

---

# CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (C.C.TP.)

---

Acquisition d'un système de diagnostic laser haute résolution  
infrarouge pour l'aérospatial à l'Institut de Physique de Rennes –  
CPER Space Tech Drone Tech Phase 4, Université de Rennes

Responsables du projet :

Prof. Robert GEORGES

[robert.georges@univ-rennes.fr](mailto:robert.georges@univ-rennes.fr)

Prof. Jean-Christophe SANGLEBOEUF

[jean-christophe.sangleboeuf@univ-rennes1.fr](mailto:jean-christophe.sangleboeuf@univ-rennes1.fr)

## 1- Présentation générale

Le Département de Physique Moléculaire (DPM) de l'Institut de Physique de Rennes (IPR, UMR 6251 CNRS Université de Rennes) développe un banc d'essai dédié au diagnostic optique d'écoulements supersoniques en lien avec la propulsion spatiale. Cette plateforme expérimentale fait appel à des techniques de spectroscopie moléculaire de très haute sensibilité, en environnement basse pression, reposant sur des moyens de détection optique par cavité résonante.

Dans ce cadre, le laboratoire met en œuvre la spectroscopie par décroissance de cavité (Cavity Ring-Down Spectroscopy, CRDS) dans le moyen infrarouge pour le diagnostic de molécules neutres et radicalaires produites par la combustion de différents ergols et présentant des sections efficaces d'absorption extrêmement faibles. L'objectif scientifique est de détecter, d'identifier et de mesurer la concentration des différentes espèces moléculaires présentes dans les écoulements supersoniques afin de modéliser leur cinétique chimique.

Le présent marché porte sur l'acquisition d'un système laser accordable à largeur de raie ultra-étroite, basé sur une architecture d'oscillateur paramétrique optique (OPO) pompé par laser continu monofréquence, destiné à être couplé à une cavité CRDS de haute finesse dans le moyen infrarouge.

***Etude de la conversion d'énergie moléculaire*** dans les écoulements supersoniques produits en laboratoire par des mini-tuyères de Laval. Il s'agit ici de modéliser les relaxations d'énergie à l'échelle moléculaire dans les écoulements supersoniques afin d'exploiter l'énergie perdue dans les degrés de liberté internes (rotation et surtout vibration) des molécules, et donc non convertie en énergie cinétique. Cette étude est rendue possible grâce aux nouvelles techniques spectroscopiques pour sonder dans le domaine infrarouge les gaz en écoulements rapides.

***Modélisation des processus moléculaires*** (relaxation, dissociation, recombinaison, ionisation, etc.) au sein des couches de chocs qui se forment à l'avant des engins hypersoniques lors de leur phase de rentrée atmosphérique ou au niveau de la tuyère d'un lanceur réutilisable lors de sa phase de rentrée. Les chocs sont formés au laboratoire par impact d'un écoulement de haute vitesse sur un obstacle. La couche de choc est sondée par absorption laser.

### **Laboratoire en charge de cet achat :**

Institut de Physique de Rennes (IPR), Département Physique Moléculaire, UMR 6251  
Université de Rennes  
Bâtiment 11C, Campus de Beaulieu  
263 Avenue du Général Leclerc  
35042 RENNES CEDEX, France

Responsables de l'achat :

Prof. Robert Georges et Dr. Lucile Rutkowski

Mail : [robert.georges@univ-rennes1.fr](mailto:robert.georges@univ-rennes1.fr) / [lucile.rutkowski@univ-rennes1.fr](mailto:lucile.rutkowski@univ-rennes1.fr)

Affaire n°2026016AOF - Acquisition d'un système de diagnostic haute résolution infrarouge pour l'aérospatial à l'Institut de Physique de Rennes

## 2- Objectifs

L'objectif est de disposer d'une source laser accordable dans le moyen infrarouge présentant simultanément : une largeur de raie intrinsèque ultra étroite, une excellente stabilité fréquentielle à court et long terme, une puissance de sortie élevée en régime monofréquence, une excellente qualité de faisceau. Ceci permettra le couplage efficace dans une cavité optique de haute finesse ( $F > 20\,000$ ) pour des expériences CRDS, la résolution de structures ro-vibrationnelles fines dans des jets supersoniques, et la détection ultrasensible d'espèces moléculaires minoritaires et de radicaux.

- **Lot unique : Système laser infrarouge étroit en largeur de raie pour CRDS**

Le système demandé devra être basé sur une architecture OPO continu monofréquence pompée par un laser continu monofréquence à largeur de raie ultra-étroite, couvrant le domaine du moyen infrarouge pertinent pour la spectroscopie ro-vibrationnelle fondamentale. Il devra délivrer un faisceau monofréquence, spatialement propre, à faible bruit d'intensité et de fréquence, compatible avec l'injection dans une cavité CRDS de longueur typique 0,5–1,5 m. Toute solution reposant sur une génération par différence de fréquences fibrée, un OPO pulsé, ou un laser MIR direct à largeur de raie large sera jugée non conforme.

## 3- Caractéristiques des composants

### 1- Lot unique : Source lumineuse infrarouge, large bande et haute résolution

Spécifications/Critères d'Evaluation
Le système doit être configuré avec une génération par oscillation paramétrique optique (cavité résonante uniquement pour le signal) d'un laser de pompe
Le système doit émettre deux faisceaux optiques : le signal et l'idler. Ces deux sorties doivent être continues et monofréquences.
Le système OPO devra être un produit catalogue qualifié du constructeur, livré dans une configuration monofréquence continue validée par le fabricant.
L'idler doit être accordable de façon continue sur une plage d'au moins 2,5–4,5 $\mu\text{m}$ .
La puissance optique continue en sortie OPO doit être supérieure à 1 W sur une fraction significative de la plage 2,5–4,5 $\mu\text{m}$
La largeur de raie instantanée du faisceau idler généré par l'OPO doit être inférieure à 2 MHz (sur 5 ms)
Le système doit offrir une interface de pilotage externe, avec les entrées analogiques et numériques accessibles par l'utilisateur.
L'interface de pilotage de la longueur d'onde de l'idler doit être compatible avec l'emploi d'un lambdamètre (High Finesse WS7-60 series, vitesse d'acquisition 1200 Hz, précision spécifiée de 40 MHz).
Le faisceau idler du système OPO doit avoir un mode spatial $\text{TEM}_{00}$ avec un paramètre $M^2 < 1.2$
Le système laser doit pouvoir être stabilisé ou modulé en fréquence.

L'électronique doit être adaptée au standard européen, 220/240 V, 50 Hz, et les prises doivent être au standard français

## **2- Conditions générales à respecter**

Les candidats fourniront l'ensemble des documentations techniques relatives aux équipements, ainsi qu'un mémoire technique décrivant les caractéristiques et performances de l'équipement proposé et les services associés. Les modalités de garantie de l'équipement devront également être précisées.

A titre d'information, les possibilités d'extensions de garanties et de maintenance pourront être exposées et budgétisées dans le cadre des variantes supplémentaires proposées par les candidats.

Le titulaire du marché fournira une assistance par téléphone ou par Internet pour l'installation et les essais sur site de l'équipement, qui devront être effectués dans les trente jours suivant la livraison.

Une formation de base en présentiel ou en distanciel pour la prise en main du matériel sera proposée.

## **3- Variantes pour Prestations Supplémentaires Eventuelles (ou Options)**

### **VS 1 : Ajout d'un modulateur électro-optique (EOM) entre la pompe et l'OPO**

Fourniture et intégration d'un modulateur électro-optique placé sur le faisceau de pompe avant l'OPO afin de permettre la génération de bandes latérales pour le verrouillage fréquentiel sur cavité (PDH), d'offrir un contrôle rapide de phase ou de fréquence, et ainsi améliorer la robustesse du couplage CRDS. L'option devra inclure l'intégration opto-mécanique complète.

### **VS 2 : Remplacement du laser de pompe standard par une source ultra-étroite**

Substitution du laser de pompe standard par un laser continu monofréquence à largeur de raie ultra-étroite afin d'améliorer la stabilité fréquentielle absolue, de réduire le bruit de phase transféré à l'OPO, et de faciliter les schémas de verrouillage longue durée.

Spécifications minimales pour cette option :

- Largeur de raie  $\leq 10$  kHz (sur 5  $\mu$ s).
- Interfaces complètes de pilotage externe.

### **VS 3 : Extension de garantie à 2 ans.**

Les candidats ont par ailleurs toute liberté de proposer des prestations ou des modules complémentaires libres qui devront être spécifiés sur les mêmes documents. Ceux-ci ne seront pas intégrés dans l'analyse à périmètre égal des offres techniques et financières des candidats. En revanche s'il apparaît que des prestations complémentaires proposées librement par le soumissionnaire déclaré attributaire du marché sont en rapport direct avec l'objet du marché et le cahier des charges, le pouvoir adjudicateur pourra décider de les retenir lors de la signature du marché.

#### **4- Conditions relatives au service après-vente, maintenance et calibrage et garantie acquise**

Les candidats donneront des informations concernant les services en charge des opérations de maintenance éventuelles :

- Localisation(s) du/des service(s) de maintenance pour les dysfonctionnements mineurs et majeurs.
- Contacts pour les questions techniques software et hardware. Les durées d'éventuelles licences et leurs coûts de renouvellement sont à préciser.

Les candidats préciseront l'organisation de leur SAV :

- Le taux horaire d'intervention hors contrat
- Les frais fixes divers d'intervention
- Les délais contractuels d'intervention

La garantie de base des équipements objets du présent marché sera de 2 ans, pièces et main d'œuvre. Les candidats peuvent toutefois proposer des durées de garanties supérieures, cet élément étant pris en compte lors de l'analyse des offres.

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

#### **5- Livraison et installation du matériel**

Le délai de livraison du matériel n'excédera pas 6 mois.

A réception du matériel sur site, une période d'essais de 4 semaines sera mise à profit pour effectuer la recette de l'équipement et la validation de la livraison.

#### **6- Contacts**

Points de contacts pour la livraison/l'exécution du marché :

- Robert GEORGES

IPR, Université de Rennes 1, Campus Beaulieu, bât. 11C  
35042 Rennes Cedex

Email : robert.georges@univ-rennes1.fr

- Lucile RUTKOWSKI

IPR, Université de Rennes 1, Campus Beaulieu, bât. 11C  
35042 Rennes Cedex

Email : lucile.rutkowski@univ-rennes1.fr