



**FOURNITURE, LIVRAISON, INSTALLATION, MISE EN
SERVICE, FORMATION ET GARANTIE D'UN SYSTEME
LASER POUR LA MANIPULATION D'ATOME DE RUBIDIUM
DANS UN RESEAU OPTIQUE POUR LE COMPTE DU
LABORATOIRE COLLISIONS AGREGATS REACTIVITE
(LCAR)**

MARCHE N°24.14.047

**CAHIER DES CLAUSES
TECHNIQUES PARTICULIERES
N°24442 du 08/11/2024**

SOMMAIRE

MARCHE N°24.14.047	1
PREAMBULE – CONTEXTE DE L’ACHAT	3
ARTICLE 1 - OBJET	3
ARTICLE 2 - DESCRIPTIF DU BESOIN A SATISFAIRE – SPECIFICATIONS TECHNIQUES	3
ARTICLE 4 – DOCUMENTATION.....	5
ARTICLE 5 – FORMATION	5
ARTICLE 6 – PERFORMANCE TECHNIQUE – NORMES – MARQUAGE	5
ARTICLE 7 - PERFORMANCE ECOLOGIQUE	5
ARTICLE 8 – EMBALLAGE ET TRANSPORT	6
ARTICLE 9 – OPERATIONS DE VERIFICATION.....	6
ARTICLE 10 – SUPPORT TECHNIQUE ET SERVICE APRES-VENTE	6
11.1 Logiciels de pilotage et de traitement des données	6
11.2 Support technique.....	7
11.3 Délais d’intervention en cas de panne	7
11.4 Délais de mise au point ou de réparation en cas de panne.....	7

PREAMBULE – CONTEXTE DE L'ACHAT

Le Laboratoire Collisions, Agrégats et Réactivité (LCAR) souhaite acquérir un système laser pour la manipulation d'atomes de rubidium dans le cadre de l'expérience LAURA (« Large scale Atom interferometer based on Ultra cold Atoms »).

L'objectif de ce dispositif est de réaliser un interféromètre atomique à bras séparés en utilisant des atomes ultra-froids de rubidium 87, sous forme de Condensat de Bose-Einstein (BEC), manipulés à l'aide d'un réseau optique généré par une onde stationnaire. LAURA a déjà démontré la faisabilité de l'interférométrie atomique avec des BEC, en obtenant des résultats novateurs, notamment en ce qui concerne la manipulation des BEC par un réseau optique, ouvrant ainsi la voie à des applications dans le développement de capteurs quantiques.

Le projet entre désormais dans une deuxième phase, qui permettra d'effectuer des mesures avec cet interféromètre dans un régime dans lequel les chemins sont séparés de plusieurs dizaines de centimètres. Cette configuration quantique remarquable permettra d'obtenir des mesures d'une précision inégalée.

Un des éléments essentiels pour la réussite de cette prochaine étape est l'amélioration du système laser générant le réseau optique. Ce nouveau dispositif devra offrir une puissance optique accrue et un contrôle plus fin de la phase du réseau. Cette demande d'achat vise à acquérir les sources lasers nécessaires à ces améliorations.

ARTICLE 1 - OBJET

Le présent accord-cadre a pour objet **l'acquisition, la fourniture, la livraison, l'installation, la mise en service, la formation et la garantie de système lasers monofréquence continue de forte puissance à 780 nm** pour le compte du Laboratoire Collisions Agrégats Réactivité (LCAR) – CNRS, situé au bâtiment 3R4 de l'université Toulouse III (salle 19 au rdc), 118 route de Narbonne à Toulouse.

ARTICLE 2 - DESCRIPTIF DU BESOIN A SATISFAIRE – SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Le système est constitué de deux sous-systèmes laser :

- le système a est utilisé pour créer le réseau optique.
- le système b utilisé pour compenser les déplacements lumineux en créant un faisceau optique jumeau.

Un schéma fonctionnel est présenté à titre indicatif sur la figure 1.

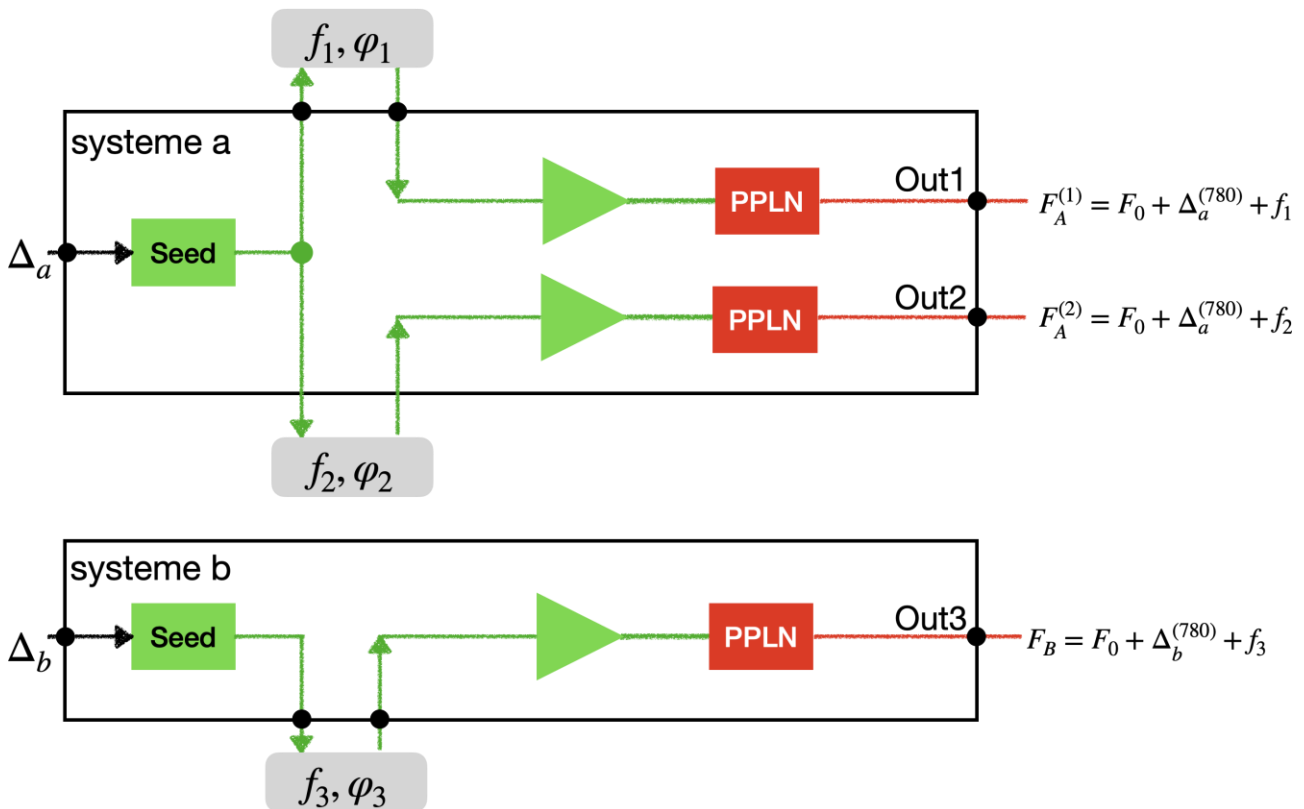


Figure 1: Système laser A et B. Les parties en gris ne font pas l'objet de cet AO.

Les fréquences d'émission des lasers sont proches de la fréquence de transition de la raie D2 du rubidium 87 (notée F_A et F_B respectivement pour les systèmes lasers A et B). Dans ce document les valeurs numériques sont calculées en prenant $c = 2.997\,924\,58 \times 10^8$ m/s ; la transition de la raie D2 du rubidium vaut $F_0 = 384.230\,484\,468\,5$ THz ce qui correspond à une longueur d'onde de $\lambda_0 = 780.241\,209\,686$ nm.

Le système laser A doit pouvoir atteindre un désaccord à résonance $> + 200$ GHz sur le bleu de la transition ce qui correspond à une fréquence $F_{A,max} > 384.430$ THz. Le désaccord minimal à résonance doit être plus petit que $+ 40$ GHz ce qui correspond à une fréquence minimale $F_{A,min} < 384.270$ THz. L'accordabilité est désignée par Δ_a pour le système A.

Le système laser B doit pouvoir atteindre un désaccord à résonance $< - 100$ GHz sur le rouge de la transition ce qui correspond à une fréquence $F_{B,min} < 384.130$ THz. Le désaccord maximal à résonance doit être plus grand que $+ 50$ GHz ce qui correspond à une fréquence maximale $F_{A,max} < 384.280$ THz. L'accordabilité est désignée par Δ_b pour le système B.

De plus, les fréquences des systèmes A et B doivent pouvoir être asservies en fonction des besoins.

Chaque sous-système laser est constitué de deux étages :

- Étage basse puissance (Seed) : Cet étage génère un faisceau laser de faible puissance initiale.
- Système d'amplification : Ce système amplifie le faisceau produit par l'étage basse puissance et peut inclure, selon l'architecture, un dispositif d'optique non-linéaire (par exemple PPLN : Poling Periodically Poled Lithium Niobate).

Le faisceau basse puissance doit être accessible par l'utilisateur avant amplification, permettant ainsi l'ajout de composants optoélectroniques tels que des modulateurs acousto-optiques et électro-optiques, les pertes attendues sont inférieures à -5dB. Ces composants serviront à ajuster précisément la phase et la fréquence des lasers ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$ et ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3).

Les sorties OUT 1,2,3 doivent pouvoir être fibrées. Des fibres optiques monomodes à maintien de polarisation pouvant supporter la puissance laser à 780nm peuvent être proposées.

Il conviendra d'expliquer les mesures prises pour s'affranchir des vibrations induites par le système LASER en particulier des systèmes de ventilation.

Les contraintes (caractéristiques techniques obligatoires) sont qualifiées dans le présent paragraphe de « caractéristiques non-négociables ». Ce sont les exigences minimales qui ne sont pas susceptibles de faire l'objet de négociations et pour lesquels les caractéristiques techniques exigées sont décrites ci-dessous.

Pour les spécifications techniques qualifiées de « caractéristiques négociables », ce sont les éléments susceptibles de faire l'objet de négociations et pour lesquels les caractéristiques techniques souhaitées sont décrites ci-dessous. Il est également indiqué, lorsque cela est pertinent, les priorités (de 1 – Plus élevée à 4 – Plus faible) affectées aux diverses caractéristiques négociables.

Caractéristiques techniques des sous-systèmes	Caractéristique négociable	Caractéristique non-négociable	Priorité
Longueur d'onde d'émission du système A [779.835 ; 780.159] (en nm).		X	
Longueur d'onde d'émission du système B [780.139 ; 780.444] (en nm).		X	
Laser continu CW.		X	
Minimum 3 sorties 2 pour le système A et une pour le système B		X	
Les systèmes A et B doivent être indépendants	X		1
Possibilité d'avoir accès à un faisceau basse puissance pour pouvoir intégrer des modulateurs acousto-optiques et Electro-optiques. Le faisceau modulé est ensuite amplifié.		X	
Contrôle de la fréquence d'émission rapide pour asservissement de la fréquence d'émission	X		3
Contrôle de la fréquence d'émission lent pour asservissement de la fréquence d'émission.		X	
Le système seeder + amplification doit être rackable	X		3
La sortie laser peut-être fibrée avec une fibre > 5m à maintien de polarisation.	X		2
Atténuation des vibrations induites pour le laser, électronique ...	X		3

En termes de performances, les caractéristiques souhaitées pour cet équipement sont définies dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Spécification	Remarque	Caractéristique négociable	Caractéristique non-négociable	Priorité
Puissance @780nm pour chacune de sorties OUT1, OUT2 et OUT3	> 5W		X		1
Faisceau de sortie = gaussien	M2 < 1.1			X	
Accordabilité du système A*	[F ₀ +40 ; F ₀ +200] (GHz)	Ajusté manuellement ou piloté.	X		3
Accordabilité du système B*	[F ₀ -100 ; F ₀ +50] (GHz)	Ajusté manuellement ou piloté.	X		3
Dérives de fréquences d'émission @780nm (F _{A,B}) libre (sans asservissement)	< 100MHz / heure	Fluctuations de température du laboratoire < 1°	X		2
Largeur de raie @780nm	< 100 kHz		X		1
RIN level	< -97 dBc/Hz	Pics inclus	X		3
Stabilité de puissance à 1h	< 10% pk-pk		X		2
Polarisation	PER > 20 dB			X	
Pertes en puissance entre seeder et amplificateur admissible.	< -5 dB	Ces pertes sont induites par les AOM et EOM ajoutés l'utilisateur pour ω_i et φ_i	X		2
Dimension de la tête laser	< 25 cm toutes dimensions			X	

* L'évaluation de ces critères porte sur l'accordabilité au-delà de l'intervalle obligatoire mentionné.

* Sont négociables les remarques et caractéristiques négociables.

ARTICLE 4 – DOCUMENTATION

A minima, le titulaire fournit pour chaque élément constituant le système laser l'ensemble des documents listés ci-dessous :

- Documentation détaillée en anglais et/ou en français de l'appareil ;
- Documentation en anglais et/ou en français sur les principales tâches de maintenance.

ARTICLE 5 – FORMATION

Au moment de l'installation et de la mise en service, le titulaire communique au LCAR toutes les informations nécessaires à la bonne utilisation de l'équipement ainsi que les informations nécessaires pour assurer la maintenance du système laser.

S'il le souhaite, le titulaire peut proposer à titre gracieux une formation plus approfondie. Le cas échéant, le programme de la formation proposée ainsi que les modalités (durée, nombre de personnes acceptées...) sont précisés dans son offre.

ARTICLE 6 – PERFORMANCE TECHNIQUE – NORMES – MARQUAGE

Les fournitures proposées au titre du marché devront être conformes aux normes européennes en vigueur au moment de la livraison.

Le marquage CE doit être apposé sur l'équipement. Il doit être visible, lisible et indélébile.

Les fournitures doivent être munies d'une plaque portant le nom du fabricant, le type d'équipement et le n° de fabrication.

ARTICLE 7 - PERFORMANCE ECOLOGIQUE

Le titulaire fera et décrira les mesures prises pour réduire l'impact écologique des prestations fournies au titre du marché, notamment :

- En traitant les déchets liés à la fabrication et au transport des matériels pour en réduire les impacts écologiques négatifs ;

- En proposant un équipement économe en énergie ;
- En proposant un équipement de matériaux recyclés ou recyclables ;
- En proposant des moyens de transport respectueux de l'environnement.

ARTICLE 8 – EMBALLAGE ET TRANSPORT

Les risques afférents au transport et à la livraison de l'équipement seront à la charge du titulaire.

La récupération des emballages relatifs aux matériels livrés sera à la charge du titulaire.

Le titulaire est incité à utiliser un emballage respectueux de l'environnement.

ARTICLE 9 – OPERATIONS DE VERIFICATION

Les opérations de vérification sont effectuées selon les modalités suivantes :

- **Etape n°1 (vérification d'aptitude)** : livraison, installation, mise en service, tests, remise des livrables et formation sur le site du LCAR

La vérification d'aptitude a pour but de constater que l'équipement livrés présente bien les caractéristiques techniques qui le rend apte à remplir les fonctions précisées dans les documents particuliers du marché.

A l'installation du matériel, en présence des agents du LCAR, le titulaire réalise les tests standards du constructeur et établit un compte-rendu. Ce compte-rendu fait clairement apparaître le descriptif des tests réalisés sur site et les valeurs de mesures obtenues ainsi que les tolérances d'usine.

Délai dont dispose l'établissement pour notifier sa décision dans le cadre de l'étape n°1 : 15 jours calendaires à compter de la mise en service de l'équipement ou, le cas échéant, à compter de la fin de la formation utilisateur.

- **Etape n°2 (vérification du service régulier)**

La vérification du service régulier a pour but de constater que le matériel installé et mis en ordre de marche est capable d'assurer un service régulier dans les conditions normales d'exploitation.

Délai dont dispose l'établissement pour notifier sa décision dans le cadre de l'étape n°2 : 1 mois à compter de la validation de l'étape n°1.

ARTICLE 10 – SUPPORT TECHNIQUE ET SERVICE APRES-VENTE

Les prestations de service après-vente du Titulaire s'exécuteront durant toute la période de garantie.

Le Titulaire s'engage à assurer dans le cadre du marché, le service après-vente décrit dans son offre technique. Les éléments qui y figurent sont :

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

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

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

11.1 Logiciels de pilotage et de traitement des données

Le service après-vente du titulaire inclut au minimum et pour une durée de 2 ans :

- Les mises à jour et changements de version des logiciels de pilotage ;
- Les mises à jour des logiciels de traitement des données.

La mise à jour s'entend comme une évolution dans une même version du logiciel (passage d'une version 5.0 à 5.1 par exemple).

Le changement de version s'entend comme le passage d'une version 5.1 à 6.0 par exemple.

Les autres engagements du titulaire concernant les logiciels figurent dans son offre.

Le Titulaire garantit la conformité des logiciels standards aux spécifications du marché, ainsi qu'à celles que son offre technique.

À ce titre, pendant la durée de garantie, le Titulaire corrige gratuitement toute anomalie de fonctionnement de son logiciel par rapport aux spécifications du marché.

Lorsque l'anomalie est constatée sur un logiciel standard dont le Titulaire n'est pas l'éditeur, le Titulaire met en œuvre les clauses de garantie prévues par l'éditeur du logiciel standard concerné qui sont préalablement portées à la connaissance de l'acheteur. La correction est effectuée gratuitement.

Pour l'application du présent article, l'acheteur établit un compte rendu écrit de ces anomalies en donnant tous les éléments nécessaires à leur identification par le Titulaire. Ce compte rendu doit être porté à la connaissance du Titulaire dès la constatation de l'anomalie par le pouvoir adjudicateur.

11.2 Support technique

Le service après-vente du titulaire inclut un support technique (y compris sur les logiciels) gratuit et illimité pendant les jours ouvrés pendant toute la période de garantie de l'équipement.

Le support technique est accessible par téléphone (appel non surtaxé) et par courriel.

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

Les autres engagements du titulaire concernant le support technique figurent dans son offre.

11.3 Délais d'intervention en cas de panne

Pendant toute la période de garantie, le titulaire a une obligation de résultat concernant le respect des délais d'intervention sur site en cas de panne de l'équipement acheté en application du présent marché.

Par dérogation aux stipulations de l'article 3.2.2 du CCAG FCS, ce délai s'entend en jours ouvrés à compter de la demande d'intervention. Il prend en compte la localisation du site d'implantation de l'équipement objet du marché. Ce délai est obligatoirement inférieur ou égal à 15 jours ouvrés.

La demande d'intervention par le bénéficiaire peut être effectuée par téléphone, confirmée par voie électronique ou par télécopie. L'enregistrement de la demande d'intervention doit faire l'objet d'une confirmation écrite (courriel ou télécopie) par le titulaire.

Le délai d'intervention commence dès l'enregistrement de la demande d'intervention du Bénéficiaire par le Titulaire. Par dérogation aux stipulations de l'article 3.2.2 du CCAG/FCS, ce délai s'entend en jours ouvrés à compter de la demande d'intervention.

Dans le cas du non-respect de ce délai, le Titulaire encourt une pénalité telle que décrite à l'article 9.2 du CCAP n°24441.

11.4 Délais de mise au point ou de réparation en cas de panne

Pendant toute la période de garantie, le Titulaire a une obligation de résultat dans le délai imparti concernant la remise en état de fonctionnement opérationnel de l'équipement en conformité avec les performances techniques et fonctionnelles prévues initialement dans le marché.

Conformément aux stipulations de l'article 33.3 du CCAG FCS, le délai dont dispose le Titulaire pour effectuer une mise au point ou une réparation qui lui est demandée est celui qui est fixé par décision du Directeur du LAAS ou son représentant (bénéficiaire), après consultation du titulaire.

Le point de départ de ce délai de mise au point ou de réparation en cas de panne commence à la date de première intervention sur site du titulaire ou en cas d'absence d'intervention du Titulaire, à la date de la demande d'intervention du bénéficiaire.

Passé ce délai, le titulaire encourt des pénalités telles que fixées à l'article 9.2 du CCAP n°24441.

En cas de retour à l'usine de l'équipement pour réparation, les frais d'expédition aller et retour sont à la charge du titulaire.