



**Acquisition d'équipements scientifiques l'Institut de Physique de
Rennes (IPR) – Université de Rennes (CPER MAT & TRANS PHASE 5)**

**LOTS 1 à 6 : Acquisition de chaines de génération et de détection d'ondes hyperfréquences et
équipement complémentaire**

Cahier des Clauses Techniques Particulières

VERSION en date du 10/02/2026

-

Affaire N° 2026004AOF

1. Objet de la consultation :

L'objet de cette consultation, qui rentre dans le cadre du CPER MAT&TRANS (Phase 5), est la fourniture, la livraison et la mise en service d'une série de modules émetteurs et récepteurs hyperfréquence, ainsi qu'un laser UV pulsé et des instruments de diagnostic associés, destinés à être utilisés avec des équipements existants (notamment un générateur de formes d'ondes arbitraires à large bande (AWG, Keysight M8195A, 64 GSa/s) afin de détecter des espèces à l'état de traces par de la technique CPUF (Chirped Pulse in Uniform supersonic Flow). La technique CPUF est à la base du projet CRESUCHIRP, qui découle de la récente bourse ERC avancée CRESUCHIRP, « Ultrasensible Chirped-Pulse Fourier Transform mm-Wave Detection of Transient Species in Uniform Supersonic Flows ». Ce projet a permis la construction d'une plateforme intégrant la génération d'écoulements supersoniques uniformes (la technique CRESU) avec deux spectromètres hyperfréquences à impulsions chirpées dernier cri fonctionnant dans les bandes Ka (26,5-40 GHz) et E (60-90 GHz). L'objectif principal du projet est de détecter des traces de molécules en phase gazeuse, afin d'étudier les produits des réactions chimiques et le transfert d'énergie qui a lieu lorsque les molécules entrent en collision, avec des applications dans tout le spectre de la recherche sur l'énergie, y compris la combustion à haut rendement et la science de l'atmosphère. Le projet ERC s'est concentré sur les plus grandes molécules et les très basses températures, mais comme nous visons maintenant des molécules instables et des températures plus élevées, il est nécessaire d'étendre la gamme de fréquences vers la région THz. L'achat proposé de chaînes de génération et de détection 0,1-0,3 THz couplées à un laser UV pulsé pour la génération de molécules instables tire parti de l'infrastructure CRESUCHIRP pour créer une plateforme unique pour la recherche en phase gazeuse et à la transition vers la nucléation des nanoparticules.

La technique CPUF offre une très grande sensibilité, car il s'agit essentiellement d'une méthode à fond nul. Afin de pouvoir en tirer parti, il est essentiel que les chaînes d'amplificateurs/multiplicateurs proposées soient spécialement conçues pour supprimer toutes les émissions lorsque l'entrée est désactivée, dans un délai de 10 ns ou moins. Tout candidat à ces lots devra fournir la preuve que cette exigence importante a été prise en compte et fournir une garantie tant pour les émissions lorsque l'entrée est mise à zéro que pour la puissance de sortie maximale.

La technique CPUF comprend la photolyse par laser UV afin de générer les espèces instables qui constituent l'objectif de ce projet. On recherche donc un laser UV, avec la possibilité de pomper les systèmes laser à colorant existants pour permettre l'accordabilité, ainsi qu'une option de rétrécissement de raie (« injection seeding ») afin de faciliter l'extension de la gamme de longueurs d'onde par des techniques non linéaires.

Ce projet s'inscrit dans les thématiques de recherche du département de physique moléculaire de l'Institut de Physique de Rennes (IPR) UMR CNRS 6251 – Université de Rennes. Le public utilisateur de cet équipement est constitué en local (IPR) des utilisateurs (enseignants-chercheurs, chercheurs, doctorants, stagiaires) de l'installation CRESUCHIRP à l'Institut de Physique de Rennes, ainsi que des collaborateurs et partenaires notamment de l'IRN QUADMARTS (« QUAntitative Detection of Radical and Trace Species ») du CNRS.

2. Description et spécifications techniques du matériel / Description and technical specifications of the equipment :

2.1. Lot 1 : Modules émetteurs et récepteurs (down-convertisseurs) compacts pour la gamme de fréquences 90—330 GHz / Compact transmitter and receiver (down-conversion) modules for the frequency range 90—330 GHz

Généralités :

Nous avons besoin d'une couverture complète sur chacune des trois bandes suivantes : 90-140 GHz, 140-220 GHz et 220-330 GHz. Chaque module émetteur ou récepteur (down-convertisseur) doit être une unité autonome indépendante équipée de sa propre alimentation électrique. Une exception à cette règle pourrait être faite dans le cas des émetteurs pour deux bandes de fréquences partageant une unité commune à fréquence plus basse, à condition que toutes les alimentations électriques soient incluses. Une antenne cornet adaptée doit être incluse pour chaque module.

Les **émetteurs** doivent être capables de générer des signaux de fréquence sur toute la bande aux niveaux minimaux indiqués à partir d'entrées présentant les caractéristiques indiquées, avec les types de guides d'ondes de sortie et les brides indiqués dans le tableau ci-dessous. Les connecteurs d'entrée RF doivent être de type femelle 2,92 mm. Le niveau de bruit maximal avec RF désactivée doit être indiqué. Des certificats de test doivent être fournis pour chaque bande de fréquence, indiquant l'amplification (RF activée) et le bruit maximal (RF désactivée) en fonction de la fréquence.

Les **récepteurs** (down-convertisseurs) doivent être capables de réaliser la down conversion des signaux de fréquence pleine bande dans les bandes indiquées à l'aide des signaux d'oscillateurs locaux (LO) indiqués. La perte d'insertion globale doit être inférieure à 2 dB. Les connecteurs LO et IF (fréquence intermédiaire) doivent être de type femelle 2,92 mm. Des certificats de test doivent être fournis pour chaque bande de fréquences, indiquant la perte de conversion en fonction de la fréquence.

Comme alternative aux down-convertisseurs intégrés ci-dessus, il est possible d'utiliser des détecteurs à diode Schottky à polarisation nulle (ZBD) équipés d'amplificateurs bias-T qui peuvent alors être utilisés comme dans (L. Y. Zou, et al., Rev. Sci. Instrum. 91, 13, 063104 (2020).) pour la détection hétérodyne à l'aide d'un LO transmis depuis l'émetteur grâce à la capacité de basculement rapide de l'AWG. Les détecteurs ZBD sont donc inclus en option, et sans l'obligation de fournir l'alimentation électrique.

Caractéristiques techniques :

Base/PSE	Type	Caractéristiques
Base	Module émetteur 90—140 GHz	Capable de générer des signaux sur toute la bande avec un niveau minimal +17 dBm à partir d'une entrée RF (< 10 dBm) à 11,25-17,5 GHz (N=8) vers une sortie WR8.0 UG-387/U. Avec son antenne cornet adaptée.
	Module émetteur 140—220 GHz	Capable de générer des signaux sur toute la bande avec un niveau minimal +13 dBm à partir d'une entrée RF (< 10 dBm) à 11,67-18,33 GHz (N=12) vers une sortie WR5.1 UG-387/U. Avec son antenne cornet adaptée.
	Module émetteur 220—330 GHz	Capable de générer des signaux sur toute la bande avec un niveau minimal +8 dBm à partir d'une entrée RF (< 10 dBm) à 12,22-18,33 GHz (N=18) vers une sortie WR3.4 UG-387/U. Avec son antenne cornet adaptée.
PSE1	Module récepteur 90—140 GHz	Capable de réaliser la down conversion des signaux pleine bande 90—140 GHz à l'aide d'un LO compris entre 11,25 et 17,5 GHz (N=8) avec une entrée hyperfréquence WR8.0 UG-387/U. Avec son antenne cornet adaptée.
PSE2	Module récepteur 140—220 GHz	Capable de réaliser la down conversion des signaux pleine bande 140—220 GHz à l'aide d'un LO compris entre 11,67 et 18,33 GHz (N=12), avec une entrée hyperfréquence WR5.1 UG-387/U. Avec son antenne cornet adaptée.
PSE3	Module récepteur 220—330 GHz	Capable de réaliser la down conversion des signaux pleine bande 220—330 GHz à l'aide d'un LO compris entre 12,22 et 18,33 GHz (N=18) avec une entrée hyperfréquence WR3.4 UG-387/U. Avec son antenne cornet adaptée.
PSE4	ZBD détecteur "zero-bias" en guide WR8.0 90—140 GHz	Détecteur 90 - 140 GHz "zero-bias" en guide WR8.0 avec amplificateur et T de polarisation 50 MHz-6 GHz et antenne cornet adaptée fournis.
PSE5	ZBD détecteur "zero-bias" en guide WR5.1 140—220 GHz	Détecteur 140 - 220 GHz "zero-bias" en guide WR5.1 avec amplificateur et T de polarisation 50 MHz-6 GHz et antenne cornet adaptée fournis.
PSE6	ZBD détecteur "zero-bias" en guide WR3.4 220—330 GHz	Détecteur 220 - 330 GHz "zero-bias" en guide WR3.4 avec amplificateur et T de polarisation 100 MHz-6 GHz et antenne cornet adaptée fournis.
PSE 7	Extension de garantie + 1 an au-delà de la garantie initiale (2 années au total) couvrant uniquement les modules émetteurs	
PSE 8	Extension de garantie + 2 ans au-delà de la garantie initiale (3 années au total) couvrant uniquement les modules émetteurs	

2.2. Lot 2 : Amplificateurs bas bruit pour la gamme de fréquences 90—330 GHz / Low noise amplifiers (LNA) for the frequency range 90—330 GHz

Généralités

Nous recherchons des amplificateurs à faible bruit (LNA) couvrant toute la bande dans les gammes de fréquences suivantes et présentant les caractéristiques indiquées, destinés à être utilisés à l'entrée des modules récepteurs. **Tous les LNA doivent être fournis sous forme d'unités autonomes avec leur propre alimentation électrique ou pouvant être connectés directement au module récepteur (les câbles doivent être fournis).**

Caractéristiques techniques :

Base/PSE	Type	Caractéristiques
Base	LNA 90—140 GHz	Amplificateur à bas bruit ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR8.0 UG-387/U• Couverture totale de la bande 90-140 GHz• Gain moyen : > 30 dB• Planéité du gain : < ± 3 dB• Facteur de bruit : < 5 dB
PSE1	LNA 140—220 GHz	Amplificateur à bas bruit ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR5.1 UG-387/U• Couverture totale de la bande 140-220 GHz• Gain moyen : > 28 dB• Planéité du gain : < ± 6 dB• Facteur de bruit : < 6,5 dB
PSE2	LNA 220—330 GHz	Amplificateur à bas bruit ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR3.4 UG-387/U• Couverture totale de la bande 220-330 GHz• Gain moyen : > 13 dB• Planéité du gain : < ± 7 dB• Facteur de bruit : < 9 dB

2.3. Lot 3 : Commutateurs rapides 90—330 GHz / Fast switches 90—330 GHz

Généralités

Nous recherchons des commutateurs rapides offrant une couverture complète des bandes dans les gammes de fréquences suivantes, avec les caractéristiques indiquées, afin de protéger les amplificateurs à faible bruit (LNA) et les modules récepteurs pendant l'impulsion d'émission.

Caractéristiques techniques :

Base/PSE	Type	Caractéristiques
Base	Commutateur rapide 90—140 GHz	Commutateur rapide ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR8.0 UG-387/U• Couverture complète de la bande 90-140 GHz• Perte d'insertion lorsque le commutateur est ouvert (activé) : < 1,5 dB• Isolation (perte d'insertion) lorsque le commutateur est fermé (désactivé) : > 22 dB• Temps de commutation : < 20 ns• Puissance maximale admissible : >15 dBm
PSE1	Commutateur rapide 140—220 GHz	Commutateur rapide ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR5.1 UG-387/U• Couverture totale de la bande 140-220 GHz• Perte d'insertion lorsque le commutateur est ouvert (activé) : < 1,5 dB• Isolation (perte d'insertion) lorsque le commutateur est fermé (désactivé) : > 22 dB• Temps de commutation : < 20 ns• Puissance maximale admissible : >15 dBm
PSE2	Commutateur rapide 220—330 GHz	Commutateur rapide ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR3.4 UG-387/U bride• Couverture complète de la bande 220-330 GHz• Perte d'insertion lorsque le commutateur est ouvert (activé) : < 2 dB• Isolation (perte d'insertion) lorsque le commutateur est fermé (désactivé) : > 21 dB• Temps de commutation : < 20 ns• Puissance maximale admissible : >15 dBm

2.4. Lot 4 : Atténuateurs variables 90—330 GHz / Variable attenuators 90—330 GHz

Généralités

Nous cherchons à acquérir des atténuateurs manuels continûment variables couvrant toute la bande dans les gammes de fréquences suivantes, avec les caractéristiques indiquées, destinés à être utilisés derrière les antennes cornet côté récepteur.

Caractéristiques techniques :

Base/PSE	Type	Caractéristiques
Base	Atténuateur variable 90—140 GHz	Atténuateur manuel continûment variable ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR8.0 UG-387/U bride• Couverture totale de la bande 90-140 GHz• Atténuation : 0-30 dB• Perte d'insertion : < 1,5 dB• Puissance maximale admissible : > 40 mW cw
PSE1	Atténuateur variable 140—220 GHz	Atténuateur manuel continûment variable ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR5.1 UG-387/U bride• Couverture complète de la bande 140-220 GHz• Atténuation : 0-30 dB• Perte d'insertion : < 1,5 dB• Puissance maximale admissible : > 15 mW cw
PSE2	Atténuateur variable 220—330 GHz	Atténuateur manuel continûment variable ayant les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Type de guide d'ondes d'entrée/sortie et bride : WR3.4 UG-387/U bride• Couverture complète de la bande 220-330 GHz• Atténuation : 0-30 dB• Perte d'insertion : < 2 dB• Puissance maximale admissible : > 8 mW cw

2.5. Lot 5 : Sonde USB de mesure de puissance moyenne / USB average power sensor

Généralités

Nous recherchons une sonde de puissance moyenne avec connectivité USB, couvrant la gamme de fréquences de 10 MHz à 18 GHz.

Caractéristiques techniques :

Base/PSE	Type	Caractéristiques
Base	Sonde de puissance moyenne USB 18 GHz.	<p>Sonde de puissance moyenne ayant les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">• Gamme de fréquences de 10 MHz à 18 GHz• Connectivité USB et logiciel inclus• Plage dynamique d'au moins -65 à +24 dBm• Mesure en temps réel d'au moins 45 000 lectures/seconde

2.6. Lot 6 : Laser Nd:YAG pulsé avec production d'UV / Pulsed Nd:YAG laser with UV output

Généralités

Nous cherchons à acquérir un laser Nd:YAG pulsé à une cadence de 10 Hz (au moins) et capable de générer des impulsions laser à toutes les harmoniques, y compris les longueurs d'onde UV profondes, afin de l'utiliser comme source de photolyse et, éventuellement, pour le pompage d'un laser à colorant pulsé existant (Sirah Cobra Stretch). Nous recherchons également une option permettant d'inclure un amorçage par injection afin de permettre un fonctionnement en mode longitudinal unique (SLM) afin d'être utilisé pour la génération de fréquence par différence (DFG) du rayonnement accordable infrarouge ou pour pomper un OPO (oscillateur paramétrique optique).

Caractéristiques techniques :

Base/PSE	Type	Caractéristiques
Base	Laser Nd:YAG pulsé 10 Hz avec harmoniques 2x, 3x, 4x et 5x	<p>Laser Nd:YAG pulsé ayant les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">• Taux de répétition 10 Hz• Durée d'impulsion maximale < 10 ns (1064 nm)• Divergence du faisceau < 0,5 mrad (1064 nm)• Stabilité de pointage < 50 µrad (1064 nm)• Déclenchement externe via impulsions TTL avec gigue de synchronisation < 1 ns• Modules de génération et de séparation d'harmoniques inclus pour les longueurs d'onde suivantes (et énergies d'impulsion minimales, plus si possible) : 532 nm (200 mJ) ; 355 nm (100 mJ) ; 266 nm (50 mJ) ; 213 nm (8 mJ)• Stabilité d'énergie impulsion à impulsion à 213 nm (RMS) : < 5%• Alimentation électrique 230 VCA 50 Hz monophasée• Refroidissement par eau
Variante Alternative	Option Laser 20 Hz	<p>Laser Nd:YAG pulsé ayant les mêmes caractéristiques que le laser de l'option de base sauf :</p> <ul style="list-style-type: none">• Taux de répétition 20 Hz <p>Attention, remplace l'option de base.</p>
PSE1	Option SLM 10 Hz	<p>Injection du laser 10 Hz pour le forçage d'un unique mode longitudinal comprenant :</p> <ul style="list-style-type: none">• Modification de la cavité• Fourniture de la source pour injection
PSE2	Option SLM 20 Hz	<p>Injection du laser 20 Hz pour le forçage d'un unique mode longitudinal comprenant :</p> <ul style="list-style-type: none">• Modification de la cavité• Fourniture de la source pour injection

3. Livraison, installation, formation et documentation

3.1. Livraison

Le candidat indiquera les délais de livraison (et installation le cas échéant) des différents matériels.

Pour l'ensemble des lots, la livraison et, le cas échéant l'installation, devra avoir lieu dans les meilleurs délais, et au plus tard avant le 25/10/2026.

La date de livraison sur site (pour le lot 6 uniquement) sera fixée en accord avec l'acheteur.

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.

La livraison se fera dans les locaux du département de physique moléculaire de l'Institut de physique de Rennes aux adresses suivantes :

Lots 1 à 5

Institut de physique de Rennes

(SIMS-Ian-Bât 11C)

Campus de Beaulieu

263 av général leclerc

35042 RENNES Cedex

Contact livraison : Interphone Bât 11E IPR - Accueil-Livraison IPR (Allée Jean Perrin là plus proche)

Numéro de portable des livraisons IPR : 07.76.57.59.05 (où 2ème tél livraison: 06.09.24.99.57)

Lot 6

Institut de physique de Rennes

Bât 11C pièces 021-024 (rez-de-chaussée)

Campus de Beaulieu

263 av général leclerc

35042 RENNES Cedex

Numéro de portable des livraisons IPR : 07.76.57.59.05 (où 2ème tél livraison: 06.09.24.99.57)

3.2. Installation et vérification des équipements

Pour les lots 1 à 5 les principales caractéristiques techniques de l'équipement seront attestées par des certificats d'essai qui devront être fournis à la livraison. Les titulaires du marché fourniront une assistance par téléphone ou par Internet pour l'installation et les essais sur site de l'équipement, qui devront être effectués dans les deux mois suivant la livraison.

Uniquement pour le lot 6 (Laser) le titulaire du marché assurera l'intégralité de l'installation de l'équipement, des raccordements électriques, et de la mise en service du matériel. A l'issue de la phase d'installation, des tests fonctionnels seront effectués sous un mois pour la réception provisoire après installation, avec un mois supplémentaire pour la réception définitive.

3.3. Documentation

Le prestataire fournira des notices d'installation et d'utilisation en langue anglaise. Une information sur les précautions d'emploi et la sécurité sera également fournie.

Pour les lots 1 à 5, comme mentionné ci-dessus, des certificats de test qui attestent des performances des équipements en fonction de la fréquence doivent être fournis. Pour les émetteurs du lot 1, les certificats de test doivent au moins indiquer l'amplification (RF activée) et le bruit maximal (RF désactivée) en fonction de la fréquence.

3.4. Formation comprise dans l'offre de base

Pour les lots 1 à 5, les titulaires du marché fourniront une assistance par téléphone ou par Internet pendant au moins toute la période de la garantie.

Uniquement pour le lot 6 (Laser) la formation du personnel (3 personnes) concernera :

- La mise en œuvre du dispositif (mise en place, réglage, fonctionnement et maintenance)

4. Garantie

Le titulaire garantit l'ensemble des caractéristiques techniques décrites dans le présent CCTP pendant toute la durée de la garantie.

Pour les lots N° 1 à 5 le matériel sera garanti pièces, main d'œuvre et déplacement, pour 12 mois minimum de fonctionnement normal, à partir de la date d'admission concrétisée par un procès-verbal d'admission.

Pour le lot N° 6 le matériel sera garanti pièces, main d'œuvre et déplacement, pour 24 mois minimum de fonctionnement normal, à partir de la date d'admission concrétisée par un procès-verbal d'admission.

La garantie couvrira l'ensemble des équipements acquis (pièces et main d'œuvre), y compris le matériel informatique. 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'existence et les modalités de dépannage.