

R&D lasers stabilisés sur l'iode au SYRTE : Développement de références de fréquence optiques ultrastables et compactes

O. Acef †, C. Zumsteg, N. Chiodo, K. Djerroud, D. Holleville, M. Lours, A. Clairon, P. Lemonde, O. Turazza*, H. Halloin*, A. Brillet**, F. Du Burck***

LNE-SYRTE/Observatoire de Paris / CNRS-UMR 8630 / UPMC- Paris VI

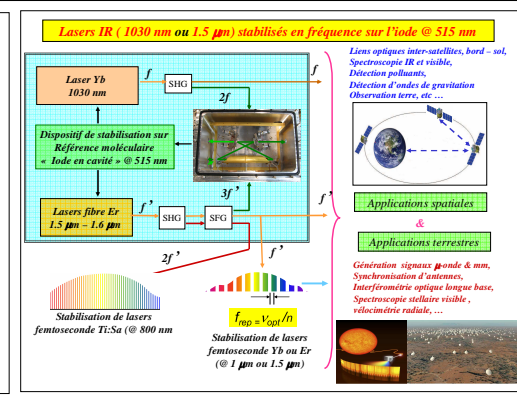
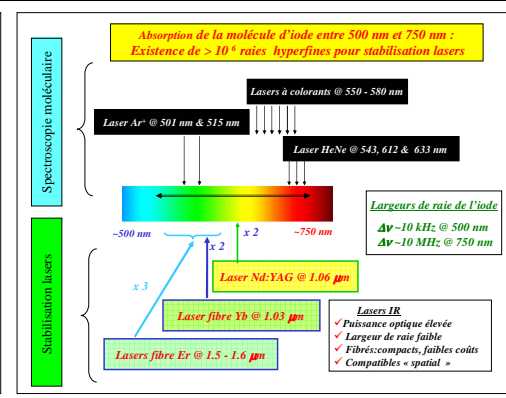
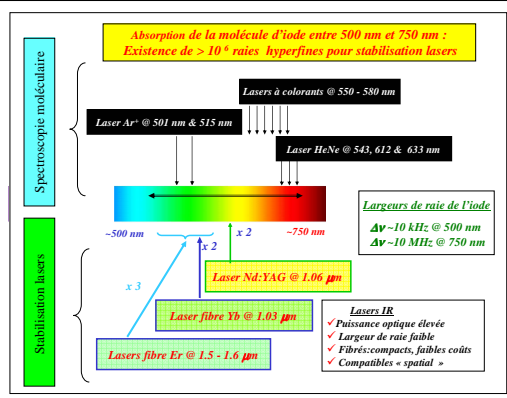
*APC / CNRS-UMR 716 / Univ. Paris VII, **ARTEMIS / CNRS-UMR 6162 / Observatoire de la côte d'azur, ***LPL / CNRS-UMR 7538 / Univ. Paris XIII

†ouali.acef@obspm.fr



Ces travaux de R&D sont financés par l'Observatoire de Paris, le CNRS, le CNES et le LNE. Ils sont susceptibles de servir dans le cadre de projets terrestres ou spatiaux, existants ou futurs : Synchronisation de télescopes, vélocimétrie radiale, mesures absolues de distances, mesures de déphasages atmosphériques, interférométrie optique longue base, liens optiques inter-satellites / bord-sol, etc. ...

- ✓ Nous développons au SYRTE un programme de R&D visant à stabiliser sur des raies de $^{127}\text{I}_2$ à 515 nm, divers lasers IR solides ou à fibres dopées, opérant à différentes longueurs d'onde (@ 1.03 μm , 1.06 μm et 1.5 μm) après doublement ou triplage de fréquence.
- ✓ L'objectif visé est de réaliser des étalons de fréquence optiques dotés d'une stabilité de fréquence meilleure que $10^{-14} \tau^{-1/2}$. Les dispositifs expérimentaux développés sont très compacts, simples de mise en œuvre et compatibles avec une utilisation hors laboratoire (sol/spatial).
- ✓ Nous projetons l'extension de cette R&D à l'asservissement en fréquence de lasers femtoseconde sur un laser IR opérant à 1.5 μm lui-même asservi sur une raie de l'iode à 515 nm. Nous pourrions ainsi synthétiser une grille de fréquences de référence ultrastables dans toute la gamme 500 nm - 2 μm . Cette extension du projet permettra de générer, à terme, des radiations millimétriques et/ou sub-millimétriques de très grande pureté spectrale.
- ✓ Nous avons développé un « mini-peigne » de fréquences optiques cohérentes en phase référencé sur l'iode à 515 nm, ainsi qu'un dispositif original à 532 nm pour le projet spatiale LISA (Laser Interferometer Space Antenna) dédiée à la détection d'ondes gravitationnelles dans l'espace (projet LASIC).



Développement d'un « mini-Peigne » de fréquences cohérentes en phase, référencées sur l'iode à 515 nm

Les transitions hyperfines de l'iode à 515 nm permettent d'asservir des lasers IR émettant à 1030 nm ou 1545 nm après doublement ou triplage de fréquence.

Les lasers à fibres dopées Yb (1030 nm) ou Er (1.5 μm) sont particulièrement adaptés pour une utilisation hors laboratoire (notamment spatiale), dans des configurations instrumentales très compactes, fibrées afin d'assurer une stabilité des réglages optiques.

THG : Triplage de fréquence d'un laser IR opérant @ ~ 1.5 μm

Effacité de conversion du triplage de fréquence 1545 nm / 515 nm

Acceptance en longueur d'onde du triplage de fréquence à 1.5 μm

SHG : Doublement de fréquence d'un laser à fibre Yb opérant à 1030 nm

Asservissement puissance

Asservissement en phase

DL @ 1545 nm

Effacité de conversion du doublement de fréquence 1030 nm / 515 nm

Acceptance en température du doublement de fréquence à 1030 nm

THG + SHG = Mini-Peigne de fréquences cohérentes en phase

Stabilisation en phase d'un laser à 1545 nm sur un laser à fibre à 1030 nm

Écart - 500 nm / 100 THz

- Radiations optiques cohérentes en phase
- Système compact
- Composants compatibles « spatial »
- Puissances optiques élevées (W)
- Mesures absolues de distances
- Mesures de déphasages atmosphériques, etc.

Stabilisation en fréquence sur une raie de $^{127}\text{I}_2$ à 515 nm

$\sim 10^{-4} \text{ à } 10^{-5}$ fois les puissances délivrées par un laser femtoseconde

Asservissement en phase de la diode laser opérant @ 1545 nm sur le laser à fibre dopée Yb @ 1030 nm

Mini-Peigne de fréquences ultrastables référencées sur l'iode @ 515 nm

➔ 1.5 μm

➔ 1030 nm

➔ 772 nm

➔ 515 nm

Projet LASIC : Collaboration SYRTE - APC - ARTEMIS Développement d'une référence de fréquence ultrastable à 532 nm pour la détection d'ondes gravitationnelles dans l'espace

Le projet LASIC (Laser Stabilisé sur l'Iode en Cavité) est basé sur l'utilisation d'une cavité optique autour d'une cellule d'iode très courte (10 cm), dans une configuration instrumentale originale et très compacte. Il vise à conférer une stabilité de fréquence meilleure que $10^{-14} \tau^{-1/2}$ à un laser Nd:YAG retenu comme laser de référence pour la mission spatiale LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

Dispositif expérimental du projet LASIC basé sur l'utilisation de l'iode en cavité dédié à la stabilisation en fréquence d'un laser Nd:YAG avec la technique d'absorption saturée:

Cellule de longueur L

Cellule de même longueur L , dans une cavité FP de finesse F

Cellule de longueur $L' = L \times (2F/\pi)$

Puissance intra cavité amplifiée par la finesse

Le rapport (S/B)_{FP} est augmenté d'un facteur $(2F/\pi) / (2F/\pi)^2 = 2 \times (2F/\pi)^{1/2}$

À -18°C, avec une cellule de 10 cm de long

Application à l'iode @ 532 nm

$\Delta\nu_{\text{exp}} \sim 500 \text{ kHz}$ $v/\Delta\nu \sim 1.1 \times 10^9$

Finesse optimale de la cavité : $F = 35$

Stabilité à court terme théorique (shot-noise)

$\sigma_f(t) \sim 1 \times 10^{-14} t^{-1/2}$

Application à l'iode @ 515 nm

$\Delta\nu_{\text{exp}} \sim 120 \text{ kHz}$ $v/\Delta\nu \sim 4.8 \times 10^9$

Finesse optimale de la cavité : $F = 80$

Stabilité à court terme théorique (shot-noise)

$\sigma_f(t) \sim 1.5 \times 10^{-15} t^{-1/2}$

Cavité optique en anneau Ultra stable

Contrôle thermique et magnétique

Dispositif sous vide compact (300 x 200 x 170 mm³)

Caractérisation Stabilité de Fréquence

Faisceau pompe

Faisceau sonde

Laser IR Double En fréquence

AOM1

AOM2

EOM2

EOM1

AOM1 & 2 Asservissements de puissance

Fibres optiques Filtrage spatial & contrôle géométrique des faisceaux laser

EOM1 & EOM2 Asservissements de fréquence

Banc optique du projet LASIC (volume total < 0.1 m³)

Évaluation préliminaire de la stabilité de « LASIC » utilisant une cavité optique de démonstration opérant à l'air libre

NICE-OHMS détection

PDH Détection

FREQUENCY STABILITY

Allan Deviation, $\sigma_y(t)$

Averaging Time, τ , Seconds

$8 \times 10^{-14} \tau^{-1/2}$