

Cahier des Charges

Fourniture un peigne de fréquence ultra stable pour de la
métrologie de fréquence

Référence	Rédacteurs	Date de mise à jour
CHRONO/LSCE/ PALEOCEAN	Justin Chaillot	24/04/2025



Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

Résumé :

Ce document décrit les spécifications que doit satisfaire un dispositif de mesure de fréquence de laser devant couvrir une gamme spectrale allant de 760 nm à 2000 nm. Cet équipement est dédié à la recherche, aux développements et à la formation, essentiellement pour l'analyse de carbonates glace ou échantillons d'atmosphère. Il sera acquis par le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE). Il sera installé au LSCE et placé sous la responsabilité de l'équipe PALEOCEAN.

Table des matières

1	CONTEXTE DU PROJET	- 4 -
2	ÉTENDUE DU PROJET	- 5 -
3	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT	- 6 -
3.1	Contraintes liées aux locaux	- 6 -
3.2	Contraintes liées à l'équipement.....	- 6 -
4	DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT.....	- 7 -
4.1	Détail de l'équipement :	- 7 -
4.2	Spécifications techniques :	- 7 -
5	TESTS DE PERFORMANCE DE L'EQUIPEMENT.....	- 8 -
6	LIVRABLES DOCUMENTAIRES.....	- 9 -
7	GARANTIE ET MAINTENANCE	- 9 -
7.1	Garantie	- 9 -
7.2	Maintenance (options)	- 9 -
8	DESCRIPTION DES SERVICES.....	- 9 -
8.1	Emballage et transport	- 9 -
8.2	Assemblage et installation.....	- 10 -
9	PIÈCES DETACHÉES.....	- 10 -
10	SUPPORT TECHNIQUE	- 10 -
11	CRITÈRE ENVIRONNEMENTAL.....	- 10 -
12	CONDITIONS D'ACCEPTATION	- 11 -



1 CONTEXTE DU PROJET

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE (CEA-CNRS-UVSQ) est un acteur de longue date en géochronologie et en géochimie. Il contribue largement aux développements technologiques dans ces domaines et à la formation dans le domaine des sciences de l'environnement et du climat. Les recherches de l'équipe PALEOCEAN portent sur la compréhension des mécanismes de la variabilité climatique passée dans leurs composantes océaniques (derniers millions d'années) et de leurs impacts sur la climatologie globale. Ces recherches reposent entre autres sur l'analyse des isotopes de l'oxygène et du carbone dans les carbonates produits par des organismes marins tels que les coraux et les foraminifères (organismes unicellulaires d'une centaine de μm dont les coquilles fossiles se retrouvent dans les sédiments au fond des océans).

L'objectif de cet appel d'offres est l'acquisition d'un peigne de fréquence pour référencer les mesures lasers des instruments de type VCOF-CRDS développés par les équipes du LSCE depuis 10 ans. L'objectif est de stabiliser des lasers dans une région spectrale allant du visible (760 nm) à l'infrarouge proche (2000 nm) pour permettre l'étude de toutes les molécules visées par les sujets d'étude du LSCE. Cet équipement sera collectif et mis à la disposition via la plateforme Panoply. Il sera également intégré à la future plateforme isotopique par laser du LSCE qui sera inscrite dans REGEF.

<http://panoply-geops.lsce.ipsl.fr/>

<https://www.regef.fr/>

2 ÉTENDUE DU PROJET

Ce document définit les clauses techniques et les dispositions relatives à l'achat d'un peigne de fréquence de métrologie ci-après dénommé l'équipement. Il doit permettre la mesure de fréquence d'un laser via une note de battement ou la stabilisation d'un laser avec un dispositif de transfert de cohérence qui sera ultérieurement développé par le LSCE. La prestation comprend :

- La fourniture et l'installation de l'équipement,
- La fourniture du logiciel de pilotage,
- La fourniture d'un module de détection du battement,
- La qualification de l'équipement en termes de performances, de qualité et quantité par des tests usine ou au CEA,
- La documentation technique de l'équipement,
- Une formation à l'utilisation de l'équipement (dont maintenance de routine) et à l'utilisation du logiciel d'exploitation lors de l'installation,
- La garantie de l'équipement pour une durée minimale de 12 mois,
- L'assistance téléphonique pour une durée de 3 ans.

3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT

3.1 Contraintes liées aux locaux

L'équipement sera installé par le Titulaire dans les locaux du LSCE :

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)
Bâtiment 714, Orme des merisiers, P 28
RD128
91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

En accord avec

Justin Chaillot,
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
CEA Paris-Saclay,
Orme des merisiers, Bâtiment 714, P 19
91191 GIF SUR YVETTE CEDEX
Téléphone : 01 69 08 03 41
Email : justin.chaillot@lsce.ipsl.fr

La pièce dans laquelle il sera installé et utilisé est aménagée pour recevoir ce type de dispositif l'équipement : température stabilisée à $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, accessibilité aux sources électriques, un signal d'horloge 10MHz (GPSDO) et d'un signal d'horloge optique (REFIMEV)
Elle pourra être adaptée selon les recommandations du Titulaire. Cependant les dimensions ne devront pas excéder 3m*2m*2m.
Le Titulaire devra préciser le besoin de paillasse ou de support pour l'équipement. Il précisera également les conditions optimales d'utilisation.

3.2 Contraintes liées à l'équipement

L'équipement devra répondre aux normes électriques françaises standard.

Le Titulaire devra spécifier dans sa proposition les besoins et les recommandations pour l'installation et toutes les informations disponibles concernant l'équipement. La liste des informations et recommandations inclura :

- La dimension et le poids de l'équipement,
- Les spécifications de branchements (alimentation, type de connexion, raccord à la masse) dans le respect des règles françaises et européennes,
- Les notices d'utilisation, ainsi que la notice d'utilisation du logiciel.

4 DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

4.1 Détail de l'équipement :

L'équipement est un système qui permettra la détermination de la fréquence de laser ou la stabilisation de source laser par transfert de cohérence.

L'équipement devra mesurer en même temps la fréquence de plusieurs sources lasers par note de battement. Les spécifications attendues sont explicitées dans le tableau ci-dessous (Tableau 1) :

Tableau 1 – Précisions attendues

Transfert de pureté spectrale :	Largeur de dent Sub-Hz de 650 à 2000nm une fois verrouillé sur un signal optique : le signal de battement dans la zone des 1550nm et des 760nm doit avoir une largeur de bande de moins 1Hz
Stabilité sur la référence interne	Au moins 1e-10 à 1s
Stabilité sur une référence externe	Mieux que 1E-15 à 1s

4.2 Spécifications techniques :

Le tableau 2 liste les spécifications techniques attendues.

Tableau 2 – Spécifications techniques

6 sorties fibrées, avec un minimum acceptable de 4 sorties et pas de valeurs maximums.
Sorties fibrées en FC/APC
Espacement des dents du peigne : entre 200 MHz et 300 MHz
La gamme spectrale couverte doit être au minimum de 760 nm à 2060 nm
Puissance d'optique qu'au moins 100mW, pas de valeurs maximales

Dans la mesure du possible, optimiser l'équipement pour réaliser des notes de battements à 760 nm, 1392nm, 1450nm, 1542nm,1598nm,1605nm et 2060nm
Le taux de répétition doit être ajustable de +/- 2MHz par rapport à la valeur de base
Le module de note de battement doit être complètement fibré et facile d'utilisation, sans pièces mobiles.
Stabilisation active et contrôle de la fréquence de décalage de l'enveloppe de la porteuse (pour contrôler la position absolue des lignes de peigne et leur espacement afin de correspondre à des fréquences définies)

5 TESTS DE PERFORMANCE DE L'EQUIPEMENT

Les performances du peigne devront être garanties par le Titulaire dans la documentation technique notamment en ce qui concerne la stabilité et l'exactitude. Ces performances devront être d'au moins :

- Une ADEV d'au moins $1e-15$ à 1 seconde en stabilité,
- Une ADEV d'au moins $1e-16$ à 100 secondes en exactitude.

Il sera demandé au Titulaire de démontrer que l'Equipement ne nécessite pas de maintenance et que l'asservissement de l'Equipement, sa capacité à se verrouiller sur une référence optique externe, peut tenir sans erreur pendant une durée minimum d'un mois. Cette démonstration peut être faite par le Titulaire de trois manières différentes :

- Soit en envoyant des publications scientifiques ou des rapports de test le démontrant,
- Soit en indiquant un laboratoire où il est possible de voir l'équipement fonctionner, que l'ingénieur en charge de l'utilisation futur de l'Equipement puisse contacter pour se rendre ou contacter les utilisateurs.

Une fois l'Equipement livré au CEA, cette capacité de verrouillage sera testée au LSCE par le CEA.

6 LIVRABLES DOCUMENTAIRES

Le Titulaire devra joindre la documentation détaillée suivante au titre du marché :

- Un rapport des tests effectués en usine auparavant ou au CEA précisant les qualifications de l'Équipement en termes de performances, qualité et quantité,
- Un manuel de maintenance permettant la résolution des pannes de premier ordre, pouvant être en anglais,
- Les supports des formations présentées aux utilisateurs de l'Équipement, pouvant être en anglais.

7 GARANTIE ET MAINTENANCE

7.1 Garantie

Une garantie de 12 mois est souhaitée, pièces, main-d'œuvre et déplacement.

7.2 Maintenance (options)

Le Titulaire doit garantir une assistance téléphonique, par le biais de son service après-vente, pendant une durée de 3 ans.

8 DESCRIPTION DES SERVICES

8.1 Emballage et transport

Le Titulaire prendra en charge et sera responsable :

- De l'emballage des fournitures afin d'éviter toutes détériorations lors du transport (chocs, intempéries, stockages manutentions...),
- De la protection de l'équipement durant le transport,
- Du transport jusqu'au LSCE, salle 28, bâtiment 714.

Le transport, y compris les frais de douanes et l'installation, seront pris en charge par le Titulaire. Le Titulaire précisera les précautions prises afin de respecter les normes environnementales dans l'exécution de ce marché notamment en ce qui concerne le transport et la gestion des déchets.

8.2 Assemblage et installation

Le Titulaire assurera la manutention, l'assemblage et la mise en service de l'équipement sur le site du LSCE tout en respectant la réglementation en vigueur, les normes françaises. Pour toutes les opérations effectuées sur site CEA, le Titulaire devra auparavant informer le CEA de la procédure qu'il suivra, et obtenir son accord.

Sur site, il sera responsable de la manutention de l'équipement jusqu'à sa complète installation. Le CEA fournira l'alimentation électrique adaptée à l'équipement selon les recommandations du Titulaire.

Les spécifications nécessaires à l'installation et au fonctionnement optimal de l'équipement devront être énoncées par le Titulaire dans l'offre.

9 PIÈCES DETACHÉES

Le Titulaire s'engage à commercialiser toutes les pièces détachées nécessaires pour une durée minimale de 10 ans après la signature du procès-verbal d'acceptation.

10 SUPPORT TECHNIQUE

Le Titulaire délivrera l'équipement avec la documentation technique des équipements et opérations.

Le Titulaire indiquera les possibilités de support technique ainsi que le(s) nom(s) des personnes à contacter en cas de besoin.

Le Titulaire s'engage à fournir tous les documents nécessaires au fonctionnement, à la maintenance et à la résolution de panne de premier ordre.

11 CRITÈRE ENVIRONNEMENTAL

Le Titulaire s'engage à ce que l'Équipement soit livré dans un emballage constitué de matières recyclées ou recyclables.

Toutes les dispositions nécessaires pour l'intégration de la maintenance corrective dans le cycle environnemental devront être prises : innocuité des composants et des consommables et moyens de recyclage du dispositif après usage devront être envisagés.

12 CONDITIONS D'ACCEPTATION

Le Titulaire ne procède à l'expédition de l'équipement qu'après obtention de l'accord écrit et préalable du CEA sur la validité des rapports des tests mentionné ci-dessus. Le titulaire et le CEA doivent se mettre d'accord conjointement sur la date de livraison de l'Équipement sur le site du CEA Saclay.

Le Titulaire ne procède à l'installation de l'équipement qu'après obtention d'une autorisation écrite délivrée par le CEA pour la venue sur site du ou des techniciens.

La livraison de l'équipement sur le site du CEA/LSCE à Gif-sur-Yvette donnera lieu à la signature contradictoire d'un procès-verbal de transfert de risques inhérents aux équipements, du Titulaire vers le CEA.

La réception définitive de l'équipement est formalisée par la signature contradictoire d'un procès-verbal valant également transfert de propriété de l'Équipement considéré, du Titulaire vers le CEA, et démarrage de la garantie contractuelle.

* * *