

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (CCTP)

Acquisition d'un ensemble d'équipements pour l'Institut
FOTON ; CPER PhotBREIZH phase 4 ; Site de Lannion

La **PHOT**onique en **BRE**tagne, vecteur d'**I**nnovation pour une **Z**one régionale propice à un
Hub recherche académique – milieu industriel (**PHOT-BREIZH**).

1 Contexte de l'opération

Le projet **PHOT-BREIZH** participe aux efforts de transformation numérique (axe 1 de PHOT-BREIZH), de transitions environnementale, énergétique et écologique (axe 2 de PHOT-BREIZH) et est vecteur d'innovation (axe 3 de PHOT-BREIZH) dans les domaines de la santé, de la défense, des STICs, des transports, des applications industrielles.

Il a pour objectif de poser les bases permettant le transfert de technologies photoniques répondant aux enjeux sociétaux, au travers d'un hub recherche académique - industrie.

Dans le cadre de **PHOT-BREIZH**, les équipements permettront de renforcer une identité nationale et européenne dans des domaines spécifiques de la photonique, du fondamental à l'appliqué.

Cette opération concerne le département « Systèmes Photoniques » de l'Institut Foton (<https://www.institut-foton.eu/>), localisé à Lannion (22, France).

Le CPER permettra également par l'expertise acquise des enseignants-chercheurs, d'accompagner l'évolution des formations.

Le projet **PHOT-BREIZH** Phase 4 Lannion est constitué de 4 sous-projets dans cet appel.

1. Sous-Projet Captures (lots 1 à 8)

Le projet CAPTURE accompagne le département Systèmes Photoniques (SP) de l'Institut FOTON souhaite à faire l'acquisition de plusieurs équipements pour développer de nouveaux moyens pour réaliser et caractériser des capteurs miniaturisés pour des applications sociétales dans les domaines de l'environnement, de la santé et de la défense afin d'accompagner l'évolution des compétences de recherche du département pour développer des capteurs ultrasensibles embarqués. Ces nouveaux équipements permettront via **PHOT-BREIZH** de renforcer l'attractivité du département SP dans les thématiques de recherche dans le domaine des capteurs optiques embarqués avec des entreprises régionales et nationales (Kerdry, Idil, Ecocompteur, Diafir,...) travaillant dans ce domaine mais aussi dans le cadre de projets de recherche académique (projets de thèse nationaux et internationaux (Canada, Université de Sherbrooke) et projets collaboratifs ANR et européens en cours (AQUAE, POCOMA, IBAIA) et soumis (3D-PIC, CHOISIR, SEREINA, BIOHEAL) incluant des partenaires industriels européens (VIGO, MIRSENSE, ARGOTECH, Damart, III-V Lab,...).

Ce projet est constitué de 7 lots (1 à 8).

2. Sous-Projet Miracle (lots 9 à 10)

Dans le cadre du sous-projet MIRACLE, le département Systèmes Photoniques (SP) de l'Institut FOTON souhaite faire l'acquisition d'un ou plusieurs équipements de détection et d'une ou plusieurs sources de lumières dans le moyen infrarouge afin d'accompagner l'évolution des moyens d'instrumentation dans cette gamme de longueurs d'onde. En investissant dans des moyens d'instrumentation dans le moyen infrarouge grâce au projet **PHOT-BREIZH**, le département Systèmes Photoniques pourra mieux répondre aux différentes sollicitations dans le cadre de projets de recherche académiques ou industriels dans cette gamme de longueurs d'onde pour des domaines d'applications tels que l'environnement, la santé ou la défense. Le département Systèmes Photoniques collabore déjà avec des acteurs industriels dans cette gamme de longueurs d'onde tels que MIRSENSE, VIGO Photonics, Idil ou académiques tels que l'ISCR, le C2N, l'IEMN mais aussi des end-users pour des applications environnementales tels que le BRGM, l'IFREMER et le Cèdre.

Cela permettra d'équiper l'Institut Foton d'instruments (détecteurs et sources de lumière) dans le moyen infrarouge, gamme de longueurs d'onde émergent ces dernières années pour des applications dans les domaines sociétaux de l'environnement, de la santé et de la défense. Ces nouveaux équipements permettront de renforcer l'attractivité du département SP dans les thématiques de recherche dans la gamme du moyen infrarouge avec les entreprises régionales et nationales (Kerdry, Idil, Ecomcompteur, Diafir,...) travaillant dans le domaine des capteurs mais aussi dans le cadre de projets de recherche académique (projets de thèse nationaux et internationaux (Canada, Université de Sherbrooke) et projets collaboratifs ANR et européens en cours (AQUAE, KAHSIMIR, IBAIA) et soumis (3D-PIC, CHOISIR, CASIMIR, HyPIC, BIOHEAL) incluant des partenaires industriels européens (VIGO, MIRSENSE, ARGOTECH, III-V Lab,...).

Ces équipements sont structurants pour le laboratoire et lui permettront de renforcer son attractivité dans cette gamme de longueur d'onde. De nombreux projets de recherche nationaux et internationaux sont déjà associés à cette gamme de longueur d'onde avec l'Institut Foton comme coordinateur ou partenaire.

Ce projet est constitué de 2 lots (9 et 10).

3. Projet OPTICOM (lot 11)

Le projet OPTICOM a pour objectif d'accompagner l'évolution des techniques de transmissions optiques très haut débit pour des domaines d'application variés tels que la radio sur fibre, les transmissions optiques spatiales, les transmissions quantiques, les communications en espace libre, les transmissions optiques THz ainsi que les transmissions dans d'autres gammes de longueur d'onde que l'infrarouge généralement utilisé pour les télécommunications optiques (dans le visible par exemple).

Dans le cadre de cette phase d'acquisition du projet **PHOT-BREIZH**, c'est le volet communications quantiques qui est abordé. Il accompagne la thématique des technologies habilitantes pour les communications quantiques, et en particulier la partie détection.

Ce projet est constitué d'un lot (11).

4. Projet BAPEGE (lots 12 à 18)

Le projet BAPEGE s'inscrit dans la thématique de lasers dits ultra-cohérents et stables. Il est lié à l'équipex T-REFIMEVE, qui est un TGIR (très grand instrument de recherche). Avec cet équipex, l'Institut Foton va recevoir un signal optique métrologique du laboratoire LTE (<https://syrtel.obspm.fr/>). Ce signal est transporté par le réseau RENATER. Il est déjà arrivé en mars 2026 à l'Institut Foton sur le site de Rennes au département DOP (Département Optique cohérente et Photonique hyperfréquence). Il doit arriver en fin d'année 2026 au département « Systèmes Photoniques » à Lannion. L'un des objectifs de ce projet est de produire des lasers ayant un bruit quantique dit « spontané » extrêmement faible, au meilleur état de l'art.

Cela nécessite des équipements de pointe. Ainsi un peigne de fréquences va être acheté via l'équipex T-REFIMEVE (<https://www.refimeve.fr/>) et le CPER **PHOT-BREIZH**. Cet achat est géré par le CNRS.

Des outils complémentaires sont nécessaires comme des amplificateurs optiques, des lasers à des longueurs d'onde spécifiques en lien avec l'équipex T-REFIMEVE, des équipements pour banc de mesure de bruit, la mise en place des lasers Brillouin...

Le projet est constitué de 7 lots (12 à 18).

L'opération est divisée en 18 lots :

1. Lot 1 Acquisition de filtre passe-bande accordable pour le projet CAPTURE.
2. Lot 2 Acquisition de photodétecteur rapide dans le moyen infrarouge pour le projet CAPTURE.
3. Lot 3 Acquisition d'un module de mesure des pertes optiques pour le projet CAPTURE.
4. Lot 4 Acquisition de source Laser à gaz (He-Ne) émettant en continu dans le visible (à 633 nm) et ses accessoires associés pour le projet CAPTURE.
5. Lot 5 Acquisition de détecteur CCD à haute résolution, ultra-sensible et ses accessoires associés pour le projet CAPTURE.
6. Lot 6 Acquisition de diode Laser solide émettant en continu à 785 nm et ses accessoires associés pour le projet CAPTURE.
7. Lot 7 Acquisition d'un bras robotisé pour le projet CAPTURE.
8. Lot 8 Acquisition d'un module inertiel embarqué grade tactique pour le projet CAPTURE.
9. Lot 9 Acquisition de sources laser dans la gamme spectrale du moyen infra-rouge pour le projet MIRACLE.
10. Lot 10 Acquisition de caméra(s) dans la gamme spectrale du moyen infra-rouge pour le projet MIRACLE.
11. Lot 11 Détecteurs supraconducteurs de photons uniques pour le projet OPTICOM.
12. Lot 12 Amplificateurs optiques à maintien de polarisation pour la bande C
13. Lot 13 Détecteurs large bande (DC-20 GHz) bas bruit bande C
14. Lot 14 Ensemble de lasers DFB boîtier Butterfly à 1542,15 nm et à 1550,1 nm
15. Lot 15 Laser à bas bruit d'intensité et bruit de phase à 1542,15 nm
16. Lot 16 Boîtier d'isolation acoustique et thermique
17. Lot 17 Sources courant bas bruit
18. Lot 18 Compteur de fréquence

2 Conditions communes aux lots

2.1 Démonstration des équipements

L'équipement fera l'objet d'une vérification d'aptitude lors de son installation. L'installation et la vérification d'aptitude seront effectuées en présence du représentant technique de la plateforme.

Si la livraison répond aux spécifications techniques et si les essais sont satisfaisants, la réception provisoire du matériel sera prononcée immédiatement. Un Procès-verbal (PV) sera alors établi par le représentant technique de la plateforme et sera notifié au titulaire. La réception définitive aura lieu dans un délai de 3 semaines après la réception provisoire. Un Procès-verbal sera alors établi par le représentant technique du Pouvoir Adjudicateur et sera notifié au titulaire. Si les essais révèlent que tout ou partie de la fourniture ne correspond pas aux

spécifications techniques ou n'est pas d'un fonctionnement satisfaisant, la réception sera ajournée, et le titulaire devra notifier une seconde mise en ordre de marche. Les matériels reconnus défectueux ou non conformes à la commande devront être repris par le titulaire, aux frais de celui-ci. Le titulaire a la charge complète de remplacer également les matériels en cause, à ses frais, dans un délai maximum de quinze (15) jours à partir de la date de notification du rejet.

2.2 Accompagnement de l'offre

2.2.1 Transport et emballage

Les frais de transports et d'emballage seront inclus dans l'offre.

Conformément à l'article 20.3 du CCAG/FCS, les risques afférents au transport jusqu'au lieu de destination incombent au titulaire.

Les fournitures seront livrées à destination franco de port. Le transport s'effectuera sous la responsabilité du titulaire du marché jusqu'au lieu de livraison spécifié ci-après.

Le conditionnement, le chargement, l'arrimage, le déchargement et le déballage seront effectués sous sa responsabilité.

2.2.2 Garantie, maintenance et réparation (service après-vente, calibrage)

Les candidats à l'appel d'offre devront décrire explicitement la durée, les conditions de la garantie et l'organisation de leur service après-vente.

Le candidat décrira aussi son service Après-vente (SAV) notamment les délais d'intervention et l'assistance technique, le nombre de personnes en France et en Europe (localisation et langue parlée).

Les délais de dépannage ne pourront dépasser 4 semaines, temps de transport inclus.

Il est demandé au candidat de décrire précisément les services couverts par l'extension de garantie et fournir le coût de la maintenance, notamment le remplacement des pièces, la main d'œuvre et les déplacements.

Le candidat précisera ses engagements concernant la disponibilité des pièces détachées du système concerné (durée, délais de livraisons ...).

2.2.3 Durée de Garantie

L'appareil sera garanti pour une durée minimale d'un an après réception à moins d'une spécification différente.

2.3 Lieu de livraison et conditions de livraison

Le lieu de livraison est à l'ENSSAT :

ENSSAT

Institut Foton, « Département Systèmes Photoniques »

6 rue de Kerampont

CS 80518

22305 Lannion.

L'ensemble de la documentation sera livré avec l'appareil.

2.3.1 Calendrier d'exécution

La livraison du matériel est effectuée dans un délai maximum de 12 semaines à compter de la notification du marché.

Toutefois, si le délai proposé par le titulaire dans l'annexe 1 à son acte d'engagement est inférieure à celui précité ci-dessus, il est tenu de s'y engager.

2.4 Variantes alternatives

Les variantes alternatives à l'initiative des candidats sont autorisées dans les limites du dossier de consultation. Conformément à l'article R.2151-10 du code de la commande publique,

elles devront respecter les spécifications minimales du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) et répondre aux mêmes qualités d'utilisation.

2.5 Appel et sélection

2.5.1 Critères de choix

Le choix s'effectuera de la manière suivante :

- à 50 % sur critères techniques
- à 40 % sur critères de prix
- à 5 % sur la qualité du service après-vente, d'assistance et de garantie proposés
- à 5 % pour les délais de livraison du matériel

3 Lot 1 Acquisition de filtre passe-bande accordable (projet Capture)

3.1 Contexte de l'opération lot 1

Depuis plusieurs années, l'Institut Foton participe à l'essor de la photonique intégrée dans les gammes spectrales du visible et du moyen-infrarouge. Ces travaux permettent aujourd'hui aux technologies photoniques d'apporter des solutions notamment dans le domaine des capteurs pour des applications telles que la surveillance de l'environnement, la santé, l'agroalimentaire et l'agriculture.

L'un des objectifs du département systèmes photonique (SP) est de pouvoir caractériser les propriétés linéaires et non linéaires des guides d'onde fabriqués en optique intégrée, dont l'effet Brillouin. Ce-dernier peut être exploité pour réaliser des capteurs, améliorer la stabilité d'un laser, ou encore réaliser des filtres radiofréquences, mais sa caractérisation requiert un filtre optique sélectif et accordable.

3.2 Objectifs scientifiques de l'opération lot 1

L'effet de rétrodiffusion Brillouin stimulé réside dans la forte interaction entre des ondes optiques et acoustiques (vibration mécaniques) lorsque la lumière est confinée dans certains matériaux. Les ondes acoustiques peuvent causer un décalage en fréquence de la lumière laser. Cependant, les décalages fréquentiels en jeux sont très faibles (quelques GHz) à l'échelle des fréquences optiques (quelques centaines de THz). Un filtre optique accordable présentant une très grande sélectivité (flanc raide) est le meilleur moyen pour pouvoir isoler la lumière décalée en fréquence du laser initial fortement réfléchi, et ainsi caractériser les propriétés de cet effet (efficacité et caractéristiques spectrales).

3.3 Description de l'équipement (ou du banc si applicable)

3.3.1 Description et spécifications techniques du matériel et fonctionnalités requises

Pour cela, le filtre optique devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Passe-bande (flat-top)
- Pente au niveau des flans (roll-off) dB/GHz (750 dB/nm à 1550 nm) : ≥ 6 dB /GHz
- Taux de réjection en dB : ≥ 40 dB
- Longueur d'onde centrale continument accordable sur :

$[\lambda_{min} \leq 1500 \text{ nm} ; \lambda_{max} \geq 1600 \text{ nm}]$

- Largeur à mi-hauteur du filtre continument accordable sur une plage donnée en pm :

$FWHM_{min} \leq 32 \text{ pm}$ (4 GHz) et $FWHM_{max} \geq 600 \text{ pm}$ (75 GHz)

- Entrée et sortie connectorisées FC/APC
- Pertes d'insertion en dB : $IL \leq 6 \text{ dB}$
- Puissance d'entrée maximale tolérée en W : $P_{max} \geq 1 \text{ W}$

3.3.2 Prestations Supplémentaires Éventuelles (PSE)

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre à 3 ans.

PSE 2 : Une version à maintien de polarisation

PSE 3 : La possibilité de piloter le filtre électroniquement.

4 Lot 2 Acquisition de photodétecteur rapide dans le moyen-infrarouge (projet Capture)

4.1 Contexte de l'opération lot 2

Depuis plusieurs années, l'Institut Foton participe à l'essor de la photonique intégrée dans les gammes spectrales du visible et du moyen-infrarouge. Ces travaux permettent aujourd'hui aux technologies photoniques d'apporter des solutions notamment dans le domaine des capteurs pour des applications telles que la surveillance de l'environnement, la santé, l'agroalimentaire et l'agriculture.

L'un des objectifs du département systèmes photonique (SP) est de développer de nouvelles sources de lumière cohérentes dans ces gammes de longueurs d'ondes. En effet ces sources permettraient d'améliorer les performances de capteurs en termes de temps de mesure, résolution spectrale et dimension des instruments, mais nécessitent des moyens de caractérisations avancés comme un détecteur rapide, en particulier dans le moyen-infrarouge.

4.2 Objectifs scientifiques de l'opération lot 2

Les peignes de fréquences optiques, consistant dans un ensemble de raies laser régulièrement espacées en fréquences et avec une relation de phase fixe présentent un intérêt important pour la détection de molécules par spectroscopie, dans le moyen infrarouge. Cependant la faible résolution spectrale des analyseurs de spectre optiques classiques rend impossible l'étude de ces peignes de fréquences optiques et de leur bruit/stabilité.

Un photodétecteur rapide dans cette gamme de longueurs d'onde est donc indispensable pour pallier ce problème et permettrait d'adresser chaque raie du peigne afin d'en étudier les propriétés. Aussi l'acquisition de signaux sur une large bande passante électrique, et sur une large gamme de longueur d'onde, ouvre la perspective de l'interférométrie à deux peignes de fréquences, une technique de mesure spectroscopique ultrarapide et précise.

4.3 Description de l'équipement

4.3.1 Description et spécifications techniques du matériel et fonctionnalités requises

Pour ces applications, le module de photo-détection doit répondre aux critères suivants :

- Plage de détection en longueur d'onde allant de $\lambda_{cut-on} \leq 2 \text{ }\mu\text{m}$ à $\lambda_{cut-off} \geq 4 \text{ }\mu\text{m}$.
- Fréquence de coupure haute : $f_{-3 \text{ dB}} \geq 500 \text{ MHz}$.
- Amplificateur transimpédance inclus.
- Réponse (responsivity) à la longueur d'onde pic : $R_{peak} \geq 5000 \text{ V/W}$
- Impédance de sortie : $50 \text{ }\Omega$

- Aire de détection accessible en espace-libre $\mu\text{m A} \geq 50 \times 50$

4.3.2 Prestations Supplémentaires Éventuelles (PSE)

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre à 3 ans.

5 Lot 3 Acquisition d'un module de mesure des pertes optiques (projet CAPTURE)

5.1 Contexte de l'opération lot 3

Depuis plusieurs années, l'Institut Foton a participé à l'essor de la photonique intégrée dans la gamme spectrale du moyen-infrarouge. Ces travaux permettent aujourd'hui aux technologies photoniques d'apporter des solutions notamment dans le domaine des capteurs pour des applications telles que la surveillance de l'environnement, la santé, l'agroalimentaire et l'agriculture.

Une activité plus récente de l'Institut Foton vise à tirer profit des compétences acquises dans ce domaine du moyen-infrarouge et à les transposer à courtes longueurs d'onde. En effet, le développement de guides d'onde passifs et de sources de lumière émettant aux courtes longueurs d'onde (de couleur visible ou ultraviolette) serait en mesure d'améliorer de façon significative les performances des capteurs actuels en particulier en termes de résolution et de sensibilité. De plus, ces dispositifs miniaturisés fonctionnant dans le domaine spectral du proche ultraviolet et du visible pourraient également bénéficier aux développements de capteurs basés sur les technologies quantiques.

Enfin, le développement de la photonique intégrée dans ce domaine spectral est structurant pour la Région Bretagne et l'écosystème industriel breton. En effet, les débouchés de ces travaux sont susceptibles d'intéresser fortement des entreprises ou instituts de recherche bretons, comme Oxxius (Lannion), Exail (Lannion), l'Ifremer (Brest) et l'Inserm (Rennes), avec lesquels l'Institut Foton collabore déjà activement pour la détection de micro-plastiques et le diagnostic de tumeurs cancéreuses mais aussi l'entreprise Kwantek (Plœmeur) qui développe des systèmes basés sur les technologies quantiques.

5.2 Objectifs scientifiques de l'opération

Afin de développer ces composants photoniques intégrés compatibles avec la gamme du visible/ultraviolet, il est nécessaire de déposer de nouveaux matériaux sous forme de films minces, d'épaisseur micrométrique. Pour caractériser ces couches minces transparentes à courtes longueurs d'onde, l'Institut Foton dispose déjà d'un équipement de couplage par prisme permettant de mesurer l'indice de réfraction et l'épaisseur des films minces. Ces mesures permettent de concevoir les dimensions des structures optiques à fabriquer.

Toutefois, suivant les conditions de fabrication des matériaux par nos partenaires, ceux-ci peuvent, malgré un indice de réfraction et une épaisseur, adéquats, présenter une qualité optique insuffisante pour obtenir des guides d'onde dans lesquels la lumière se propagera de façon efficace. Avant de réaliser un long et délicat procédé de fabrication technologique permettant d'obtenir des composants photoniques intégrés, il est donc indispensable de qualifier, de façon systématique, la qualité optique des matériaux développés et destinés à être

mis sous forme de guides d'onde. Pour cela, la mesure des pertes optiques des films minces est indispensable. Il n'est actuellement pas possible d'effectuer cette mesure avant la réalisation du procédé technologique.

L'équipement servira donc à la caractérisation quantitative des pertes optiques de guides d'onde planaires, en complément des mesures d'indice et d'épaisseur déjà réalisables avec l'équipement existant au sein de l'Institut

5.3 Description de l'équipement

5.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

L'équipement de couplage par prisme déjà en service au sein de l'Institut permet la mesure de l'indice et de l'épaisseur de films minces et massifs. La technique utilisée, dite M-lines, consiste à mesurer les propriétés optiques d'un film en le pressant contre un prisme dont l'indice de réfraction est élevé, avec un petit espace d'air entre eux. Un faisceau laser incident sur la base du prisme est normalement totalement réfléchi, sauf à certains angles spécifiques (angles synchrones) pour lesquels la lumière est couplée vers les modes guidés du film, entraînant une diminution de l'intensité réfléchie détectée. L'analyse de ces modes (à partir de la connaissance des angles d'incidence pour lesquels ils sont obtenus) permet de déterminer l'indice de réfraction et l'épaisseur du film en résolvant les équations de dispersion modale.

Le module de mesures des pertes optiques doit permettre la caractérisation quantitative des pertes optiques de guides d'ondes planaires, en complément des mesures d'indice et d'épaisseur déjà réalisables avec l'équipement existant.

Le module de mesure des pertes optiques est destiné à être intégré sur le système de couplage par prisme déjà en service dans le laboratoire. Ce système est de la marque **Mettricon (modèle 2010)**, SN 22290. Le module doit être parfaitement compatible avec ce système de couplage par prisme, tant sur le plan mécanique que logiciel. Il doit inclure l'ensemble des éléments matériels, logiciels et accessoires nécessaires pour assurer son fonctionnement immédiat après installation.

La mesure des pertes sera basée sur la détection de la lumière diffusée à la surface du guide d'onde lorsque le couplage vers un mode particulier est réalisé. Pour cela un dispositif optique, fibre optique ou autre, monté sur un élément motorisé, récoltera la lumière diffusée au cours d'un balayage linéaire le long de la zone de propagation.

5.3.2 Fonctionnalités requises

Le traitement de l'intensité récoltée en fonction de la distance parcourue par l'élément collecteur de lumière diffusée, permettra d'obtenir la valeur des pertes en dB/cm par ajustement avec la loi de Beer-Lambert. Ce traitement sera informatisé et intégré au logiciel de contrôle de l'élément motorisé. Le logiciel devra permettre à l'utilisateur.trice d'exclure certaines zones à diffusion anormale (rayures, particules) afin de fiabiliser l'ajustement.

Les performances attendues pour le module de mesure des pertes optiques sont les suivantes :

- Le module (et donc l'élément collecteur et le détecteur associé) doit couvrir la gamme spectrale du visible 400-800 nm.
- Le module doit être fourni monté (élément collecteur et détecteur ainsi que tous les autres accessoires éventuels notamment partie motorisée assurant le déplacement).

- Les mesures doivent être possibles sur des substrats de formes variées (carré, circulaire, allongé) dont la taille est inférieure à 7,5 cm x 7,5 cm ou 7,5 cm de diamètre (3").
- Le module doit fonctionner sur des guides planaires et massifs sans préparation supplémentaire de l'échantillon.
- Gamme de pertes optiques mesurables : de 0,1 à 20 dB/cm.
- Longueur de propagation utile : ≥ 25 mm ; avec extension possible à 40-50 mm pour les guides à faibles pertes.
- Résolution de la position du balayage : >10 pas/mm, permettant 250 à 1000 points par profil.
- Temps de mesure complet (de l'injection au calcul final) : ≤ 5 minutes.
- Reproductibilité : ± 5 % ou $\pm 0,05$ dB/cm (selon le plus grand).
- Le système doit afficher la courbe expérimentale et le fit exponentiel superposé dans un temps court (< 1 minute) après la mesure.
- Le système devra être capable de mesurer des guides dont l'indice effectif est compris entre 1,0 et 3,35 en utilisant des prismes adaptés.
- Les prismes permettant la mesure de tels indices devront être fournis avec le module de pertes optiques. Pour cela, un jeu de prismes couvrant au minimum les indices 1,0 à 2,65 sera fourni ainsi qu'un prisme spécial pour les indices supérieurs à 3,0.
- Le changement de prisme devra pouvoir être réalisé simplement et rapidement (temps inférieur à 30 s)
- Un manuel d'utilisation mentionnant les consignes de sécurité à mettre en œuvre sera fourni avec l'équipement

5.3.3 Logiciel, stockage de données, environnement

L'offre devra présenter les spécifications techniques minimales de l'ordinateur (système d'exploitation, performance, type et nombre de ports nécessaires, interface de communication...).

De plus, une documentation du logiciel de pilotage et d'ajustement sera fournie avec l'équipement.

L'appareil devra pouvoir évoluer dans ses fonctionnalités sans imposer l'achat complet d'un nouvel appareil.

La mise à jour logiciel des fonctionnalités existantes devra pouvoir être faite sans surcoût.

Concernant le logiciel de pilotage de l'équipement, il devra permettre :

- L'acquisition et l'affichage en temps réel du profil intensité en fonction de la distance,
- Le paramétrage de la distance/du pas de mesure
- L'ajustement automatique de l'intensité récoltée en fonction de la distance de propagation par ajustement exponentiel (Beer-Lambert),

- L'exportation des résultats (bruts et traités) vers des formats standards (CSV, txt...) réutilisables avec un autre logiciel de traitement de données (excel, origin, matlab...).
- La sauvegarde des paramètres expérimentaux (prisme, laser, polarisation, détecteur utilisé).

5.3.4 Prestations Supplémentaires Éventuelles (PSE)

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre à 3 ans.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre à 5 ans.

PSE 3 : Le module de mesure des pertes optiques pourra être étendu à la gamme du proche-infrarouge (600-1600 nm) avec les mêmes éléments collecteur et détecteur ou en proposant un dispositif interchangeable en fonction de la gamme de longueurs d'onde désirée.

PSE 4 : Fourniture d'un film mince étalon présentant un indice de réfraction entre 1,4 et 2 à la longueur d'onde de 633 nm.

PSE 5 : Fourniture d'un film mince étalon présentant un indice de réfraction entre 2 et 2,5 pour une longueur d'onde de 633 nm ou 1550 nm.

Les options 3 à 5 permettent un contrôle supplémentaire de la mesure par le laboratoire.

5.4 Spécifications de l'offre

5.4.1 Garantie, maintenance et réparation (service après-vente, calibrage)

Garantie minimale : 24 mois (pièces et main-d'œuvre).

Assistance technique par mail/téléphonique sous 48 h ouvrées.

Mise à jour du logiciel de pilotage disponible en téléchargement et compatibilité assurée avec les nouveaux systèmes d'exploitation Windows pendant la durée de garantie.

Disponibilité des pièces, prismes et accessoires pendant au moins 5 ans.

Le coût actuel de la maintenance et d'une recalibration ainsi que des éléments remplaçables (notamment prisme, laser, détecteur, film étalon) devra être fourni.

Un étalonnage d'une durée de validité minimale de 6 mois doit être inclus dans l'offre.

5.4.2 Formation

Une formation pratique d'au moins 0,5 journée devra être fournie aux utilisateurs.ices dans le mois suivant la fourniture de l'équipement. Cette formation pourra être réalisée à distance et sera accessible au minimum à 3 personnes. Elle permettra de couvrir les informations suivantes :

- Mise en place du module et des prismes,
- Utilisation des différents détecteurs,
- Protocoles de mesure des pertes optiques,
- Analyse et l'interprétation des résultats.

6 Lot 4 Acquisition d'une source Laser à gaz (He-Ne) émettant en continu dans le visible (à 633 nm) et ses accessoires associés (projet CAPTURE)

6.1 Contexte de l'opération lot 4

Le contexte est commun aux lots 4 et 5.

Depuis plusieurs années, l'Institut Foton participe à l'essor de la photonique intégrée dans les gammes spectrales du visible et du moyen-infrarouge. Ces travaux permettent aujourd'hui aux technologies photoniques d'apporter des solutions notamment dans le domaine des capteurs pour des applications telles que la surveillance de l'environnement, la santé, l'agroalimentaire et l'agriculture.

Les travaux au sein du département Systèmes Photoniques (SP) de l'Institut Foton, sur le site de Lannion, portent sur la réalisation de composants photoniques développés à partir de différents types de matériaux (en couches minces et nanostructurés). Pour cela des procédés technologiques sont effectués et une fois les composants élaborés, ils sont ensuite analysés et caractérisés. Ainsi des caractérisations optiques et physico-chimiques sont effectuées et parmi ces caractérisations, nous utilisons l'analyse Raman. Cette analyse est une technique fondamentale en science des matériaux, en nanotechnologie, en chimie et en analyse biologique, offrant un moyen non destructif permettant d'identifier et de caractériser des structures moléculaires.

Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton dispose d'un instrument micro-Raman confocal à haute résolution. Cet instrument date de 2009 et nécessite une mise à jour aussi bien sur la partie excitation que la partie détection.

6.2 Objectifs scientifiques

La spectroscopie Raman est une technique analytique puissante utilisée pour étudier les vibrations, longitudinales et rotationnelles et autres modes de basses fréquences des molécules. Elle repose sur la diffusion inélastique de la lumière monochromatique, généralement issue d'une source laser (excitation à une longueur d'onde spécifique). Lorsque la lumière interagit avec la matière, la plupart des photons sont diffusés élastiquement sans changement d'énergie (il s'agit de la diffusion Rayleigh). Cependant, une faible fraction (~ 1 sur 10^6 à 10^8 photons) subit une diffusion inélastique, échangeant de l'énergie avec les états vibrationnels des molécules : c'est le phénomène physique connu sous le nom de l'effet Raman.

La diffusion Raman est donc un phénomène d'interaction entre la lumière et la matière. Le décalage Raman (ou Raman shift), ainsi créé, exprime la différence d'énergie entre la lumière incidente (laser) et la lumière diffusée par l'échantillon à analyser et recueilli par le système de détection.

Afin d'améliorer les analyses spectrales par diffusion Raman, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton lance un appel d'offres pour l'acquisition de trois lots permettant des mesures en haute résolution.

Ce lot consiste en l'achat de nouvelles sources lasers à différentes longueurs d'onde pour renforcer les activités de l'Institut Foton notamment dans les domaines sociétaux de l'environnement et de la santé.

La proposition comprendra la livraison, l'installation, les différents réglages et la vérification des spécifications techniques des équipements et accessoires correspondants au lot.

Les matériels acquis feront partie du département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton (UMR CNRS 6082) situé à Lannion et seront utilisés par son personnel scientifique, dans le

cadre du projet CPER PhotBreizh et dans le cadre d'autres projets de recherche tels que la thèse LA-SERS et de projets en cours de soumission dans des appels nationaux et européens (SEREINA et DIONIISOS) concernant le développement de capteurs miniaturisés à base de l'effet SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy).

Ci-dessous un récapitulatif du différent lot demandé dans cet appel d'offres :

- Source Laser à gaz (He-Ne) émettant en continu dans le visible (à 632,8 nm) et ses accessoires associés (alimentation, filtres, miroirs, ...).

6.3 Description et caractéristiques techniques des équipements

6.3.1 Source Laser à gaz (He-Ne) émettant en continu dans le visible (à 633 nm) et ses accessoires associés :

Ce laser servira, en tant que source excitatrice dans le visible, et est indispensable pour les différentes analyses spécifiques à l'effet Raman.

Description et spécifications techniques de cet équipement :

- Source Laser à gaz (He-Ne) :
 - Longueur d'onde d'émission : 633 nm (tolérance $\pm 0,5\text{nm}$)
 - Émission en continu (CW)
 - Puissance de sortie en espace libre : $> 15\text{-}20\text{ mW}$
 - Faible bruit – Grande stabilité
 - Alimentation stable
 - Adaptation et compatibilité au système existant de l'instrument Raman Horiba HR800.

Cet équipement devrait être installé à **l'intérieur d'un instrument Raman Horiba HR800 existant**, y compris les différents accessoires (miroirs, filtres, ...) et compatible avec les puissances reçues sur les échantillons après avoir traversé les objectifs du microscope.

6.3.2 Spécifications de l'offre

Les candidats sont libres de proposer des variantes supplémentaires qu'ils jugeraient nécessaires (adaptation et compatibilité à l'instrument existant, différents miroirs et filtres, mesure de puissance, ...).

6.4 Garantie

L'ensemble des équipements sera garanti pour une durée minimale de 2 ans après l'installation sur site (pièces, main d'œuvre et frais de déplacement).

Les candidats à l'appel d'offre devront décrire explicitement la durée, les conditions de la garantie et l'organisation de leur service après-vente. L'équipementier précisera notamment les conditions d'accès à la hotline, les possibilités de dépannage à distance et les délais d'intervention.

6.5 Accompagnement de l'offre

Une formation pratique d'au moins 2 journées devra être dispensée aux utilisateurs dans le mois suivant la livraison de l'équipement. Elle permettra de couvrir les informations suivantes :

- Adaptation et installation des différents équipements.
- Réglages et tests des sources lasers et du détecteur.
- Protocole de mesure des analyses spectrales, à l'aide du logiciel déjà disponible de chez Horiba.

7 Lot 5 Acquisition d'un détecteur CCD à haute résolution, ultra-sensible et ses accessoires associés (projet CAP-TURE)

7.1 Contexte de l'opération lot 5

Le contexte est identique au lot 4.

Depuis plusieurs années, l'Institut Foton participe à l'essor de la photonique intégrée dans les gammes spectrales du visible et du moyen-infrarouge. Ces travaux permettent aujourd'hui aux technologies photoniques d'apporter des solutions notamment dans le domaine des capteurs pour des applications telles que la surveillance de l'environnement, la santé, l'agroalimentaire et l'agriculture.

Les travaux au sein du département Systèmes Photoniques (SP) de l'Institut Foton, sur le site de Lannion, portent sur la réalisation de composants photoniques développés à partir de différents types de matériaux (en couches minces et nanostructurés). Pour cela des procédés technologiques sont effectués et une fois les composants élaborés, ils sont ensuite analysés et caractérisés. Ainsi des caractérisations optiques et physico-chimiques sont effectuées et parmi ces caractérisations, nous utilisons l'analyse Raman. Cette analyse est une technique fondamentale en science des matériaux, en nanotechnologie, en chimie et en analyse biologique, offrant un moyen non destructif permettant d'identifier et de caractériser des structures moléculaires.

Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton dispose d'un instrument micro-Raman confocal à haute résolution. Cet instrument date de 2009 et nécessite une mise à jour aussi bien sur la partie excitation que la partie détection.

7.2 Objectifs scientifiques

La spectroscopie Raman est une technique analytique puissante utilisée pour étudier les vibrations, longitudinales et rotationnelles et autres modes de basses fréquences des molécules. Elle repose sur la diffusion inélastique de la lumière monochromatique, généralement issue d'une source laser (excitation à une longueur d'onde spécifique). Lorsque la lumière interagit avec la matière, la plupart des photons sont diffusés élastiquement sans changement d'énergie (il s'agit de la diffusion Rayleigh). Cependant, une faible fraction (~ 1 sur 10^6 à 10^8 photons) subit une diffusion inélastique, échangeant de l'énergie avec les états vibrationnels des molécules : c'est le phénomène physique connu sous le nom de l'effet Raman.

La diffusion Raman est donc un phénomène d'interaction entre la lumière et la matière. Le décalage Raman (ou Raman shift), ainsi créé, exprime la différence d'énergie entre la lumière incidente (laser) et la lumière diffusée par l'échantillon à analyser et recueilli par le système de détection.

Afin d'améliorer les analyses spectrales par diffusion Raman, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton lance un appel d'offres pour l'acquisition de trois lots permettant des mesures en haute résolution.

Ce lot consiste en l'achat d'un détecteur à haute résolution et sensibilité, pour renforcer les activités de l'Institut Foton notamment dans les domaines sociétaux de l'environnement et de la santé.

La proposition comprendra la livraison, l'installation, les différents réglages et la vérification des spécifications techniques des équipements et accessoires.

Les matériels acquis feront partie du département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton (UMR CNRS 6082) situé à Lannion et seront utilisés par son personnel scientifique, dans le

cadre du projet CPER PhotBreizh et dans le cadre d'autres projets de recherche tels que la thèse LA-SERS et de projets en cours de soumission dans des appels nationaux et européens (SEREINA et DIONIISOS) concernant le développement de capteurs miniaturisés à base de l'effet SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy).

Ci-dessous le récapitulatif du lot demandé dans cet appel d'offres :

- Détecteur CCD à haute résolution, ultra-sensible et ses accessoires associés (alimentation, commande électronique, ...).

7.3 Description et caractéristiques techniques des équipements

7.3.1 Détecteur CCD à haute résolution, ultra-sensible et ses équipements associés (alimentation, commande électronique, ...) :

Ce détecteur, à hautes résolution et sensibilité, servira à recueillir les réponses et spectres Raman intrinsèques aux échantillons analysés. Il sera maintenu sous vide et basse température (-70°C) et devra être monté à un endroit bien précis sur l'équipement existant.

Description et spécifications techniques de cet équipement :

- **Détecteur CCD haute résolution :**
 - Faible bruit – Grande stabilité
 - Alimentation stable
 - Spécificité FIOE « Front-Illuminated Open Electrode »
 - Matrice Pixels actifs 1024 x 256
 - Taille Pixel 26 µm x 26 µm
 - Dimensions physiques : Longueur de 181 mm (7.14") ; Largeur de 113 mm (4.45") ; Hauteur de 113 mm (4.45")
 - Adaptation et compatibilité au système existant de l'instrument Raman Horiba HR800.

Cet équipement à haute résolution et ultra-sensible devra être installé à l'endroit adéquat, à l'extérieur d'un instrument Raman Horiba HR800, en respectant les dimensions physiques. Il remplacera le détecteur CCD en place et d'origine.

7.3.2 Spécifications de l'offre

Les candidats sont libres de proposer des variantes supplémentaires qu'ils jugeraient nécessaires (adaptation et compatibilité à l'instrument existant, différents miroirs et filtres, mesure de puissance, ...).

7.4 Garantie

L'ensemble des équipements sera garanti pour une durée minimale de 2 ans après l'installation sur site (pièces, main d'œuvre et frais de déplacement).

Les candidats à l'appel d'offre devront décrire explicitement la durée, les conditions de la garantie et l'organisation de leur service après-vente. L'équipementier précisera notamment les conditions d'accès à la hotline, les possibilités de dépannage à distance et les délais d'intervention.

7.5 Accompagnement de l'offre

Une formation pratique d'au moins 2 journées devra être dispensée aux utilisateurs dans le mois suivant la livraison des équipements. Elle permettra de couvrir les informations suivantes :

- Adaptation et installation des différents équipements.

- Réglages et tests des sources lasers et du détecteur.
- Protocole de mesure des analyses spectrales, à l'aide du logiciel déjà disponible de chez Horiba.

8 Lot 6 Acquisition de diode Laser solide émettant en continu à 785 nm et ses accessoires associés (projet CAPTURE)

8.1 Contexte de l'opération lot 6

Depuis plusieurs années, l'Institut Foton participe à l'essor de la photonique intégrée dans les gammes spectrales du visible et du moyen-infrarouge. Ces travaux permettent aujourd'hui aux technologies photoniques d'apporter des solutions notamment dans le domaine des capteurs pour des applications telles que la surveillance de l'environnement, la santé, l'agroalimentaire et l'agriculture.

Les travaux au sein du département Systèmes Photoniques (SP) de l'institut Foton, sur le site de Lannion, portent sur la réalisation de composants photoniques développés à partir de différents types de matériaux (en couches minces et nanostructurés). Pour cela des procédés technologiques sont effectués et une fois les composants élaborés, ils sont ensuite analysés et caractérisés. Ainsi des caractérisations optiques et physico-chimiques sont effectuées et parmi ces caractérisations, nous utilisons l'analyse Raman. Cette analyse est une technique fondamentale en science des matériaux, en nanotechnologie, en chimie et en analyse biologique, offrant un moyen non destructif permettant d'identifier et de caractériser des structures moléculaires.

Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton dispose d'un instrument micro-Raman confocal à haute résolution. Cet instrument date de 2009 et nécessite une mise à jour aussi bien sur la partie excitation que la partie détection.

8.2 Objectifs scientifiques

La spectroscopie Raman est une technique analytique puissante utilisée pour étudier les vibrations, longitudinales et rotationnelles et autres modes de basses fréquences des molécules. Elle repose sur la diffusion inélastique de la lumière monochromatique, généralement issue d'une source laser (excitation à une longueur d'onde spécifique). Lorsque la lumière interagit avec la matière, la plupart des photons sont diffusés élastiquement sans changement d'énergie (il s'agit de la diffusion Rayleigh). Cependant, une faible fraction (~ 1 sur 10^6 à 10^8 photons) subit une diffusion inélastique, échangeant de l'énergie avec les états vibrationnels des molécules : c'est le phénomène physique connu sous le nom de l'effet Raman.

La diffusion Raman est donc un phénomène d'interaction entre la lumière et la matière. Le décalage Raman (ou Raman shift), ainsi créé, exprime la différence d'énergie entre la lumière incidente (laser) et la lumière diffusée par l'échantillon à analyser et recueilli par le système de détection.

Afin d'améliorer les analyses spectrales par diffusion Raman, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton lance un appel d'offres pour l'acquisition de trois lots permettant des mesures en haute résolution.

Ces lots consistent en l'achat de nouvelles sources lasers à différentes longueurs d'onde et d'un détecteur à hautes résolution et sensibilité, pour renforcer les activités de l'institut Foton notamment dans les domaines sociétaux de l'environnement et de la santé.

La proposition comprendra la livraison, l'installation, les différents réglages et la vérification des spécifications techniques des équipements et accessoires correspondants à chaque lot. Les matériels acquis feront partie du département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton (UMR CNRS 6082) situé à Lannion et seront utilisés par son personnel scientifique, dans le cadre du projet CPER PhotBreizh et dans le cadre d'autres projets de recherche tels que la thèse LA-SERS et de projets en cours de soumission dans des appels nationaux et européens (SEREINA et DIONIISOS) concernant le développement de capteurs miniaturisés à base de l'effet SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy).

Ci-dessous un récapitulatif du lot demandé dans cet appel d'offres.

- Diode Laser solide émettant en continu à 785 nm et ses accessoires associés.

8.3 Description et caractéristiques techniques des équipements

8.3.1 Diode Laser solide émettant en continu à 785 nm et ses accessoires associés :

Ce laser servira, en tant que source excitatrice dans le visible / proche - infrarouge, nécessaires pour les différentes analyses spécifiques à l'effet Raman.

Description et spécifications techniques de cet équipement :

- Source Laser solide :
 - Longueur d'onde d'émission : 785 nm (tolérance $\pm 0,5$ nm)
 - Émission en continu (CW)
 - Puissance de sortie en espace libre : > 100 mW
 - Adaptation et compatibilité au système existant de l'instrument Horiba HR800.

Le fournisseur devra préciser les qualités de la source en termes de bruit et de stabilité ainsi que celles de l'alimentation de la source.

Cet équipement devra être installé à **l'extérieur de l'instrument Raman Horiba HR800 existant**, y compris les différents accessoires (miroirs, filtres, ...) et devra être compatible avec les puissances reçues sur les échantillons après avoir traversé les objectifs du microscope.

8.3.2 Prestations Supplémentaires Éventuelles (PSE)

PSE1 : Filtres EDGE et interférentiel :

Filtres EDGE 785 nm et interférentiel permettant de filtrer les longueurs d'onde parasites et d'éliminer la réponse de l'excitation laser à 785 nm.

8.4 Spécifications de l'offre

Les candidats sont libres de proposer des variantes supplémentaires qu'ils jugeraient nécessaires (adaptation et compatibilité à l'instrument existant, différents miroirs et filtres, mesure de puissance, ...).

Assistance technique par mail ou téléphonique sous 48 h ouvrées

8.5 Garantie

L'ensemble des équipements sera garanti pour une durée minimale de 2 ans après l'installation sur site (pièces, main d'œuvre et frais de déplacement).

Les candidats à l'appel d'offre devront décrire explicitement la durée, les conditions de la garantie et l'organisation de leur service après-vente. L'équipementier précisera notamment les conditions d'accès à la hotline, les possibilités de dépannage à distance et les délais d'intervention.

9 Lot 7 Acquisition d'un bras robotisé (projet CAPTURE)

9.1 Contexte de l'opération lot 7

Le CPER Phot-Breizh a pour objectif de compléter les équipements de la plateforme EEWOK de l'Université de Rennes en termes de capteurs et de bancs de test. Ces équipements permettront de mettre en place un banc de caractérisation et d'expérimentation avec des équipements de références pour des systèmes embarqués en mouvement.

Les mesures effectuées avec le banc seront utilisées afin de caractériser des capteurs de mouvements et de développer des algorithmes de traitement de signal permettant d'améliorer les performances de mesure.

Les données mesurées seront notamment exploitées dans le cadre des activités de l'équipe Granit sur l'utilisation de modules inertiels basse consommation pour, entre autres, les applications de logistique, industrie du futur, médicales, performance sportive. Des projets en collaboration avec des industriels (Armor Arsenal) et des laboratoires (M2S, IETR) pourront alors s'appuyer sur ce banc. Des thèses en cours sur ces domaines bénéficieront alors des mesures effectuées avec le banc de test afin de valider leurs travaux. L'expertise acquise pourra permettre de mettre en place des collaborations avec l'Institut Foton ou d'autres industriels.

9.2 Objectifs scientifiques

Un bras robotisé permettra la mise en mouvement d'équipements (p. ex., fibre optiques, capteurs) afin de les caractériser de manière dynamique et donc d'évaluer leur performance. Des scénarios de mouvements seront définis dans le but d'automatiser les mesures dans un environnement contrôlé et reproductible. Un banc de test sera monté sur marbre avec cet équipement pour permettre son utilisation et l'exploitation des résultats des mesures.

Une répétabilité de l'ordre de 0,1mm, couplée à une vitesse linéaire supérieure à 1,5 m/s, avec au minimum 6 degrés de liberté, permettra une qualité suffisante de caractérisation des dispositifs.

9.3 Description de l'équipement

9.3.1 Description et spécifications techniques du matériel et fonctionnalités requises

Voici les spécifications attendues par le bras par bornes minimales ou maximales suivant la caractéristique :

- Degrés de liberté (DOF) ≥ 6
- Répétabilité $\leq \pm 0,1$ mm
- Charge utile maximale ≥ 1 kg
- Vitesse linéaire maximale $\geq 1,5$ m/s
- Rayon de travail ≥ 500 mm
- Poids ≤ 30 kg

Un système de détection et de limitation ou évitement de collision (p ex., limite de couple maximale) devra être intégré pour éviter la détérioration du matériel en cas de mauvaise programmation.

Le bras devra avoir des trous de fixation au niveau de sa base (ancrage sur table horizontale) et de sa tête (fixation du matériel de test).

La communication avec le bras devra pouvoir être effectuée par un ordinateur Windows ou Linux. Le bras devra donc supporter au moins 1 des protocoles suivants :

- WiFi

- Ethernet (TCP/IP)
- USB

La programmation des mouvements devra se faire soit par un logiciel spécifique fourni soit par une API.

Dans le cas d'un logiciel spécifique, une possibilité d'enregistrement plusieurs mouvements devra être incluse dans le but de les rejouer à plusieurs reprises.

Dans le cas d'une API, au moins un des langages suivants devra être supporté :

- Python
- C/C++
- Matlab

9.3.2 Options éventuelles

PSE 1 : tête avec pince pour agripper des objets $\leq 200g$

9.4 Lieu de livraison

ENSSAT

IRISA – Équipe Granit

6 rue de Kerampont

CS 80518

22305 Lannion, France

10 Lot 8 Acquisition d'un module inertiel embarqué grade tactique (projet CAPTURE)

10.1 Contexte de l'opération lot 8

Le CPER Phot-Breizh a pour objectif de compléter les équipements de la plateforme EEWOK de l'Université de Rennes en termes de capteurs et de bancs de test. Ces équipements permettront de mettre en place un banc de caractérisation et d'expérimentation avec des équipements de références pour des systèmes embarqués en mouvement.

Les mesures effectuées avec le banc seront utilisées afin de caractériser des capteurs de mouvements et de développer des algorithmes de traitement de signal permettant d'améliorer les performances de mesure.

Les données mesurées seront notamment exploitées dans le cadre des activités de l'équipe Granit sur l'utilisation de modules inertiels basse consommation pour, entre autres, les applications de logistique, industrie du futur, médicales, performance sportive. Des projets en collaboration avec des industriels (Armor Arsenal) et des laboratoires (M2S, IETR) pourront alors s'appuyer sur ce banc. Des thèses en cours sur ces domaines bénéficieront alors des mesures effectuées avec le banc de test afin de valider leurs travaux. L'expertise acquise pourra permettre de mettre en place des collaborations avec l'Institut Foton ou d'autres industriels.

10.2 Objectifs scientifiques

Un module inertiel viendra compléter un banc de test équipé d'un bras robotisé. Le module permettra de mesurer les mouvements effectués par le bras pour obtenir une référence de l'expérimentation qui sera menée.

10.3 Description de l'équipement

Le module sera embarqué sur un bras robotisé en mouvement et donc alimenté par batterie. Il doit comporter un gyroscope 3 axes, un accéléromètre 3 axes et un inclinomètre 3 axes.

Voici les spécifications attendues par le module par bornes minimales ou maximales suivant la caractéristique :

- Gyroscope – biais d'instabilité ou d'instabilité (bias instability or stability) $\leq 1^\circ / h$
- Gyroscope – plage (range) $\geq 400^\circ / s$
- Accéléromètre – biais d'instabilité ou d'instabilité (bias instability or stability) $\leq 1 \text{ mg}$ (pour une plage $\geq \pm 5 \text{ g}$)
- Accéléromètre – plage (range) $\geq \pm 10 \text{ g}$
- Inclinomètre – biais d'instabilité ou précision (bias instability or accuracy) $\leq 0,1 \text{ mg}$ ou $0,1^\circ$
- Inclinomètre – plage (range) $\geq \pm 1 \text{ g}$ ou $\pm 180^\circ$
- Fréquence des données en sortie du module (data rate) $\geq 100 \text{ Hz}$
- Tension d'alimentation (power supply voltage) $\leq 12 \text{ V}$
- Poids $\leq 200 \text{ g}$
- Volume $< 500 \text{ cm}^3$

La communication avec le module inertiel pourra être effectuée, si possible, par une carte embarquée (p ex., carte microcontrôleur, Raspberry Pi) non incluse dans le lot.

Le module inertiel devra supporter au moins 1 des protocoles suivants :

- **RS232** : Liaison série point à point sur de courtes distances.
- **RS422** : Version améliorée du RS232 utilisant une transmission différentielle pour atteindre des vitesses plus élevées et des distances plus longues en point à point.
- **RS485** : Standard industriel utilisant une paire différentielle pour permettre une communication multipoint sur de très longues distances.
- **UART** : Protocole de communication série asynchrone universel intégré aux microcontrôleurs pour échanger des données via deux fils (TX/RX) sans horloge commune.
- **SPI** : Interface synchrone à haute vitesse utilisant quatre fils (horloge, données entrantes/sortantes, sélection) pour une communication courte distance entre composants.
- **I²C** : Bus série synchrone à deux fils (données et horloge) permettant de relier facilement de nombreux capteurs et périphériques à un processeur.
- **USB** : Standard de communication universel conçu pour alimenter et connecter une immense variété de périphériques à un hôte informatique.

Soit une documentation détaillée du format des messages est fournie, soit un module de conversion dans un autre protocole listé ci-dessus (p ex., USB) est fourni pour permettre une communication avec le module inertiel.

Si un logiciel ou des codes sources existent pour communiquer avec le module inertiel, il(s) devra(ont) être fourni(s) avec le matériel afin de faciliter la mise en œuvre de celui-ci.

10.4 Lieu de livraison

IRISA – Équipe Granit

ENSSAT

6 rue de Kerampont

22305 Lannion, France

11 Lot 9 Acquisition de sources laser dans la gamme spectrale du moyen infrarouge (projet MIRACLE)

11.1 Contexte de l'opération

Le sous-projet MIRACLE du CPER Phot-Breizh se situe dans l'axe 2 (efforts de transformation de transitions environnementale, énergétique et écologique), ainsi que l'axe 3 (innovation dans les domaines de la santé, de l'environnement et de la défense). Ce sous projet a pour objectif de développer les moyens de caractérisations de l'Institut Foton dans le moyen-infrarouge qui est une bande spectrale qui permet d'identifier et de quantifier de nombreuses molécules par leurs bandes d'absorptions qui leur sont de véritables empreintes digitales dans les domaines sociétaux de l'environnement, de la santé et de la défense. Ceci permettra de détecter ainsi ces molécules à l'état de traces (de l'ordre du ppm ou du ppb).

Ainsi, dans le cadre du sous-projet MIRACLE, le département Systèmes Photoniques (SP) de l'Institut FOTON souhaite faire l'acquisition d'un ou plusieurs équipements de détection (caméras infrarouges) et d'une ou plusieurs sources de lumières dans le moyen infrarouge afin d'accompagner l'évolution des moyens d'instrumentation dans cette gamme de longueurs d'onde. C'est pourquoi ce sous-projet est divisé en deux lots.

Le matériel acquis fera partie de l'équipe Systèmes Photoniques du laboratoire FOTON (UMR-6082) et sera utilisé par son personnel scientifique et technique, dans le cadre du projet CPER PhotBreizh et dans le cadre d'autres projets de recherche tels que différents projets ANR (AQUAE, POCOMA et KASHMIR) et européen (projet IBAIA), et thèses en cours (thèse en cotutelle avec l'Université de Sherbrooke au Québec Canada) dans les domaines sociétaux de l'environnement et de la santé. D'autres projets sont en cours de montage en lien avec des partenaires académiques (ISCR, IES, PHLAM,...) mais aussi industriels tels que III-V lab, Mirsense et des EPIC (Ifremer, BRGM).

Le projet bénéficiera des moyens déjà existants du département Systèmes Photoniques tant du point de vue humain que matériels.

L'expérience acquise par une partie du personnel impliqué de l'Institut Foton dans cette gamme de longueurs d'onde permettra de mettre en place les nouveaux équipements acquis durant cette phase. La gestion et la maintenance des matériels seront effectuées par le support technique du département SP. Les matériels acquis bénéficieront aux thématiques de recherche déjà existantes ainsi du département SP.

11.2 Objectifs scientifiques

En mettant à jour, ces moyens d'instrumentation dans le moyen infrarouge, le département Systèmes Photoniques pourra mieux répondre aux différentes sollicitations dans le cadre de projets de recherche académiques ou industriels dans cette gamme de longueurs d'onde pour des domaines d'applications tels que l'environnement, la santé ou la défense. Le département Systèmes Photoniques collabore déjà avec des acteurs industriels dans cette gamme de longueurs d'onde tels que MIRSENSE, VIGO Photonics, Idil ou académiques tels que l'ISCR, le C2N, l'IEMN mais aussi des end-users pour des applications environnementales tels que le BRGM, l'IFREMER et le Cèdre.

Les résultats attendus sont de pouvoir équiper l'Institut Foton d'instruments (caméras et sources de lumière) dans le moyen infrarouge qui est un intervalle de longueur d'onde émergent ces dernières années pour des applications dans les domaines sociétaux de l'environnement, de la santé et de la défense. Ces équipements sont structurants pour le laboratoire et lui permettront de renforcer son attractivité dans cette gamme de longueur d'onde. De nombreux projets de recherche nationaux et internationaux sont déjà associés à cette gamme de longueur d'onde avec l'Institut Foton comme coordinateur ou partenaire.

Ces nouveaux équipements permettront de renforcer l'attractivité du département SP dans les thématiques de recherche dans la gamme du moyen infrarouge avec les entreprises régionales et nationales (Kerdry, Idil, Ecocompteur, Diafir,...) travaillant dans le domaine des capteurs mais aussi dans le cadre de projets de recherche académique (projets de thèse nationaux et internationaux (Canada, Université de Sherbrooke) et projets collaboratifs ANR et européens en cours (AQUAE, POCOMA, IBAIA) et soumis (3D-PIC, CHOISIR, SEREINA, BIO-HEAL) incluant des partenaires industriels européens (VIGO, MIRSENSE, ARGOTECH, III-V Lab,...).

11.3 Description de l'équipement (ou du banc si applicable)

11.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

L'équipement sera constitué d'une base flexible et modulaire, appelé plateforme, qui permettra aux utilisateurs de sélectionner 1, 2, 3 ou 4 QCL (*Quantum Cascade Lasers*), appelé *module Laser*, fonctionnant en mode continu (CW) ou pulsé.

Cet équipement sera constitué d'une offre de base, comprenant la base modulaire (plateforme) incluant quatre modules Laser et de deux variantes pour une prestation supplémentaire éventuelle.

11.3.2 Caractéristiques attendues

Les caractéristiques attendues sont les suivantes :

1- Base modulaire comprenant 4 modules Laser

L'offre de base comprendra la plateforme équipée de quatre modules QCL Lasers répondant aux caractéristiques suivantes :

- Fonctionnement en mode continu
- Gamme spectrale visée de 4,4 μm à 7,2 μm et de 10 à 12,5 μm avec les quatre modules QCL en précisant la gamme spectrale de chaque QCL
- Puissance supérieure à 15 mW à dans la gamme spectrale désirée
- Réglage automatique de l'alignement coaxial des différents modules Lasers par la plateforme
- Qualité du faisceau : Faisceau monomode transverse TEM 00 avec un $M2 < 1,1$
- Répétabilité de la longueur d'onde inférieure à 0,1 cm^{-1}
- Polarisation linéaire avec un taux de polarisation meilleur que 100:1
- Balayages en longueur d'onde : uni- et bidirectionnels ; balayage pas à pas ; Vitesse d'accord : 100 $\text{cm}^{-1} / \text{s}$; Stabilité inférieure à 1 mrad par 100 cm^{-1} de variation
- Stabilité de l'intensité < 3 %
- Waist inférieure à 2,5 mm à 1/ e^2
- Divergence du faisceau : inférieure à 4 mrad (largeur totale à 1/ e^2)

Les quatre modules devront être installés sur la plateforme et seront fournis avec leurs caractéristiques techniques en précisant la largeur spectrale de la raie d'impulsion pour chaque QCL.

2. Système de refroidissement

Un système permettant le refroidissement (chiller) de l'ensemble de la plateforme pour l'utilisation des sources Lasers sera proposé.

Celui-ci répondra aux spécifications techniques des modules Lasers QCL intégrés, notamment pour leur fonctionnement en continu, sur la plateforme et sera séparé de l'équipement.

Le fournisseur précisera le type de liquide caloporteur le plus adapté et fournira la notice technique et le manuel d'utilisation du système.

3. Pilotage de l'équipement

- Système de pilotage permettant un mode manuel ou semi-automatique de la plateforme.
- Des sorties GPIB, USB ou Ethernet sur la plateforme seront installées et des drivers pour son pilotage seront proposés pour une gestion simple et synchronisée des modules Lasers.
- Une sécurisation de l'appareil pour les utilisateurs lors de la mise en fonctionnement des sources lasers sera proposée.

L'équipementier, en tant que professionnel, a une mission de conseil, d'information et de mise en garde. Ainsi, il pourra proposer des recommandations techniques sur la configuration de base. Celles-ci seront étudiées avec attention et l'effort de conseil sera pris en compte dans l'évaluation des offres.

11.3.3 Options éventuelles

PSE1 : Un module Laser QCL supplémentaire entre 3,81 à 4,42 μm .

Un module Laser QCL supplémentaire pourra être proposé. Il devra respecter les mêmes clauses techniques que l'offre de base à l'exception de la gamme spectrale désirée.

Ce module Laser QCL supplémentaire, couvrant la gamme spectrale allant de 3,81 à 4,42 μm , devra être installé sur une autre plateforme (type HHG) et être fourni avec ses caractéristiques techniques. La largeur spectrale de la raie d'émission devra être précisée.

Les candidats sont libres de proposer toute autre variante supplémentaire qu'ils jugeraient nécessaire.

11.4 Spécifications de l'offre

11.4.1 Documentation technique

L'équipementier s'engage à fournir les notices d'utilisation, l'ensemble des plans mécaniques et électriques ainsi que toute la documentation technique machine nécessaire à la maintenance (liste des opérations de contrôle et maintenance, références et notices des pièces et composants...). L'ensemble de la documentation technique sera fourni en 1 exemplaire sous format papier et/ou sur clé USB.

11.4.2 Garantie

L'ensemble de l'équipement sera garanti pour une durée minimale de 2 ans après l'installation sur site. La garantie couvrira l'ensemble des équipements installés : pièces, main d'œuvre et frais de déplacement.

Les candidats à l'appel d'offre devront décrire explicitement la durée, les conditions de la garantie et l'organisation de leur service après-vente. Notamment, l'équipementier précisera les conditions d'accès à la hotline, les possibilités de dépannage à distance et les délais d'intervention.

12 Lot 10 Acquisition de caméra(s) dans la gamme spectrale du moyen infra-rouge (projet Miracle)

12.1 Contexte de l'opération

Le sous-projet MIRACLE du CPER Phot-Breizh se situe dans l'axe 2 (efforts de transformation de transitions environnementale, énergétique et écologique), ainsi que l'axe 3 (innovation dans les domaines de la santé, de l'environnement et de la défense). Ce sous projet a pour objectif de développer les moyens de caractérisations de l'Institut Foton dans le moyen-infrarouge qui est une bande spectrale qui permet d'identifier et de quantifier de nombreuses molécules par leurs bandes d'absorptions qui leur sont de véritables empreintes digitales dans les domaines sociétaux de l'environnement, de la santé et de la défense. Ceci permettra de détecter ainsi ces molécules à l'état de traces (de l'ordre du ppm ou du ppb).

Ainsi, dans le cadre du sous-projet MIRACLE, le département Systèmes Photoniques (SP) de l'Institut FOTON souhaite faire l'acquisition d'un ou plusieurs équipements de détection (caméras infrarouges) et d'une ou plusieurs sources de lumières dans le moyen infrarouge afin d'accompagner l'évolution des moyens d'instrumentation dans cette gamme de longueurs d'onde. C'est pourquoi ce sous-projet est divisé en deux lots.

Le matériel acquis fera partie de l'équipe Systèmes Photoniques du laboratoire FOTON (UMR-6082) et sera utilisé par son personnel scientifique et technique, dans le cadre du projet CPER PhotBreizh et dans le cadre d'autres projets de recherche tels que différents projets ANR (AQUAE, POCOMA et KASHMIR) et européen (projet IBAIA), et thèses en cours (thèse en cotutelle avec l'Université de Sherbrooke au Québec Canada) dans les domaines sociétaux de l'environnement et de la santé. D'autres projets sont en cours de montage en lien avec des partenaires académiques (ISCR, IES, PLHAM,...) mais aussi industriels tels que III-V lab, Mirsense et des EPIC (Ifremer, BRGM).

Le projet bénéficiera des moyens déjà existants du département Systèmes Photoniques tant du point de vue humain que matériels.

L'expérience acquise par une partie du personnel impliqué de l'Institut Foton dans cette gamme de longueurs d'onde permettra de mettre en place les nouveaux équipements acquis durant cette phase. La gestion et la maintenance des matériels seront effectuées par le support technique du département SP. Les matériels acquis bénéficieront aux thématiques de recherche déjà existantes ainsi du département SP.

12.2 Objectifs scientifiques

Avec ces moyens d'instrumentation dans le moyen infrarouge, le département Systèmes Photoniques pourra mieux répondre aux différentes sollicitations dans le cadre de projets de recherche académiques ou industriels dans cette gamme de longueurs d'onde pour des domaines d'applications tels que l'environnement, la santé ou la défense. Le département Systèmes Photoniques collabore déjà avec des acteurs industriels dans cette gamme de longueurs d'onde tels que MIRSENSE, VIGO Photonics, Idil ou académiques tels que l'ISCR, le C2N, l'IEMN mais aussi des end-users pour des applications environnementales tels que le BRGM, l'IFREMER et le Cèdre.

Les résultats attendus sont de pouvoir équiper l'Institut Foton d'instruments (caméras et sources de lumière) dans le moyen infrarouge qui est un intervalle de longueur d'onde émergent ces dernières années pour des applications dans les domaines sociétaux de l'environnement, de la santé et de la défense. Ces équipements sont structurants pour le laboratoire et lui permettront de renforcer son attractivité dans cette gamme de longueur d'onde. De nombreux projets de recherche nationaux et internationaux sont déjà associés à cette gamme de longueur d'onde avec l'Institut Foton comme coordinateur ou partenaire.

Ces nouveaux équipements permettront de renforcer l'attractivité du département SP dans les thématiques de recherche dans la gamme du moyen infrarouge avec les entreprises régionales et nationales (Kerdry, Idil, Ecocompteur, Diafir,...) travaillant dans le domaine des capteurs mais aussi dans le cadre de projets de recherche académique (projets de thèse nationaux et internationaux (Canada, Université de Sherbrooke) et projets collaboratifs ANR et européens en cours (AQUAE, POCOMA, IBAIA) et soumis (3D-PIC, CHOISIR, SEREINA, BIO-HEAL) incluant des partenaires industriels européens (VIGO, MIRSENSE, ARGOTECH, III-V Lab,...).

12.3 Description de l'équipement

L'équipement sera constitué de l'acquisition d'une ou plusieurs caméras infrarouges couvrant la gamme spectrale du moyen infrarouge parcourant les longueurs d'onde de 3 à 12 μm . Ces caméras serviront pour effectuer de l'assemblage optique ou de l'alignement des instruments ou de composants optiques.

Cet équipement sera constitué d'une offre de base incluant une caméra ou plusieurs caméras couvrant l'intervalle de longueurs d'onde souhaitées comprises entre 3 à 12 μm et d'une variante pour une prestation supplémentaire éventuelle.

12.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Les caractéristiques attendues sont les suivantes :

1- Caméra(s) infrarouges

L'offre de base comprendra l'acquisition de caméra(s) répondant aux caractéristiques suivantes :

- Gamme spectrale visée de détection comprise entre 3 et 12 μm
 - La (les) caméra(s) doit (doivent) pouvoir détecter un flux lumineux maximale maximal détectable de 20 mW/mm² sans la(les) endommager (destruction des pixels)
 - Surface active supérieure à 5 mm × 5 mm
 - La technologie semiconducteur (MCT, InP,...) sera privilégiée
- ##### 2. Pilotage de l'équipement
- Système de pilotage permettant un mode manuel ou semi-automatique de la caméra ou des caméras qui peut être mutualisé si plusieurs caméras.
 - Des sorties GPIB, USB ou Ethernet sur la (les) caméra(s) seront installées et des drivers pour son pilotage seront proposés pour une gestion simple et synchronisée de la (des) caméra(s).

L'équipementier, en tant que professionnel, a une mission de conseil, d'information et de mise en garde. Ainsi, il pourra proposer des recommandations techniques sur la configuration

de base. Celles-ci seront étudiées avec attention et l'effort de conseil sera pris en compte dans l'évaluation des offres.

12.3.2 Options éventuelles

PSE1 : 1 an de garantie supplémentaire.

12.3.3 Description d'une variante pour prestations supplémentaires éventuelles.

Si l'équipementier propose plusieurs caméras pour couvrir la bande spectrale désirée entre 3 et 12 μm , l'Institut Foton se garde le droit de sélectionner qu'une partie des caméras par rapport aux longueurs d'onde d'utilisation des caméras et des critères décrits ci-dessus.

Les candidats sont libres de proposer les variantes supplémentaires qu'ils jugeraient nécessaires.

12.4 Spécifications de l'offre

1. Documentation technique

L'équipementier s'engage à fournir les notices d'utilisation, l'ensemble des plans mécaniques et électriques ainsi que toute la documentation technique machine nécessaire à la maintenance (liste des opérations de contrôle et maintenance, références et notices des pièces et composants...). L'ensemble de la documentation technique sera fourni en 1 exemplaire sous format papier ou/et sur clé USB.

2. Garantie

L'ensemble de l'équipement sera garanti pour une durée minimale de 2 ans après l'installation sur site. La garantie couvrira l'ensemble des équipements installés : pièces, main d'œuvre et frais de déplacement.

Les candidats à l'appel d'offre devront décrire explicitement la durée, les conditions de la garantie et l'organisation de leur service après-vente. Notamment, l'équipementier précisera les conditions d'accès à la hotline, les possibilités de dépannage à distance et les délais d'intervention.

13 Lot 11 Détecteurs supraconducteurs de photons uniques (projet OPTICOM)

13.1 Contexte de l'opération lot 11 : Détecteurs supraconducteurs de photons uniques

Ce projet s'intègre dans le projet OPTICOM du CPER Phot-Breizh qui regroupe l'ensemble des besoins en équipement pour les solutions optiques et numériques pour l'autonomie, la flexibilité et la sécurisation de la couche physique des réseaux optiques.

L'acquisition qui sera faite dans le cadre de ce sous-projet intégrera les équipements de la plateforme Persyst de l'Institut Foton qui a un rôle clé dans le test et la validation des systèmes de communications optiques en France. Ce domaine très évolutif nécessite une évolution continue des équipements associés.

13.2 Objectifs scientifiques

Le projet OPTICOM a pour objectif d'accompagner l'évolution des techniques de transmissions optiques très haut débit pour des domaines d'application variés tels que la radio sur fibre, les transmissions optiques spatiales, les transmissions quantiques, les communications en espace libre, les transmissions optiques THz ainsi que les transmissions dans d'autres gammes de

longueur d'onde que l'infrarouge généralement utilisé pour les télécommunications optiques (dans le visible par exemple).

Dans le cadre de cette phase d'acquisition, c'est le volet communications quantiques qui est abordé. Il accompagne la thématique des technologies habilitantes pour les communications quantiques, et en particulier la partie détection.

13.3 Description de l'équipement (ou du banc si applicable)

13.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Dans ce lot, l'institut FOTON souhaite faire l'acquisition de détecteurs supraconducteurs de photons uniques. Une **configuration minimale** comprenant **deux détecteurs à 1550 nm, deux détecteurs à 600 nm et un système de cryogénie autonome sont attendus.**

13.3.2 Caractéristiques attendues

Le tableau ci-dessous indique les principales performances minimales attendues de l'équipement. Ces critères minimaux sont éliminatoires. Des performances au-delà seront appréciées et prises en compte dans le choix. L'intégration des options demandées dans l'offre principale sera également prise en compte.

a) Mainframe :

Nombre d'emplacements de détecteurs	≥ 8
Type d'interface optique	FC/PC, FC/APC ou E2000
Cryostat	- Compresseur : Refroidissement à air et déportable à plus de 15 m du détecteur (longueur du flexible He). - Opérationnel en continu (7/7j et 24/24h) - Marque Sumitomo - Pompe à vide interne ou externe inclus dans l'offre. - Faible encombrement apprécié
Signal électrique de sortie	Amplitude ≥ 100 mV Signaux TTL préférés
Interface de détection temporelle hautement résolue	Compatible avec le système Swabian time tagger 20
Durée de garantie	12 mois
Installation sur site	oui
Câble électrique	Compatible avec prises électriques de type E

b) Détecteurs à 1550 nm :

Nombre de détecteurs	2
Longueurs d'onde au maximum d'efficacité	1550 nm
Largeur spectrale	> 100 nm
Efficacité système	≥ 85 % autour de 1550 nm
Taux de coups d'obscurité	≤ 10 cps
Gigue temporelle	≤ 150 ps
Taux de comptage maximal	≥ 5 MHz
Installation comprise	oui

c) Détecteurs à 600 nm :

Nombre de détecteurs	2
Longueurs d'onde au maximum d'efficacité	600 nm
Largeur spectrale	> 100 nm
Efficacité système	≥ 80 % autour de 600 nm
Taux de coups d'obscurité	≤ 10 cps
Gigue temporelle	≤ 150 ps
Taux de comptage maximal	≥ 5 MHz
Installation comprise	oui

13.4 Prestations Supplémentaires Éventuelles (PSE)

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre à 3 ans.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre à 5 ans.

PSE 3 : Convertisseur du signal de détection en impulsion TTL.

PSE 4 : Possibilité de gating des détecteurs (gating time entre 500 ns et 1 μ s).

PSE 5 : Détecteur supplémentaire à 1064 nm

Nombre de détecteurs	1
Longueurs d'onde au maximum d'efficacité	1064 nm
Largeur spectrale	> 100 nm
Efficacité système	≥ 80 % autour de 1064 nm
Taux de coups d'obscurité	≤ 10 cps
Gigue temporelle	≤ 150 ps
Taux de comptage maximal	≥ 5 MHz
Installation comprise	Option a-1 : achat intégré à l'offre principale Option a-2 : achat différé

PSE 6 : Détecteurs supplémentaires à 405 nm :

Nombre de détecteurs	2
Longueurs d'onde au maximum d'efficacité	405 nm
Largeur spectrale	> 100 nm
Efficacité système	≥ 80 % autour de 405 nm
Taux de coups d'obscurité	≤ 10 cps
Gigue temporelle	≤ 150 ps
Taux de comptage maximal	≥ 5 MHz
Installation comprise	Option a-1 : achat intégré à l'offre principale Option a-2 : achat différé

13.5 Accompagnement de l'offre

13.5.1 Constatation de l'exécution des prestations

L'offre devra être accompagnée d'une mise en service de l'équipement par la société au sein de la plateforme PERSYST. Suite à cette mise en service, la plateforme Persyst attestera alors de l'exécution de l'offre en validant les caractéristiques attendues.

14 Lot 12 Amplificateurs optiques à maintien de polarisation bande C (projet BAPEGE)

14.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 18 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en

2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusqu'à 40 dB. Nous avons atteint des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition atomique pour transposer la stabilité à 1 μ m puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins coûteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées.

Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE.

Ce signal est à 1542,15 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

14.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'années).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

14.3 Description de l'équipement

Dans ce lot, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton souhaitent acquérir 3 amplificateurs optiques à maintien de polarisation dans la bande C des télécommunications.

14.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Le tableau ci-dessous indique les principales performances minimales attendues de l'équipement. Ces critères minimaux sont éliminatoires. Des performances au-delà seront appréciées et prises en compte dans le choix. L'intégration des options demandées dans l'offre principale sera également prise en compte.

14.3.2 Fonctionnalités requises

Amplificateur optique 1 : amplificateur optique de faibles signaux

Régime d'opération du signal	Continu
Gamme de longueur d'onde	1530 (ou inférieure) à 1560 nm (ou supérieure)
Puissance de saturation (à -10 dBm)	> 20 dBm
Puissance d'entrée	- 50 dBm (ou inférieure) à 0 dBm (ou supérieure)
Polarisation	Maintien de polarisation
PER (taux d'extinction de polarisation)	> 20 dB
Facteur de bruit	< 5

Connecteurs d'entrée et de sortie	FC/APC
Stabilité de la puissance de sortie (valeur moyenne quadratique)	< 1 %
Visualisation, mesure de la puissance de sortie	Oui
Accordabilité de la puissance de sortie	Dans la gamme 20 % à 100 %
Contrôle de la puissance de sortie	Oui
Température de fonctionnement	10 °C ou inférieure – 40 °C ou supérieure
Gain faible signal à 1542 nm	50 dB
Interface	Écran de contrôle
Automatisation	Interface GPIB ou USB ou RS232 ou RJ45
Visualisation, mesure de la puissance d'entrée	oui

Amplificateur 2 : amplificateur optique de puissance de 200 mW

Régime d'opération du signal	Continu
Gamme de longueur d'onde	1530 (ou inférieure) à 1560 nm (ou supérieure)
Puissance de saturation (à -10 dBm)	Entre 23 dBm (valeur minimale) et 25 dBm
Puissance d'entrée	- 20 dBm (ou inférieure) à 0 dBm (ou supérieure)
Polarisation	Maintien de polarisation
PER (taux d'extinction de polarisation)	> 20 dB
Facteur de bruit	< 5
Connecteurs d'entrée et de sortie	FC/APC
Stabilité de la puissance de sortie (valeur moyenne quadratique)	< 1 %
Visualisation, mesure de la puissance de sortie	Oui
Accordabilité de la puissance de sortie	Dans la gamme 20 % à 100 %
Contrôle de la puissance de sortie	Oui
Température de fonctionnement	10 °C ou inférieure – 40 °C ou supérieure
Gain faible signal à 1542 nm	50 dB
Interface	Écran de contrôle
Automatisation	Interface GPIB ou USB ou RS232 ou RJ45
Accès à un signal atténué	Oui (~10 dB)
Visualisation de la puissance d'entrée	Oui

La figure de bruit doit être la plus basse possible.

Amplificateur 3 : amplificateur optique de puissance au-dessus de 500 mW

Régime d'opération du signal	Continu
Gamme de longueur d'onde	1530 (ou inférieure) à 1560 nm (ou supérieure)
Puissance de saturation (à -10 dBm)	Entre 27 dBm (valeur minimale cible) et 30 dBm
Puissance d'entrée	- 20 dBm (ou inférieure) à 0 dBm (ou supérieure)
Polarisation	Maintien de polarisation

PER (taux d'extinction de polarisation)	> 20 dB
Facteur de bruit	< 5,5 ou s'approchant
Connecteurs d'entrée et de sortie	FC/APC
Stabilité de la puissance de sortie (valeur moyenne quadratique)	< 1 %
Visualisation, mesure de la puissance de sortie	Oui
Accordabilité de la puissance de sortie	Dans la gamme 20 % à 100 %
Contrôle de la puissance de sortie	Oui
Température de fonctionnement	10 °C ou inférieure – 40 °C ou supérieure
Gain faible signal à 1542 nm	50 dB
Interface	Écran de contrôle
Automatisation	Interface GPIB ou USB ou RS232 ou RJ45
Accès à un signal atténué	Oui (~10 dB)
Visualisation de la puissance d'entrée	Oui

Le facteur de bruit doit être le plus bas possible.

14.3.3 Dimensions et poids

Une version benchtop (équipement avec interface), permettant un contrôle direct manuel sera préférée à une version OEM. Les dimensions devront si possibles être adaptées à celles d'un rack.

14.3.4 Logiciel, stockage de données, environnement

14.3.5 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre d'un an.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre de 2 ans.

14.4 Spécifications de l'offre

14.4.1 Garantie, maintenance et réparation (service après-vente, calibrage)

La disponibilité des pièces détachées doit être garantie sur une durée minimale de 5 ans après l'achat.

Les candidats préciseront leurs engagements concernant la disponibilité des pièces détachées du système concerné (durée, délais de livraisons ...).

14.5 Appel et sélection

14.5.1 Critères de choix

En plus des critères techniques, la facilité d'utilisation et de mise en œuvre ainsi que la versatilité de la solution proposée seront aussi des critères de choix.

Tous les critères de base devront être respectés.

15 Lot 13 détecteur 20 GHz bande C (projet BAPEGE)

15.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 18 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en 2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusque 40 dB. Nous avons atteint

des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition atomique pour transposer la stabilité à 1 μ m puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins coûteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées. Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE. Ce signal est à 1542,15 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

15.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'années).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

15.3 Description de l'équipement

Dans ce lot, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton souhaite acquérir 2 détecteurs optiques dans la bande C des télécommunications.

15.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Le module de photo détection doit répondre aux critères suivants :

- Plage de détection en longueurs d'onde : de 1500 nm (ou inférieure) à 1630 nm (ou supérieure)
- Bande passante de détection : DC (ou inférieure à 100 kHz, préciser la limite basse si possible < 10 kHz) à 20 GHz (ou supérieure)
- Réponse (rendement de conversion à la longueur d'onde pic) : de l'ordre de 0,7 A/W ou supérieure
- Gain de conversion : > 20 V/W
- Réfexion (Optical return loss) : inférieure à – 30 dB
- Puissance de bruit équivalente (NEP) : valeur visée 1 fW/ racine de Hz, inférieure à 30 pW/racine de Hz
- Connection : FC/APC

15.3.2 Fonctionnalités requises

Le NEP sera un facteur important. La diode doit être connectée FC/APC.

15.3.3 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre d'un an.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre de 2 ans.

PSE 3 : accès à une lecture de la mesure du photocourant.

16 Lot 14 ensemble de lasers à semi-conducteurs DFB (projet BAPEGE)

16.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 20 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en 2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusqu'à 40 dB. Nous avons atteint des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition atomique pour transposer la stabilité à 1 μ m puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins coûteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées.

Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE.

Ce signal est à 1542,15 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

16.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'années).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

16.3 Description de l'équipement

Le signal T-REFIMEVE est à 1542,15 nm.

Pour le mettre en place, il va être nécessaire d'utiliser des lasers à 1542 nm et à une autre longueur d'onde de référence à 1550 nm.

16.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Les spécifications des lasers sont les suivantes :

- Boîtier butterfly avec peltier et thermistance
- Fibre de sortie PM
- Connecteur : FC/APC
- Puissance de sortie : > 10 mW
- Courant de seuil inférieur à quelques dizaines de mA : 30 mA
- Taux de suppression de modes SMSR : > 35
- Bruit d'intensité : < 140 dB/Hz
- Longueur d'onde : 1542,15 nm et 1550,1 nm (les longueurs d'onde devront se rapprocher le plus possible de ces valeurs)
- Isolation optique : > 35 dB

Le lot se compose de 8 diodes :

- 2 à 1542,15 nm avec isolateur optique
- 2 à 1542,15 nm sans isolateur optique
- 2 à 1550,1 nm avec isolateur optique
- 2 à 1550,1 nm sans isolateur optique

16.3.2 Fonctionnalités requises

Le premier critère de choix sera celui de la longueur d'onde. Le candidat devra préciser à quel écart est garantie la longueur d'onde. Les seconds critères incluent le bruit d'intensité. La largeur de raie peut rester dans des valeurs classiques de quelques MHz.

16.3.3 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre d'un an.

PSE 2 : boîtier de montage pour diodes laser 14-pin Butterfly

PSE 3 : alimentation en courant

PSE 4 : contrôleur de température pour diode laser

17 Lot 15 Laser à bas bruit d'intensité et bruit de phase à 1542,15 nm (projet BAPEGE)

17.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 18 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en 2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusqu'à 40 dB. Nous avons atteint des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition

atomique pour transposer la stabilité à 1 μm puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins coûteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées. Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE. Ce signal est à 1542,15 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

17.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'année).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

17.3 Description de l'équipement

Dans ce lot, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton souhaite acquérir un laser à faible bruit de phase et faible bruit d'intensité émettant à 1542 nm.

17.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Les spécifications techniques de la source laser sont les suivantes :

- Longueur d'onde 1542,15 nm (le candidat précisera la précision avec laquelle il peut atteindre cette cible)
- Largeur de raie instantanée : < 100 Hz
- Largeur de raie intégrée : < 1 kHz (ou de l'ordre)
- Bruit relatif d'intensité : < -160 dBc/Hz
- Sortie fibre à maintien de polarisation
- Connecteur FC/APC
- Stabilité de fréquence sur la minute : 1 MHz
- Isolation optique : > 35 dB
- Température de fonctionnement : 10 °C (ou inférieure) à 40 °C (ou supérieure)

17.3.2 Fonctionnalités requises

L'alimentation de la source devra être incluse. Le bruit de fréquence et d'intensité restent les critères principaux de choix.

17.3.3 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre d'un an.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre de 2 ans.

PSE 3 : Modulation de la fréquence

17.4 Spécifications de l'offre

17.4.1 Test des performances

Les mesure de bruit d'intensité et de phase doivent être inclus lors de la livraison ainsi qu'un rapport des tests de fonctionnement.

17.4.2 Garantie

La garantie sera portée à 2 ans.

18 Lot 16 Boitier d'isolation acoustique et Thermique (projet BAPEGE)

18.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 18 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en 2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusque 40 dB. Nous avons atteint des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition atomique pour transposer la stabilité à 1 μ m puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins couteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées.

Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE.

Ce signal est à 1542,15 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

18.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'année).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

18.3 Description de l'équipement

Dans ce lot, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton souhaite acquérir un boîtier d'isolation thermique et acoustique afin d'améliorer les performances en bruit du banc.

18.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Le boîtier devra être susceptible de contenir des composants optiques fibrés : cavités fibrés, coupleurs, isolateurs optiques.

Les spécifications sont les suivantes :

- Le volume du boîtier doit pouvoir accueillir une cavité fibrée : coupleur, circulateur, fibre.
- La température de consigne dans la plage 20 °C - 30°C doit pouvoir être fixée par un écran de contrôle.
- La stabilité thermique doit être de l'ordre de 50 mK autour de la température de consigne.
- Les liaisons fibre doivent pouvoir être en FC/APC : au moins 4 (2 entrées et 2 sorties).
- L'équipement doit offrir possibilité d'un contrôle externe de la température.

18.3.2 Fonctionnalités requises

Le principal élément est la caractérisation en bruit de l'appareil, que le candidat devra argumenter.

18.3.3 Dimensions et poids

Les dimensions doivent être compatibles avec une table optique 900 mm x 900 mm.

18.3.4 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre d'un an.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre de 2 ans.

18.4 Spécifications de l'offre

18.4.1 Garantie, maintenance et réparation (service après-vente, calibrage)

Un étalonnage d'une durée de validité minimale d'un an doit être inclus dans l'offre.

La disponibilité des pièces détachées doit être garantie sur une durée minimale de 5 ans après l'achat.

18.4.2 Garantie

La garantie sera portée à 2 ans.

18.4.3 Formation

Une formation pratique d'au moins 0,5 journée devra être fournie aux utilisateurs. rices dans le mois suivant la fourniture de l'équipement. Cette formation pourra être réalisée à distance et sera accessible au minimum à 3 personnes.

19 Lot 17 Sources courant bas bruit (projet BAPEGE)

19.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 18 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en 2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusque 40 dB. Nous avons atteint des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition atomique pour transposer la stabilité à 1 μ m puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins coûteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées.

Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE.

Ce signal est à 1542,1 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

19.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'année).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

19.3 Description de l'équipement

Dans ce lot, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton souhaite acquérir deux alimentations bas bruit de lasers à semi-conducteurs ou une alimentation permettant d'alimenter deux diodes.

19.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Les spécifications sont les suivantes :

- Courant maximum pour un canal : entre 250 mA et 500 mA
- Bruit de courant en rms sur la bande 100 Hz-1 MHz : < 50 nA/racine Hz (si plus indiquer la valeur)
- Contrôle par USB, GPIB, RS232
- Température de fonctionnement entre 10 °C et 30 °C
- Bande modulation : 10 MHz

- Résolution de courant : 10 μA
- Dérive : 20 $\mu\text{A} / ^\circ\text{C}$
- Stabilité en puissance en rms : 0,1 %

19.3.2 Fonctionnalités requises

L'équipement doit être pilotable par USB ou GPIB ou RJ 45 ou RS232.

19.3.3 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre d'un an.

PSE 2 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre de 2 ans.

19.4 Spécifications de l'offre

19.4.1 Garantie

La garantie sera portée à 2 ans.

19.4.2 Étalonnage (calibrage)

Un étalonnage d'une durée de validité minimale d'un an doit être inclus dans l'offre.

Cet étalonnage (calibration) devra être certifié.

19.4.3 Maintenance et réparation (service après-vente, calibrage)

La disponibilité des pièces détachées doit être garantie sur une durée minimale de 5 ans après l'achat.

Les candidats préciseront leurs engagements concernant la disponibilité des pièces détachées du système concerné (durée, délais de livraisons ...).

20 Lot 18 Compteur de fréquence (projet BAPEGE)

20.1 Contexte de l'opération

Le contexte des lots 12 à 18 est identique. Le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton travaille depuis 2009 sur la réduction du bruit de phase des lasers en utilisant des lasers Brillouin. Il a ainsi été le premier à montrer la possibilité d'utiliser des fibres chalcogénures en 2012. Une étude théorique et expérimentale de laser Brillouin dit à pompage résonant, de 2017 à 2020, a permis de démontrer des réductions allant jusqu'à 40 dB. Nous avons atteint des largeurs de raie intrinsèques de 3 mHz, ce qui est à l'état de l'art. Depuis le démarrage du CPER, un projet ANR dénommé Transtab a démarré en novembre 2024 avec pour porteur le laboratoire LPL, université Sorbonne Paris Nord et pour partenaires THALES TRT et l'Institut Foton. L'objectif de ce projet est d'utiliser un laser stabilisé à 1500 nm sur une transition atomique pour transposer la stabilité à 1 μm puis dans le domaine visible. Ce projet propose une alternative au signal T-REFIMEVE dans une version compacte et moins coûteuse.

L'Institut Foton est très impliqué dans la réalisation de sources très cohérentes dans le visible ou dans la bande C des télécommunications. La cohérence est liée à une émission sur une très faible largeur spectrale ou un très faible bruit de phase. Il est essentiel d'apporter la stabilité qui correspond à la gigue de fréquence ou en d'autres termes, les fluctuations de la fréquence centrale de la bande d'émission.

Cela intéresse les applications quantiques, les capteurs, les télécommunications sécurisées.

Le contexte de l'opération consiste à préparer l'arrivée du signal métrologique T-REFIMEVE.

Ce signal est à 1542,15 nm soit dans la bande C des télécommunications optiques. La plupart des composants sont à maintien de polarisation.

20.2 Objectifs scientifiques

L'objectif est d'atteindre des largeurs de raie intrinsèques sous le millihertz. Il faut alors associer à cette cohérence une stabilité pour avoir une gigue de fréquence la plus faible possible. Cette stabilité sera apportée par le signal métrologique T-REFIMEVE. Il s'agit d'un signal optique calé sur une horloge atomique permettant une grande stabilité (typiquement une seconde sur plusieurs millions d'année).

Pour atteindre ces performances, il faut des composants thermiquement isolés et des appareils électroniques avec très peu de bruit de phase lorsque des configurations lasers utilisant des modulations sont utilisées.

Il faut pour cela réaliser un banc pouvant inclure des lasers et composants dans la bande C des télécommunications optiques.

20.3 Description de l'équipement

Dans la manipulation de signaux référencés, il est essentiel de pouvoir mesurer la stabilité de la fréquence reçue ainsi que sa gigue.

Dans ce lot, le département Systèmes Photoniques de l'Institut Foton souhaite acquérir un compteur de fréquence.

20.3.1 Description et spécifications techniques du matériel

Les spécifications sont les suivantes :

Fréquence maximale : ≥ 350 MHz

2 canaux d'entrée

Option microonde : une entrée C ≥ 12 GHz si possible en panel arrière

Fréquence minimale : $\leq 0,002$ Hz

Résolution : ≥ 12 digits/s

Type de signaux : continu et impulsionnel

Résolution en tension : 1 mV

Plage temporelle (interval de temps A à A, A à B, B à A, B à B) : 1 000 000 s

Résolution en temps (single shot) ≤ 100 ps

Largeur impulsion temporelle minimale ≤ 2 ns

Stabilité en température : $\leq 10^{-10}$ (~ 25 °C)

Taux de vieillissement :

Par 24 h $\leq 5 \cdot 10^{-11}$

Par mois $\leq 10^{-10}$

Par an $\leq 5 \cdot 10^{-10}$

Plages en température d'utilisation : de 0 °C à 40 °C

Temps de chauffe ≤ 45 minutes

Tension d'entrée maximum ≥ 5 V

Tension d'entrée minimum ≤ -5 V

Atténuation x1 / x 10

Interface GPIB, USB, ethernet (LAN)

Humidité : 5 à 95 % (15 °C $< T < 30$ °C)

Signal de calibration, de référence stable à 1, 10 MHz.

20.3.2 Fonctionnalités requises

Une programmation d'impulsion est requise. Les connectiques devront être en face arrière.

Un logiciel d'analyse sera inclus.

L'appareil fournira un signal de calibration à 1 MHz, 10 MHz. La stabilité du signal sera un critère d'évaluation.

Un certificat de calibration avec certificat est requis.

20.3.3 Logiciel, stockage de données, environnement

L'appareil sera fourni avec un logiciel d'analyse. Il devra fournir analyse statistique, FFT et lissage des signaux (jusque la fréquence microonde) spécifiée (> 12 GHz).

20.3.4 Options éventuelles

PSE 1 : Maintenance/garantie : Extension de garantie pièces et main d'œuvre de deux ans.

20.4 Spécifications de l'offre

20.4.1 Garantie

La garantie sera portée à 2 ans.

20.4.2 Étalonnage (calibrage)

Un étalonnage d'une durée de validité minimale d'un an doit être inclus dans l'offre.

Cet étalonnage (calibration) devra être certifié.

20.4.3 Maintenance et réparation (service après-vente, calibrage)

La disponibilité des pièces détachées doit être garantie sur une durée minimale de 5 ans après l'achat.

Les candidats préciseront leurs engagements concernant la disponibilité des pièces détachées du système concerné (durée, délais de livraisons ...).

20.4.4 Formation

Une formation pratique d'au moins 0,5 journée devra être fournie aux utilisateurs.rices dans le mois suivant la fourniture de l'équipement. Cette formation pourra être réalisée à distance et sera accessible au minimum à 3 personnes. Elle permettra de couvrir les informations suivantes :

- Utilisation du compteur
- Utilisation du logiciel
- Utilisation du signal de calibration