE D'ANALYSE ET  
D'ARCHITECTURE DES SYSTEMES (LAAS) - CNRS**

**PROCEDURE N°25.14.029**

**CAHIER DES CLAUSES  
TECHNIQUES PARTICULIERES  
N°25352 DU 25/07/2025**

# SOMMAIRE

PROCEDURE N°25.14.029 .....	1
PREAMBULE – CONTEXTE DE L’ACHAT ET OBJET DE LE MARCHÉ .....	3
ARTICLE 2 - DESCRIPTIF DU BESOIN A SATISFAIRE .....	3
ARTICLE 3 - PERFORMANCE TECHNIQUE – NORMES – MARQUAGE .....	5
ARTICLE 4 - PERFORMANCE ECOLOGIQUE .....	5
ARTICLE 5 – EMBALLAGE ET TRANSPORT .....	5
ARTICLE 6 – CONTRAINTES SECURITAIRES .....	5
ARTICLE 7 – LIVRAISON .....	6
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.....	6
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 – CONTEXTE DE L'ACHAT ET OBJET DE LE MARCHE

Dans le cadre du projet Equipex T-Refimeve, le LAAS-CNRS souhaite acquérir un peigne de fréquence optique (PFO) stabilisé. Cet équipement permettra de bénéficier du signal de référence de fréquence de Refimeve (<https://www.refimeve.fr>), à 1542 nm, pour effectuer des analyses spectrales ultra-précises dans le domaine optique infra-rouge. Il permettra également de diviser en fréquence un signal optique de référence pour obtenir un signal micro-onde ultra-stable. Il sera couplé à d'autres équipements existants comme un analyseur de spectre optique très haute résolution et un analyseur de bruit de phase RF. Il renforcera donc la base de métrologie des fréquences du LAAS.

## ARTICLE 2 - DESCRIPTIF DU BESOIN A SATISFAIRE

Le PFO **doit pouvoir être référencé sur le signal fourni par le réseau de l'EQUIPEX T-REFIMEVE** tel qu'il arrive dans le laboratoire. Ce signal est une raie à 1542.14 nm de puissance -25 dBm. Il doit comprendre un module spécifique pour 1) détecter le battement avec cette référence et 2) verrouiller le PFO sur cette référence.

Le PFO **doit être auto-stabilisé**, c'est-à-dire que la fréquence de décalage enveloppe-porteuse  $f_{ceo}$  (CEO = Carrier Enveloppe Offset) devra pouvoir être stabilisée ou annulée. **Le cas d'un  $f_{ceo}$  nul est intéressant** car il simplifie le comptage des raies du peigne et élimine une source de bruit liée au verrouillage en gamme RF de la fréquence de décalage  $f_{ceo}$ .

Le PFO **doit pouvoir être référencé sur un signal en gamme radio-fréquence**, dans le cas où la référence optique de REFIMEVE serait momentanément indisponible.

Le PFO doit couvrir **au minimum la gamme 1500-1600 nm**, qui correspond aux applications de télécommunications ou encore optique-hyperfréquences. La puissance des raies du peigne sur cette bande doit être suffisante pour les applications visées et donc dépasser les -30 dBm sur la bande et les -25 dBm en centre de bande (1550 nm).

Le PFO **doit également être évolutif** pour permettre à terme des extensions vers d'autres gammes de fréquence.

L'espacement entre les raies spectrales du PFO devra être d'au moins 100 MHz, et si possible de 200 MHz, pour permettre d'isoler aisément ces raies avec le matériel déjà disponible au laboratoire dans cette gamme de fréquences optiques.

**Le bruit de phase de la fréquence de répétition  $f_{rep}$**  du PFO en mode libre (non verrouillé sur une référence optique, mais auto-stabilisé) devra être le plus faible possible. En effet, ce bruit de phase est susceptible de dégrader le signal suivant la qualité (le gain) du verrouillage. Il est également représentatif des performances du laser à modes verrouillés qui constitue le cœur du système. Un tel critère permet le transfert de pureté spectrale de l'optique vers les micro-ondes par division de fréquence. Il est d'autant plus efficace lorsque la fréquence  $f_{ceo}$  est nulle car aucun générateur en gamme RF n'est requis dans le système.

Le bruit de phase optique de chaque raie, une fois le PFO verrouillé sur une référence, devra également être le plus faible possible. Toutefois, ce bruit dépend en grande partie de la source de référence (hors marché).

La sortie du PFO se comporte du point de vue temporel comme un laser impulsionnel. **Les impulsions générées devront être de l'ordre de ou inférieures à 100 femto-secondes** au voisinage de 1550 nm pour permettre certaines expérimentations spécifiques (test de photodétecteurs rapides, de matériaux...).

Le PFO doit posséder **plusieurs sorties** pour permettre en même temps le verrouillage sur une référence et la génération de signaux utiles. Ces sorties devront délivrer une puissance suffisante pour les applications.

Le PFO doit être prêt à l'emploi (paramétré pour être opérationnel dès la mise en service). Il doit permettre de mesurer les fréquences optiques dans la bande spécifiée avec une incertitude relative au niveau de  **$10^{-13}$  pour des durées d'intégration de 1 seconde avec une référence RF** et une incertitude relative meilleure que  **$10^{-16}$  pour des durées d'intégration de 1 seconde avec une référence optique**. **Il doit inclure des dispositifs et un logiciel permettant de contrôler le verrouillage sur le laser de référence et la valeur de la fréquence de répétition.**

**Spécifications de performance :**

Numéro de spec.	Intitulé	Spécification minimale
SPECP 1	Fréquence centrale du PFO	1550 +/- 20 nm
SPECP 2	Séparation des composantes spectrales	Au minimum 100 MHz
SPECP 3	Auto-stabilisation du peigne	Annulation de $f_{ceo}$
SPECP 4	1 sortie dédiée à 1542 nm	Composante spectrale à 1542 nm pour référencer le peigne sur une fréquence optique fournie par T-Refimeve.
SPECP 5	1 ou plusieurs sorties pour adresser la bande 1500-1600 nm	Sorties pour l'expérimentation Raies du peigne supérieures à -30 dBm (-25 dBm en centre de bande)
SPECP 6	Système de verrouillage sur référence optique 1542 nm	Le système de verrouillage sur référence optique doit être inclus dans la proposition
SPECP 7	Possibilité de verrouillage sur référence RF	Une entrée en gamme RF disponible
SPECP 8	Bruit de phase en mode libre	Le plus faible possible <ul style="list-style-type: none"> <li>• Offre de base : peigne sans option faible bruit</li> <li>• Variante n°1 : peigne avec option faible bruit</li> </ul>
SPECP 9	Sortie femto-seconde exploitable, de l'ordre de 100 fs ou moins	Mode temporel, sur fibre courte à très faible dispersion
SPECP 10	Stabilité de fréquence	$< 5 \times 10^{-13}$ à 1 s ; avec une référence RF $< 10^{-16}$ à 1 s ; avec une référence optique

**Spécifications d'interfaces :**

Numéro de spec	Intitulé	Spécification minimale
SPECI 1	Dimensions	Aucune exigence n'est imposée par le CNRS. Les dimensions externes de l'équipement proposé sont indiquées dans l'offre du titulaire.
SPECI 2	Logiciel(s)	Tous les logiciels nécessaires à la mise en œuvre des mesures doivent être fournis.

Numéro de spec	Intitulé	Spécification minimale
SPECI 3	Interfaces optiques de sortie	Les interfaces optiques doivent être faites par fibres optiques munies de connecteurs de fibre de type FC.
SPECI 4	Afficheurs pour signaux de battement	Une visualisation du battement peigne-référence avant verrouillage et une mesure de $f_{rep}$ après verrouillage.
SPECI 5	L'ordinateur de pilotage.	Le système doit être contrôlé par un ordinateur standard ou inclure un ordinateur spécifique.
SPECI 6	Pérennité du PFO	La garantie de l'équipement devra être de <b>3 ans au moins</b> . De plus, le fournisseur s'engage à ce que le produit puisse être maintenu sur une durée d'au moins 10 ans (pièces disponibles, etc.).

### ARTICLE 3 - PERFORMANCE TECHNIQUE – NORMES – MARQUAGE

Les fournitures proposées au titre de le 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.

### 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**

Les livraisons doivent être effectuées aux heures d'ouverture et au lieu indiqué ci-dessous :

**LAAS-CNRS**  
**5 avenue du Colonel Roche**  
**31400 Toulouse**

## **ARTICLE 8 – OPERATIONS DE VERIFICATION**

Les opérations de vérification qualitative et quantitative sont effectuées par le CNRS selon les modalités suivantes :

- Livraison et installation de l'équipement sur le site,
- Mise en service de l'équipement,
- Réalisation du protocole de test du fournisseur et réalisation de la formation dès la mise en service de l'équipement. **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.

## **ARTICLE 9 – FORMATION**

Le marché inclut, à la charge du titulaire, la dispense d'une formation l'utilisation de l'équipement et du logiciel ainsi qu'aux principales tâches de maintenance (pour au moins 3 personnes) dans les locaux de l'acheteur, lors de la mise en service de l'équipement.

## **ARTICLE 10 - LIVRABLES**

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

- Documentation technique détaillée de l'appareil en anglais ;
- Documentation des principales tâches de maintenance 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.

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 :

- La durée et le contenu de la garantie (nombre de visites préventives, etc.) ;
- Les conditions d'assistance aux utilisateurs ;
- Les horaires et jours d'ouverture du SAV ;
- Le service d'assistance par téléphone (coordonnées, horaires, etc.) ;
- Les modalités d'intervention ;
- Les délais d'interventions en cas de panne ;
- Les moyens mis en œuvre sur les équipements en cas de panne.

Le service après-vente pendant la période de garantie peut prévoir des opérations (visites) de maintenance préventive ou d'entretien.

En tout état de cause, le service après-vente prévoit au minimum et sans surcoût pendant la durée de garantie les services décrits aux articles suivants :

### **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 Titulaire s'engage sur un délai de réponse inférieur à 48H.

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 accord-cadre.

Par dérogation aux stipulations de l'article 3.2.2 du CCAG FCS, ce délai s'entend en jours ouvrés à compter de la demande d'intervention. Ce délai est obligatoirement inférieur ou égal à 7 jours ouvrés.

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. Par dérogation aux stipulations de l'article 3.2.2 du CCAG/FCS, ce délai s'entend en jours ouvrés à compter de la demande d'intervention.

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°25351.

### **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 LAAS-CNRS 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°25351.

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.

Par ailleurs, en cas d'immobilisation prolongée de l'équipement (au-delà de 30 jours de réparation à compter de la 1<sup>ère</sup> intervention), le titulaire s'engage à fournir à ses frais une solution de remplacement équivalente.

Le Titulaire s'engage à expédier la solution équivalente au LAAS-CNRS dans un délai maximum de 1 mois après réception de l'équipement défectueux.

Passé ce délai, le Titulaire encourt des pénalités telles que fixées à l'article 9.2 du CCAP n°25351.