

MARCHES PUBLICS DE FOURNITURE

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

Objet : Banc optique fibré automatisé de pilotage du gravimètre atomique

SOMMAIRE

1 PREAMBULE	3
2 PRESENTATION DE LA PRESTATION	3
2.1 CONTEXTE GENERAL.....	3
2.2 CONTEXTE DE L'ACHAT.....	3
2.3 OBJET DU MARCHE.....	4
3 DESCRIPTION DES SPECIFICATIONS GENERALES ET TECHNIQUES	4
3.1.....	4
3.2.....	5
3.3.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
4 DELAI / MODALITES D'EXECUTION DES PRESTATIONS.....	7
4.1 DELAI MAXIMUM DE LIVRAISON DE L'ENSEMBLE DES PRODUITS.....	7
4.2 PHASES DE REALISATION DES PRESTATIONS / CALENDRIER.....	7
4.3 MODALITES DE MISE A DISPOSITION DU MATERIEL AU CNRS	8
4.4 CORRESPONDANCES – REUNIONS	8
4.5 CORRESPONDANTS TECHNIQUES DU CNRS	8
4.6 LIEUX DE LIVRAISON / ACCES.....	8
5 DOCUMENTATION A PRODUIRE	8
6 OPERATIONS DE VERIFICATION	8
6.1 SURVEILLANCE EN USINE	8
6.2 OPERATIONS DE VERIFICATIONS QUALITATIVES EN LABORATOIRE.....	8
6.3 MODALITES DE RECEPTION DEFINITIVE DES PRESTATIONS	8
7 GARANTIES CONTRACTUELLES / SERVICE APRES-VENTE	9

1 Préambule

La prise en charge des prestations définies dans le présent document constitue un contrat avec un établissement public avec obligation de moyens et de résultats.

Le Titulaire prend l'engagement qu'il est en mesure d'exécuter, ce marché dans le strict respect des obligations visées dans les documents contractuels du marché et ce, notamment, en matière de clauses de confidentialité, de qualification et d'assurances.

Le Titulaire est réputé, sous sa responsabilité et indépendamment de toutes justifications fournies, avoir reçu les autorisations légales d'exercer et posséder la qualification professionnelle correspondant à la nature et à l'importance de la prestation objet du présent marché. Il sera seul à supporter les conséquences qui pourraient résulter du fait que cette qualification ne serait pas conforme à la réglementation ou erronée et, en particulier, les conséquences de la résiliation que pourrait prononcer de ce fait, à bon droit, l'Observatoire.

Outre les documents constituant le dossier de consultation, le Titulaire du marché est tenu d'observer les spécifications et prescriptions des décrets, arrêtés, règlements, normes, textes en vigueur à la date de remise de son offre.

2 Présentation de la prestation

2.1 Contexte général

Le présent document vise à définir les exigences relatives à l'acquisition d'un système laser fibré pour le gravimètre à atomes froids du SYRTE (Cold Atom Gravimeter (CAG)).

Le CAG est la référence métrologique nationale. Il utilise des sources atomiques de ^{87}Rb refroidis à l'aide d'un Piège Magnéto-Optique (PMO) et d'une phase de mélasse. Une fois lâchés, des atomes sont sélectionnés en vitesse avec notamment un faisceau pousseur et des faisceaux Raman. Ensuite, un interféromètre atomique est réalisé avec des impulsions Raman. En sortie d'interféromètre, les populations atomiques des deux sorties d'interféromètre sont comptées soit avec une détection dite horizontale ou avec une détection dite verticale. Le banc optique doit pouvoir générer toutes les longueurs d'ondes permettant de réaliser toutes ces fonctionnalités.

L'acquisition d'un banc optique robuste et automatisé s'inscrit dans le cadre de l'optimisation de l'instrument et de sa transformation pour en faire une référence opérationnelle, plus mobile. Le banc optique permettra de mesurer g en continu durant des mois sans interruption ou intervention d'un opérateur, avec des puissances optiques asservies. Le nouveau banc optique permettra de réaliser la source atomique, l'interféromètre et de détecter les atomes. Ses performances ne doivent pas dégrader les capacités de mesure du CAG déjà obtenues.

2.2 Contexte de l'achat

L'acquisition du banc optique automatisé s'inscrit dans le cadre du contrat MetriQs-HUB-France (ANR-22-QMET-0001-02)

2.3 Objet du marché

Le marché porte sur la fourniture d'un banc optique fibré, automatisé et robuste pour le gravimètre atomique du SYRTE de l'Observatoire de Paris.

3 Description des Spécifications générales et techniques

3.1 Généralités

Pour réaliser les différentes manipulations des atomes, quatre lasers asservis en cascade, offrant une grande agilité spectrale et un contrôle de fréquence absolue sur la raie D2 du ^{87}Rb sont nécessaires. Ce banc optique fibré de faible bruit sera réalisé dans des boîtes tiroirs installables sur une structure de type rack standard de largeur 19''. Les signaux optiques seront distribués sur trois fibres à maintien de polarisation, de longueur à définir selon la configuration du constructeur, et terminées par des connecteurs FC-APC.

Les puissances de tous les lasers doivent être asservies, contrôlables et modifiables par l'utilisateur par une interface de communication via un port Ethernet. Cette interface doit être prévue pour accéder et modifier les paramètres de fonctionnement de tous les lasers (courant diode, température, balayage et saut en fréquence, ...), ainsi qu'aux moyens d'extinctions. L'interface doit en outre permettre de modifier les paramètres sans ouverture du dispositif. Un contrôleur ou déclencheur de séquence doit être prévu (Trigger) ainsi qu'un accès de verrouillage externe de sécurité.

Bruit de fréquence de tous les lasers :

Bande de fréquence (ν)	Bruit (dBHz ² /Hz)
< 100 Hz	10 ⁶ /ν
100 Hz – 10 kHz	10 ⁴
> 10 kHz	4×10 ⁴

3.2 Laser maître L1 et première fibre F1 : repompeur

Le signal optique du laser maître L1 sera accessible par la fibre F1. Il doit permettre de repomper les atomes de ^{87}Rb du niveau $5^2\text{S}_{1/2}$, $F=1$ vers $F'=1$. La lumière doit être issue d'un laser asservi par transfert de modulation sur une cellule de Rb par absorption saturée. La fréquence sera fixe. La polarisation du signal optique sera alignée sur l'axe lent de la fibre F1.

Signaux de contrôle et de diagnostic : signal d'absorption, signal d'erreur, signal relatif à la puissance.

Entrées applicables : une tension au signal d'erreur.

Laser maître L1 et fibre F1 : repompeur	
Puissance en sortie de fibre	400 mW
Fréquence	Résonant avec $F=1 - F'=1$ du ^{87}Rb
Temps de coupure	Sans objet
Fluctuations de puissance	< 1 %
Polarisation	Linéaire
Taux d'extinction de polarisation en sortie de fibre	> 20 dB

3.3 Second Laser L2 et seconde fibre F2

Le signal optique du second laser L2 sera accessible par la fibre F2. Il doit permettre de refroidir, détecter et pousser les atomes de ^{87}Rb du niveau $5^2\text{S}_{1/2}$, $F=2$ vers $F'=3$. Le laser L2 doit être asservi en phase sur le laser maître L1. La polarisation du signal optique sera alignée sur l'axe lent de la fibre F2.

Second laser L2 et fibre F2 : refroidissement, détection, pousseur	
Puissance en sortie de fibre	1 W
Fréquence	$F=2 - F'=3$ du $^{87}\text{Rb} - \delta$ $-300 \text{ MHz} < \delta < 50 \text{ MHz}$
Gamme d'accordabilité rapide	> 400 MHz
Vitesse de balayage	> 300 MHz/ms
Fluctuations de puissance	< 1 %
Polarisation	Linéaire
Taux d'extinction de polarisation	> 20 dB

Signaux de contrôle et de diagnostic : signaux relatifs au balayage en fréquence, signal de battement L1-L2.

3.4 Troisième laser L3 et quatrième laser L4 et fibre F3

Les deux signaux optiques des deux derniers lasers L3 et L4, seront mélangés et accessibles par la fibre F3. Un des lasers, L3, doit être asservi en phase sur le laser maître L1, le second L4, doit être asservi en phase sur le laser L3. Ces lasers doivent permettre de réaliser les transitions Raman avec un désaccord ajustable entre -800 MHz et -2 GHz par rapport au niveau $5^2\text{P}_{3/2}$, $F'=0$. Ce désaccord doit être accessible et contrôlable. Ces deux signaux optiques doivent pouvoir être supprimés individuellement de la sortie de la fibre F3 tout en restant asservis. Les polarisations linéaires et perpendiculaires des deux signaux, seront alignées sur les axes lent et rapide de la fibre F3.

Il conviendra de disposer de deux mesures de la différence de fréquence entre ces lasers L3 et L4 (BN1 et BN2) pour réaliser deux asservissements rapides. Un switch rapide permettra de passer de l'un à l'autre des asservissements. Une des mesures de différence de fréquences entre les lasers L3 et L4 (BN2) sera réalisée après recombinaison des deux signaux, au plus près de leur injection dans la fibre F3. Les performances de l'asservissement en phase réalisé avec ce signal BN2 sont cruciales. Lorsque l'un ou les deux, signaux optiques issus des lasers L3 et L4 sont supprimés de la sortie de la

fibre F3, BN1 doit toujours mesurer la différence de fréquence afin que les lasers L3 et L4 restent toujours asservis, éventuellement en mode dégradé par rapport au mode précédent. Les signaux de battement BN1 et BN2 à, ou proche de la fréquence de 6.834 GHz doivent être comparés à un signal hyperfréquence (SHF) de 7.024 GHz, les 190 MHz résultants doivent être comparés à un autre signal radiofréquence (SRF) à 190 MHz utilisé comme oscillateur local dans la boucle d'asservissement. Les signaux de battement BN1 et BN2 ainsi que les entrées des signaux SHF et SRF doivent être accessibles pour nous permettre de fournir nos propres signaux SRF et SHF. Les puissances requises de ces niveaux pour un asservissement optimal doivent être fournis. Les fréquences des laser L3 et L4 doivent pouvoir être modulées pour générer des bandes latérales de 1 GHz jusqu'à 4 GHz de leur fréquence nominale. Les fréquences et puissance de modulation doivent être contrôlables.

Les suppressions individuelles des fréquences des deux laser L3 et L4 doivent être contrôlables et réalisées en moins de 500 μ s (350 μ s souhaité).

Signaux de contrôle et diagnostic : signaux relatifs au balayage en fréquence, signal de battement L1-L3 et L3-L4.

Troisième et quatrième lasers L3 et L4, et fibre F3 : Raman	
Puissance Raman1 L3	400 mW
Puissance Raman2 L4	100% de P_{Raman1} à +/- 1 % (monitoring temps réel du rapport des puissances)
Fréquence Raman1 L3	$F=1 - F'=0$ du $^{87}\text{Rb} - \delta$ $0.8 \text{ GHz} < \delta < 2 \text{ GHz}$
Fréquence Raman2 L4	= Fréquence Raman 1 – 6.834 GHz +/- 5 MHz
Gamme d'accordabilité rapide	> 10 MHz
Vitesse de balayage	> 50 MHz/s
Largeur de raie	< 100 kHz
Taux d'extinction	> 80 dB
Polarisations	Linéaires perpendiculaires pour Raman 1 et Raman 2 PER 20 dB

Contribution de l'asservissement de phase des lasers Raman :

Bande de fréquence (ν)	Bruit (dBrad^2/Hz)
< 1 kHz	$10^{-9}/\nu$
1 kHz – 100 kHz	10^{-12}
100 kHz – 1 MHz	$10^{-12}(\nu/10^5)^{2.5}$
1 MHz – 10 MHz	$10^{-9.5}$
> 10 MHz	$10^{-9.5}$

3.5 Réglage des paramètres et données de diagnostic

Le système doit permettre :

- De contrôler les fréquences des lasers et leur balayage.
- La mise à disposition des données de diagnostic.
- La disponibilité d'une interface standard pour récupérer les données de diagnostic.

3.6 Performance en puissance électrique

Alimentation du système : 220 VAC, 50 Hz monophasé.

3.7 Performances thermiques

Les performances du système doivent être garanties de 15°C à 30 °C.

3.8 Dimensions / Poids

Le dispositif sera réalisé dans des boîtes tiroirs installables sur une structure de type rack standard de largeur 19''.

3.9 Formation des opérateurs et maintenance ordinaire

En plus d'une documentation du banc optique, la réponse proposera une formation comprenant :

- La mise en route du banc optique et la programmation de la séquence de fonctionnement

4 Délai / Modalités d'exécution des prestations

4.1 Délai maximum de livraison de l'ensemble des produits

12 mois après la date de notification du marché (T0).

4.2 Phases de réalisation des prestations / Calendrier

Phases / Evénements	Délai maximum de réalisation
Fourniture de la caractérisation	T0 + 12
Installation et formation	T0 + 13

T0 : notification du marché.

4.3 Modalités de mise à disposition du matériel

La livraison sera effectuée au laboratoire SYRTE à l'Observatoire de Paris, 77 avenue Denfert Rochereau, 75014 Paris.

4.4 Correspondances – Réunions

Des réunions d'avancement sont prévues tous les deux mois. Le client peut demander des réunions en visioconférence tout au long de la phase de fabrication.

4.5 Correspondants Techniques

Sébastien Merlet, sebastien.merlet@obspm.fr, 01 40 51 23 93

4.6 Lieux de livraison / Accès

Adresse : 77 Av. Denfert Rochereau, 75014 Paris
Gabarit de l'accès camion : H : 3.85 m L : 2.95 m

5 Documentation à produire

Manuel d'utilisation.

Rapport sur la caractérisation d'usine au minimum pour les spécifications des paragraphes 3.2 à 3.4.

6 Opérations de vérification

6.1 Surveillance en usine

Sans objet

6.2 Opérations de vérifications qualitatives en laboratoire

Caractérisation d'usine au minimum pour les spécifications des paragraphes 3.2 à 3.4

6.3 Modalités de réception définitive des prestations

Livraison, installation et mise en route du matériel à l'Observatoire de Paris.

Formation des opérateurs du SYRTE.

Vérification et optimisation des performances.

7 Garanties contractuelles / Service après-vente

Garantie deux ans minimum pièces et main-d'œuvre.

Garantie de facilité d'accès à un technicien ou ingénieur du fabricant afin de permettre des échanges rapides pour diagnostiquer des pannes in situ.