



Laser Télécom Ultra-Stable

C. Philippe, R. Le Targat, P. Wolf and O. Acaf





Sommaire

- Pourquoi stabiliser une diode laser à 1,5 μm sur l'iode à 515 nm ?
- Triplage en fréquence efficace d'une source laser à 1,5 μm
- Stabilisation laser sur une transition hyperfine de l'iode moléculaire
- Conclusion & perspectives



Sommaire

- Pourquoi stabiliser une diode laser à 1,5 μm sur l'iode à 515 nm ?
- Triplage en fréquence efficace d'une source laser à 1,5 μm
- Stabilisation laser sur une transition hyperfine de l'iode moléculaire
- Conclusion & perspectives



• Application spatiales

- Lien optique à longue distance (Ground-satellite, inter-satellites), Vol en formation, ...
- GRACE - FO, eLISA, ...
- VLBI : Very Long Baseline Interferometry

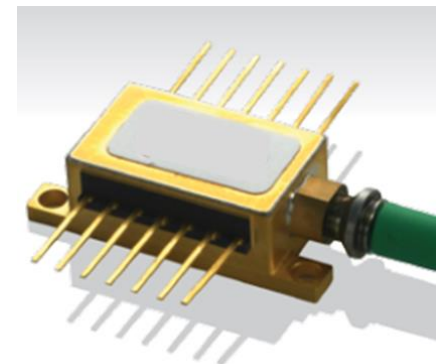


• Autres applications

- * nouvel étalon de fréquence à 1,5 μm , compact, stable, transportable, ...
- * application en multiplexage (U-DWDM) ...

• Avantages d'un montage optique à 1,5 μm

- ✓ Composants de haute maturité technologique et compacts
- ✓ Alignement optique plus stable,
- ✓ Compacts et très bas bruit de phase
- ✓ Couverture de toute la bande C des télécommunications optique





- **Etat de l'art:**

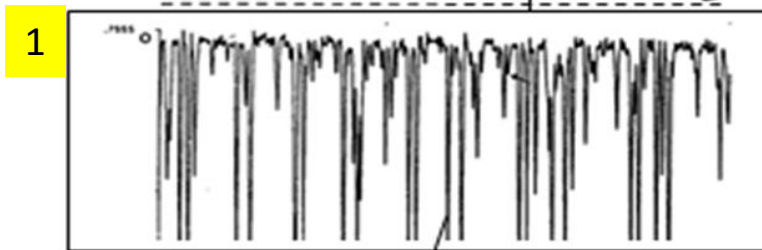
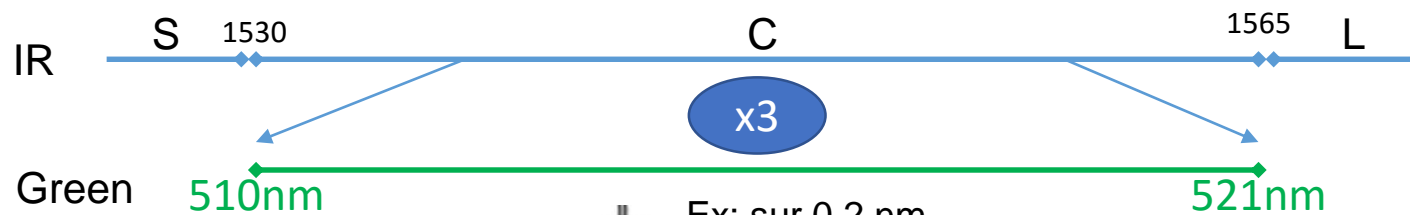
- À 1,5 μm , les laser stabilisés sur molécules n'ont pas démontrés leurs potentiels.
 $5 \cdot 10^{-13}$ à $t=1\text{s}$, rapporté avec l'acétylène (C_2H_2) [1]
- Des performance élevés ont été réalisés avec l'iode
 $2 \cdot 10^{-14}$ à $t=1\text{s}$, rapporté avec un laser Nd: YAG à 1,06 μm [2]

- **Notre challenge:** Combiner les qualités des lasers IR à 1,5 μm et les performances de l'iode moléculaire

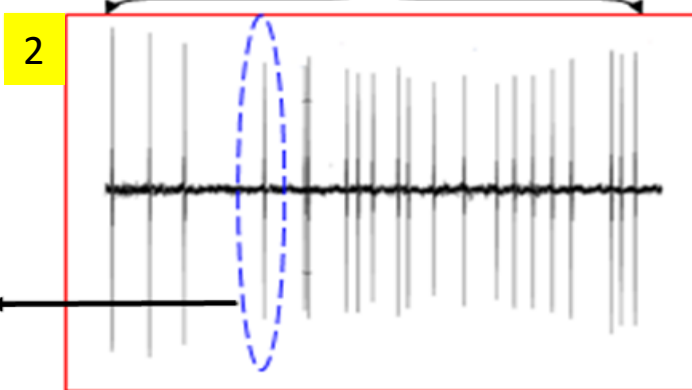
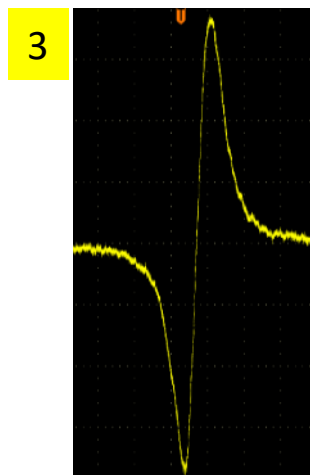
➔ **Réaliser une source laser à 1,5 μm stabilisé dans la gamme de 10^{-15}**

[1] Jens E. Pedersen **Opt. Express** 19, (2011)

[2] Er Jun Zang **IEEE TIM** 56, (2007)

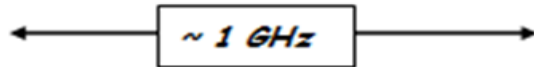


1 Des milliers de raies de l'iode disponibles pour la stabilisation en fréquence



2 Chaque raies de l'iode possède 15 ou 21 composantes hyperfines étroites

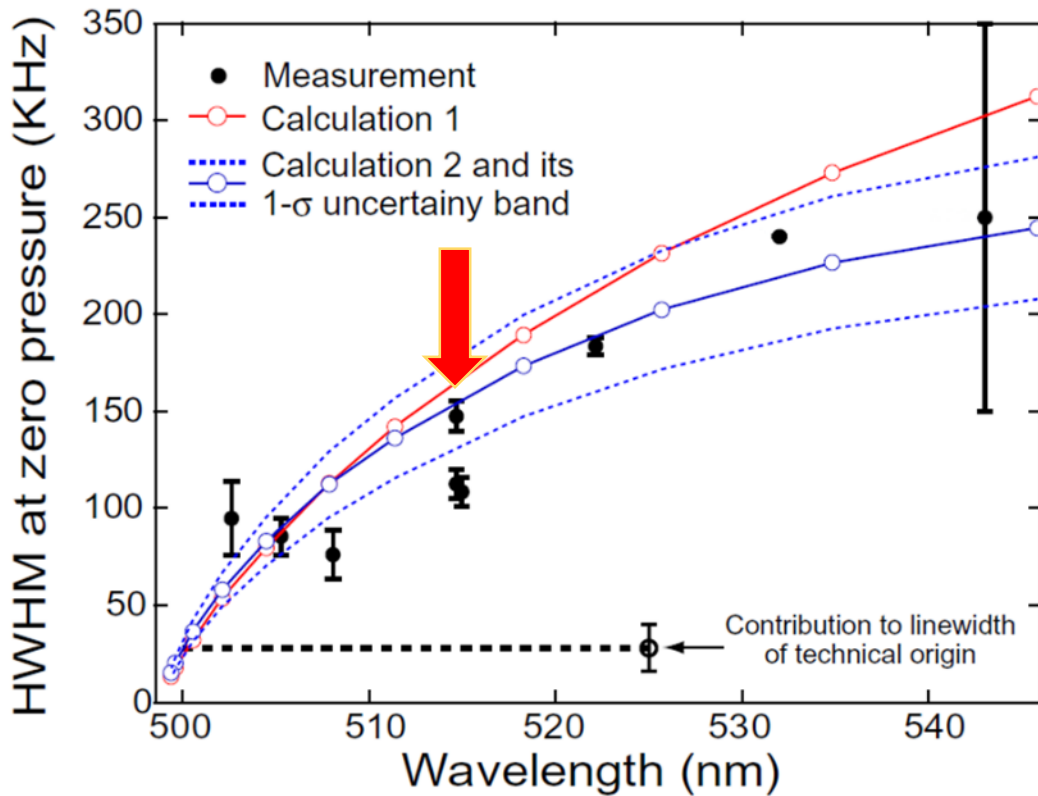
3 Une largeur de raie étroite, et bon facteur de qualité $Q = \nu/\Delta\nu > 10^9$



I



Intérêt des raies à 515 nm pour une stabilisation en fréquence



➤ Transitions hyperfines étroites (~300 kHz)

L. CHEN, 2005' Thesis, JILA, Univ. Colorado



Sommaire

- Pourquoi stabiliser une diode laser à 1,5 μm sur l'iode à 515 nm ?
- Triplage en fréquence efficace d'une source laser à 1,5 μm
- Stabilisation laser sur une transition hyperfine de l'iode moléculaire
- Conclusion & perspectives



La faiblesse de l'efficacité du processus non-linéaire du troisième ordre (**THG**) a conduit à l'utilisation de deux processus successif du deuxième ordre

- ❑ Génération de deuxième harmonique (SHG) (1542 nm \times 2 \rightarrow 771 nm)
- ❑ Génération de somme de fréquence (SFG) (1542 nm + 771 nm \rightarrow 515 nm)

• Etat de l'art :

- Première tentative avec les fonctions SHG & SFG dans un cristal unique
Arie et al. in 2002, démonstration d'une dizaine de nW à 518nm, de 50 mW à 1,5 μm
"R. Klein and A. Arie, Appl. Phys. B 75, 79-83 (2002) "

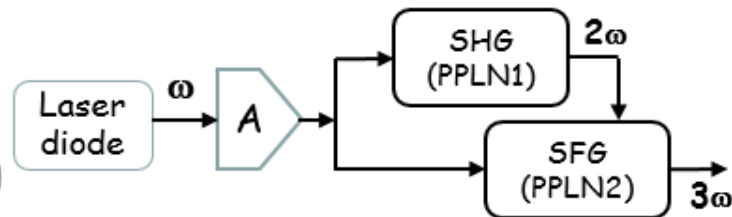
$$\eta = P_{3\omega} / P_{\omega} \sim 2 \times 10^{-5} \%$$

- Première démonstration avec deux cristaux PPLN en régime continu
1,5 mW à 515 nm, à partir de 0,5 W à 1,5 μm (Soutien de l'AS-GRAM /2012)

$$\eta = P_{3\omega} / P_{\omega} \sim 0,3 \%$$

- Première observation d'une raie de l'iode avec une diode laser à 1,5 μm
N. Chiodo et al. "Optical phase locking of two infrared CW lasers separated by 100 THz »
Optics Lett. , Vol. 39, 10, May (Soutien de l'AS-GRAM /2013)

- Deux montage originaux pour la THG sont développé :
 - ✓ Le premier dispositif partiellement fibré
 - ✓ Le second dispositif entièrement fibré

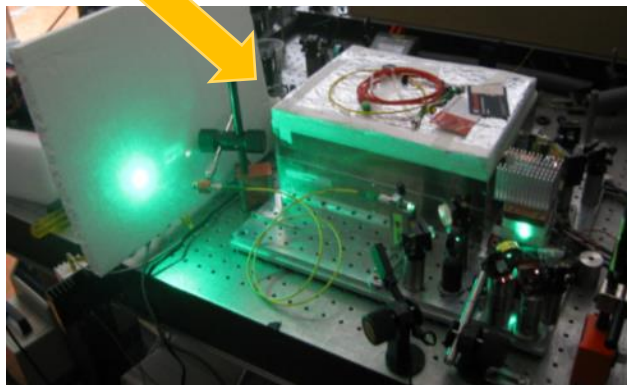


SHG : WG-PPLN fibré
SFG : PPLN en espace libre

SHG : WG-PPLN fibré
SFG : WG-PPLN fibré

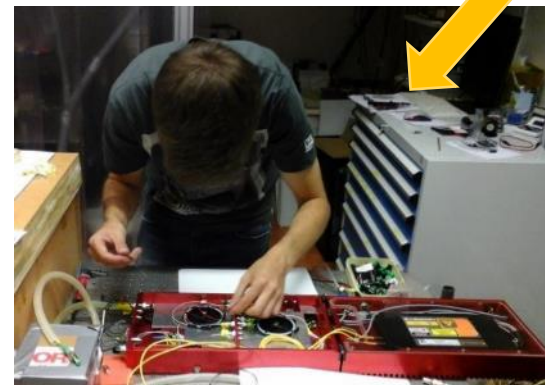
31 mW @ 3ω
1 W @ ω

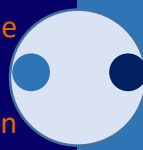
$$\eta = P_{3\omega} / P_{\omega} \sim 3\%$$



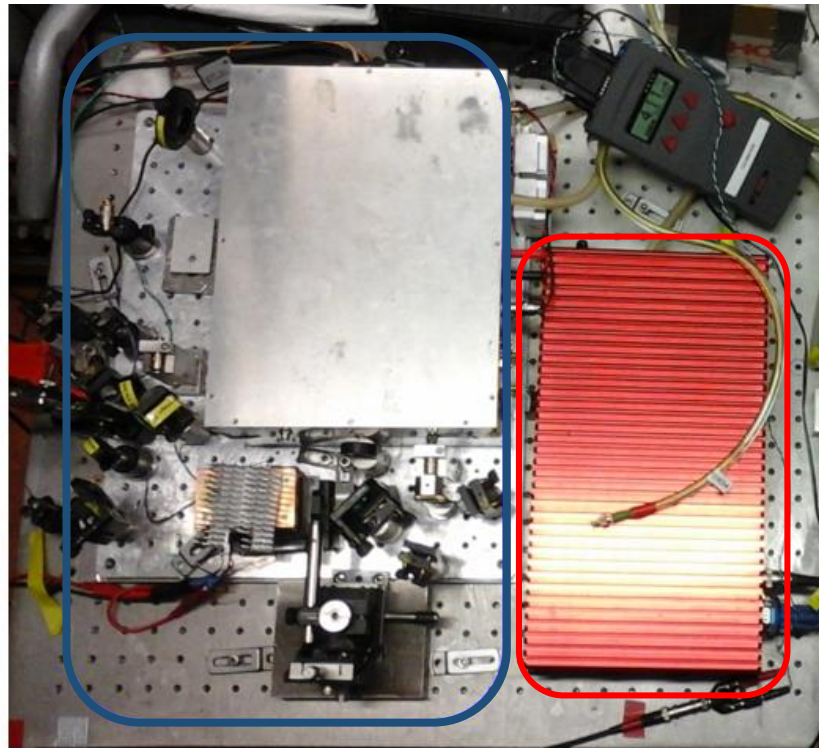
300 mW @ 3ω
0,8 W @ ω

$$\eta = P_{3\omega} / P_{\omega} \sim 36\%$$





Battement optique entre deux montages THG indépendants : largeur inférieure à 10 kHz

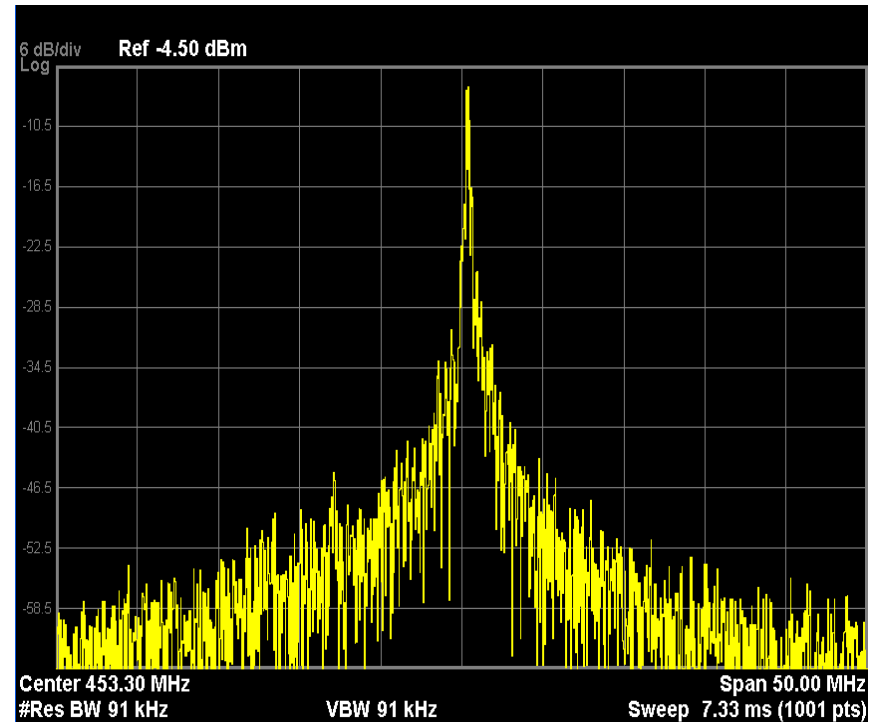


35 x 45 cm²

35 x 16 cm²

1st
montage

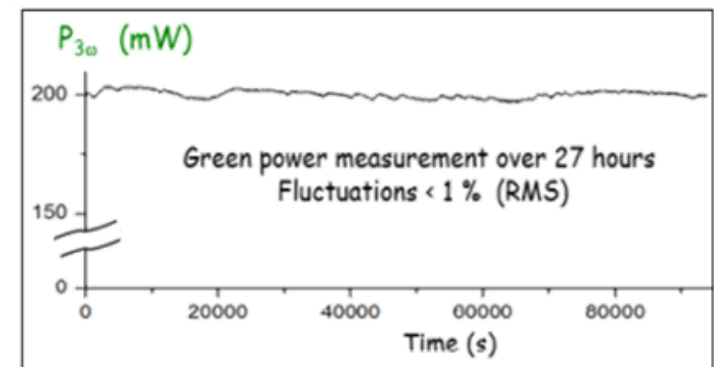
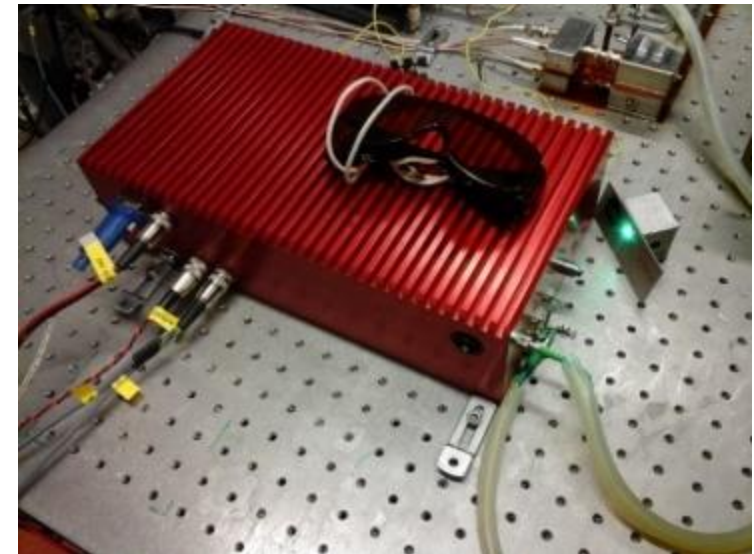
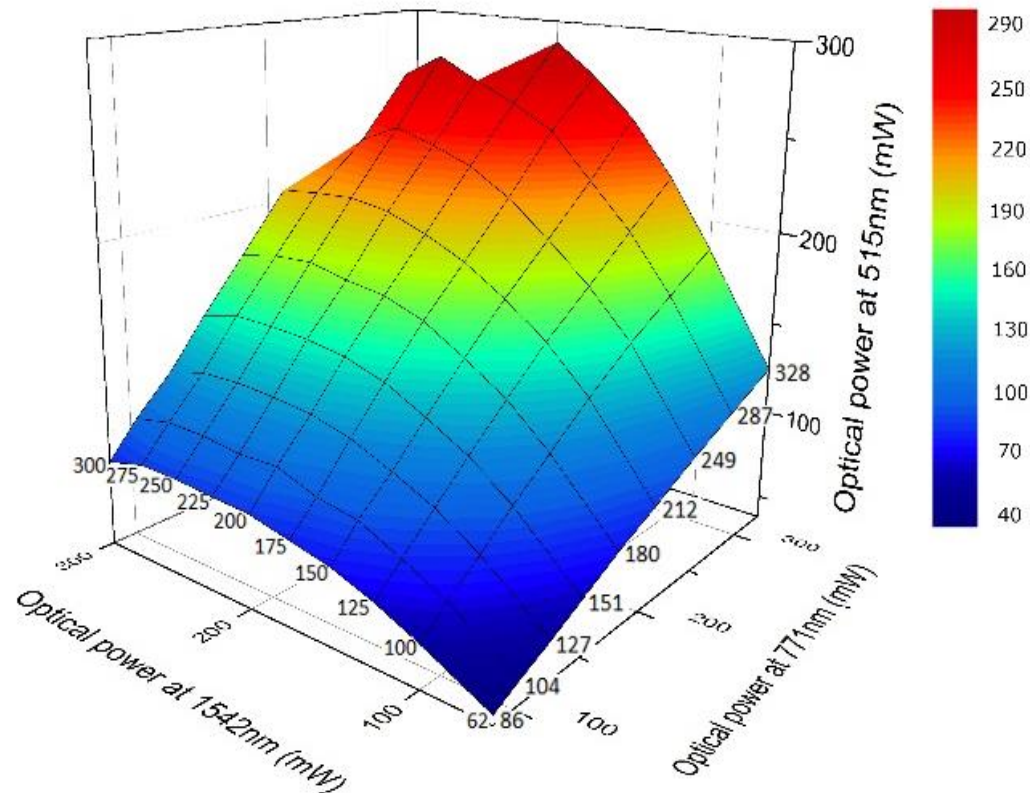
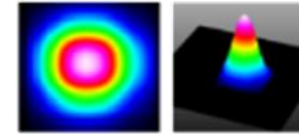
2nd
montage





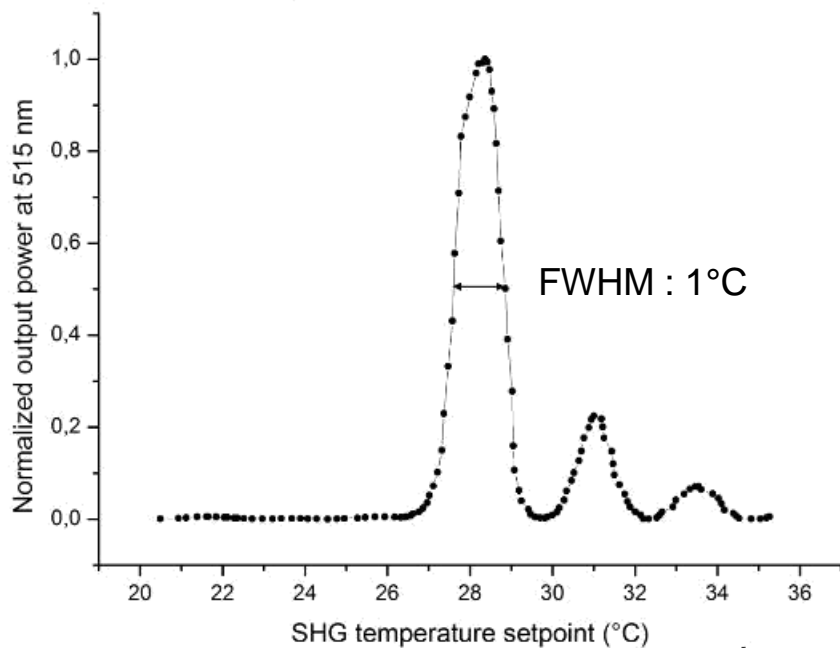
THG: nos résultats

- ✓ montage entièrement fibré
- ✓ 36% d'efficacité de conversion IR \rightarrow vert
- ✓ jusqu'à 300 mW à 515 nm
- ✓ ratio d'extinction de polarisation $\sim 3000:1$
- ✓ Profil gaussien émis dans le vert

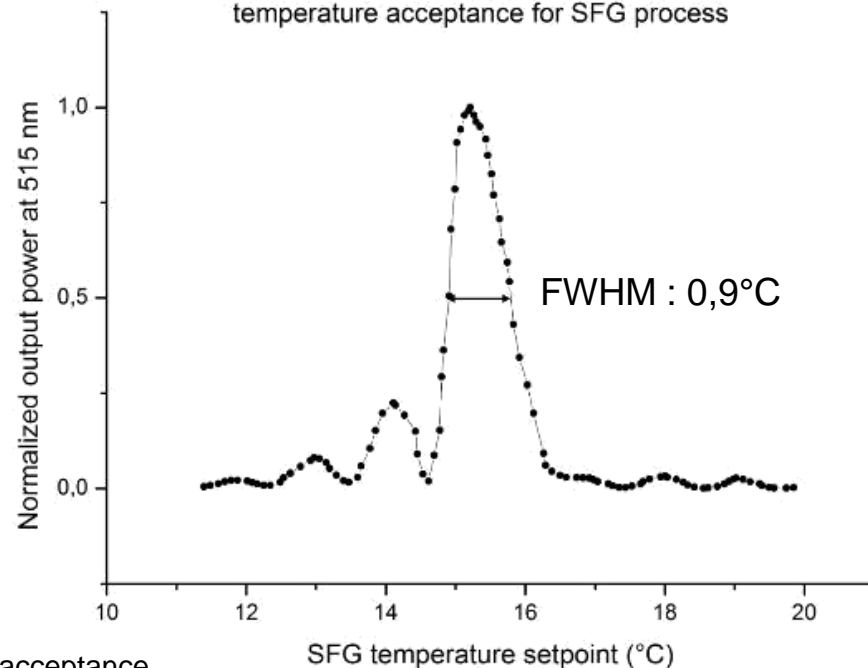




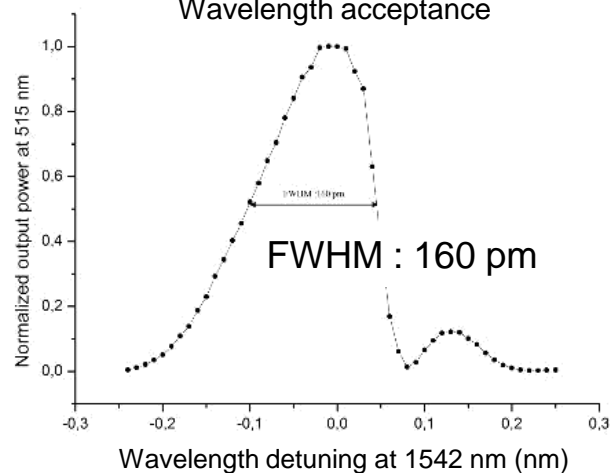
temperature acceptance for SHG process



temperature acceptance for SFG process



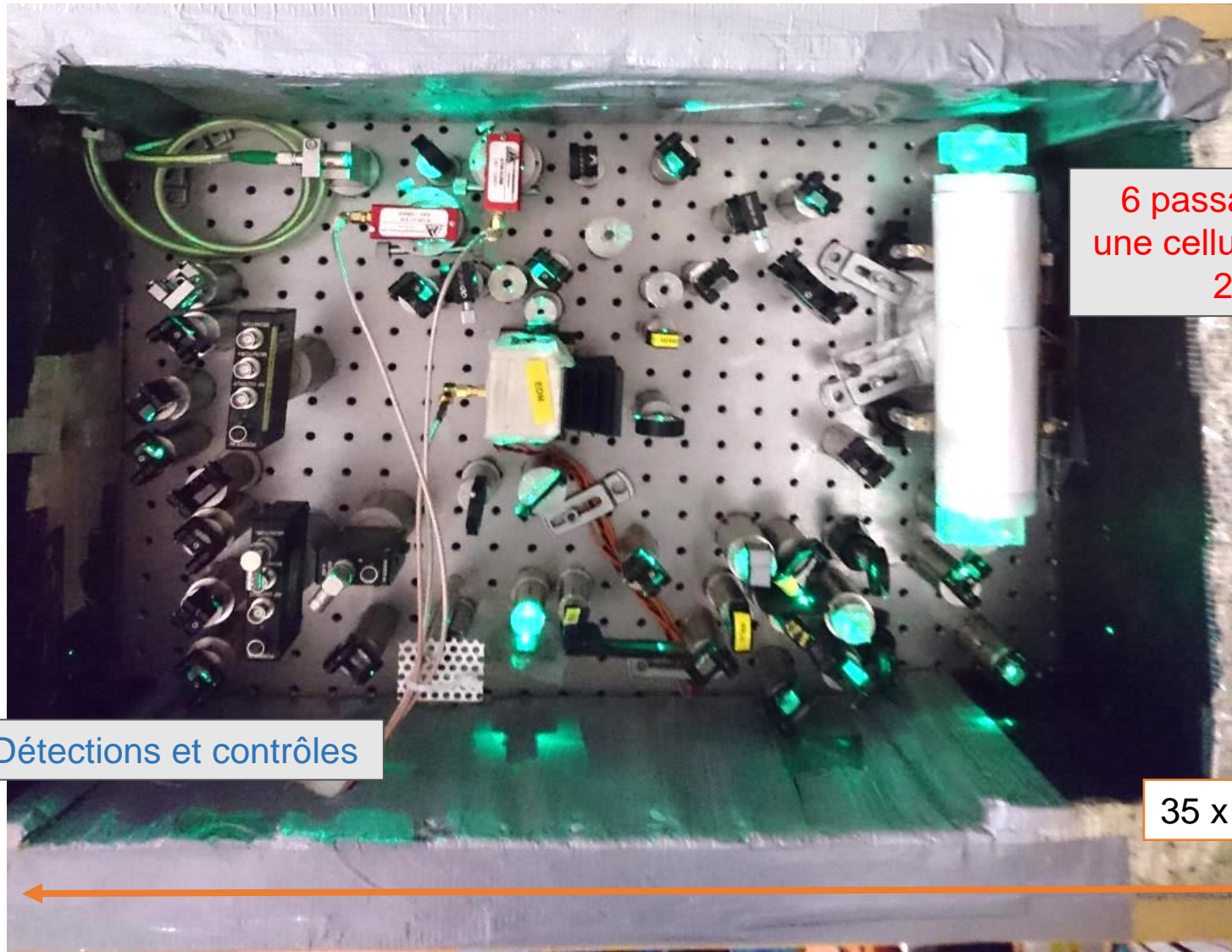
Wavelength acceptance





Sommaire

- Pourquoi stabiliser une diode laser à 1,5 μm sur l'iode à 515 nm ?
- Triplage en fréquence efficace d'une source laser à 1,5 μm
- Stabilisation laser sur une transition hyperfine de l'iode moléculaire
- Conclusion & perspectives



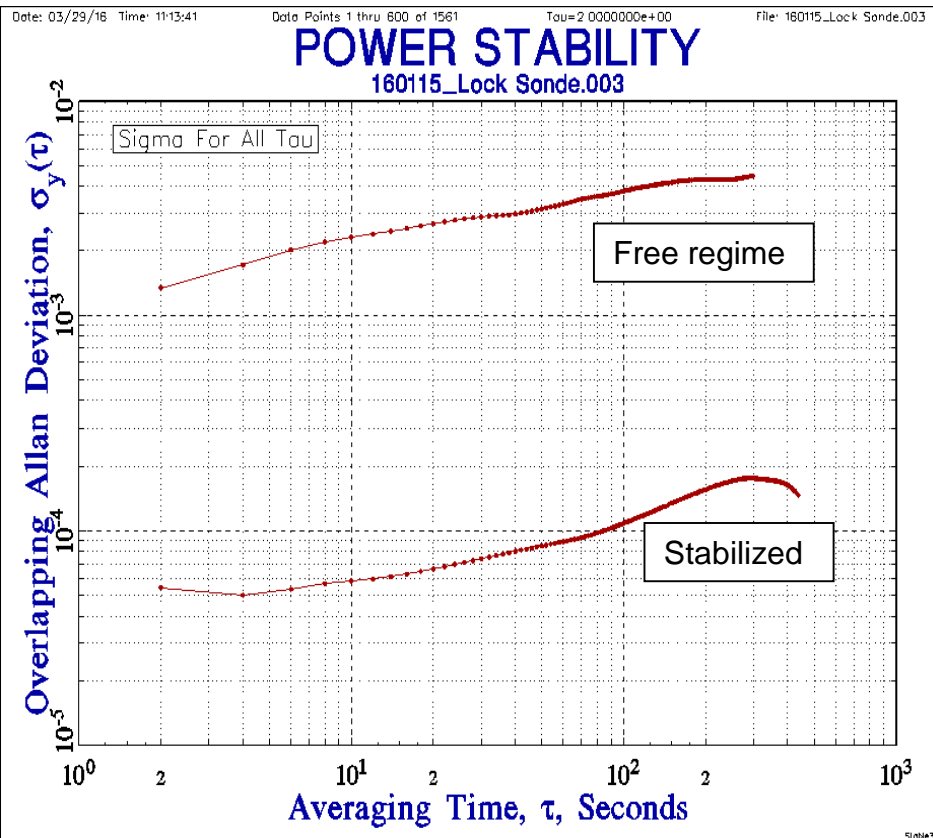
6 passages dans
une cellule d'iode de
20cm

Détections et contrôles

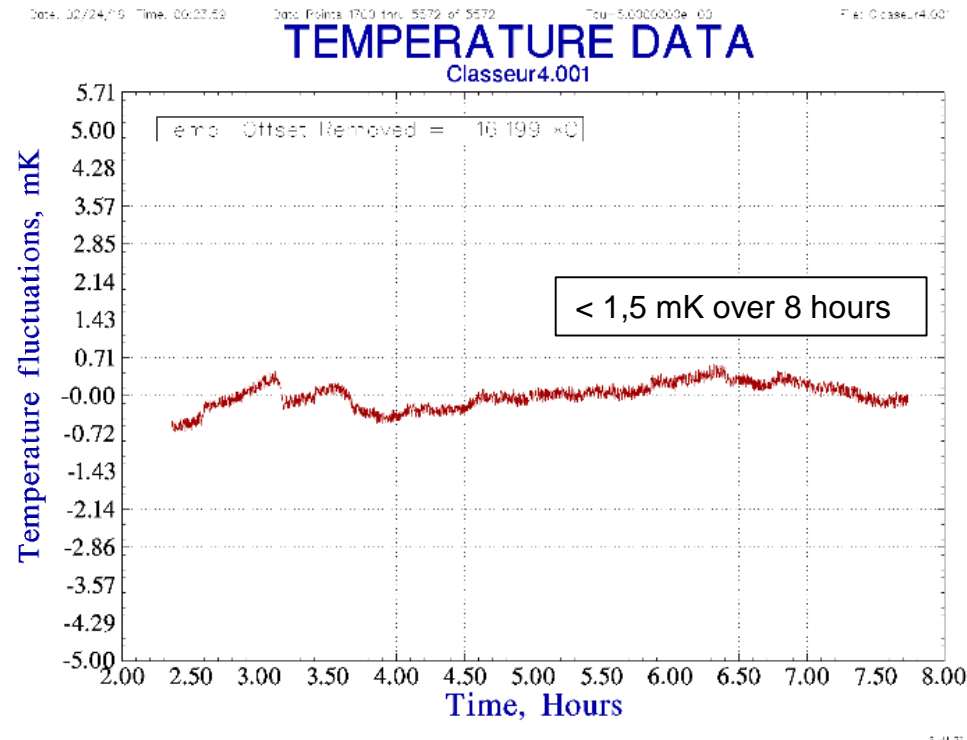
35 x 45 cm²



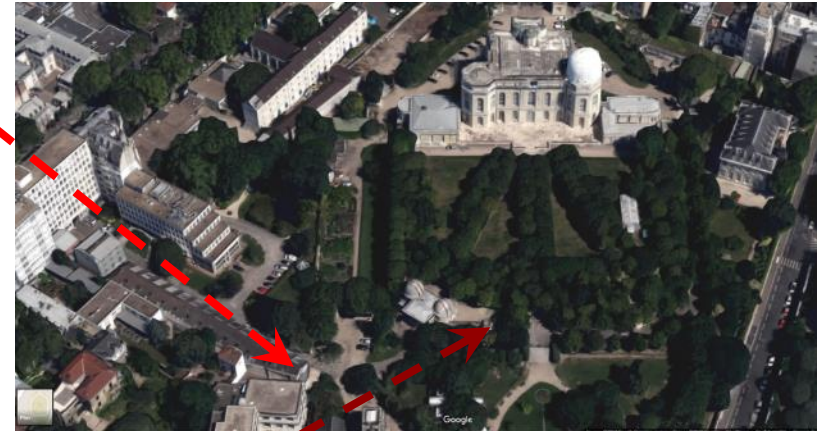
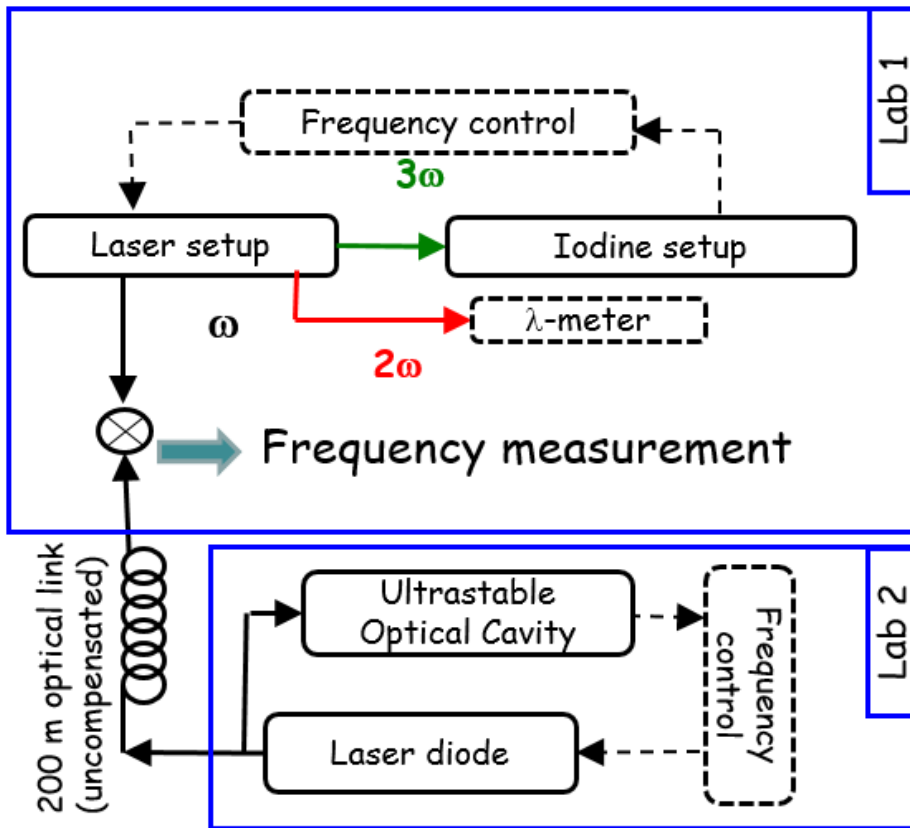
Stabilité de la puissance optique



Fluctuations de la température du queusot



La mesure directe de la stabilité en fréquence est possible grâce à un lien fibré entre deux bâtiments du SYRTE, à l'intérieur de l'observatoire de Paris

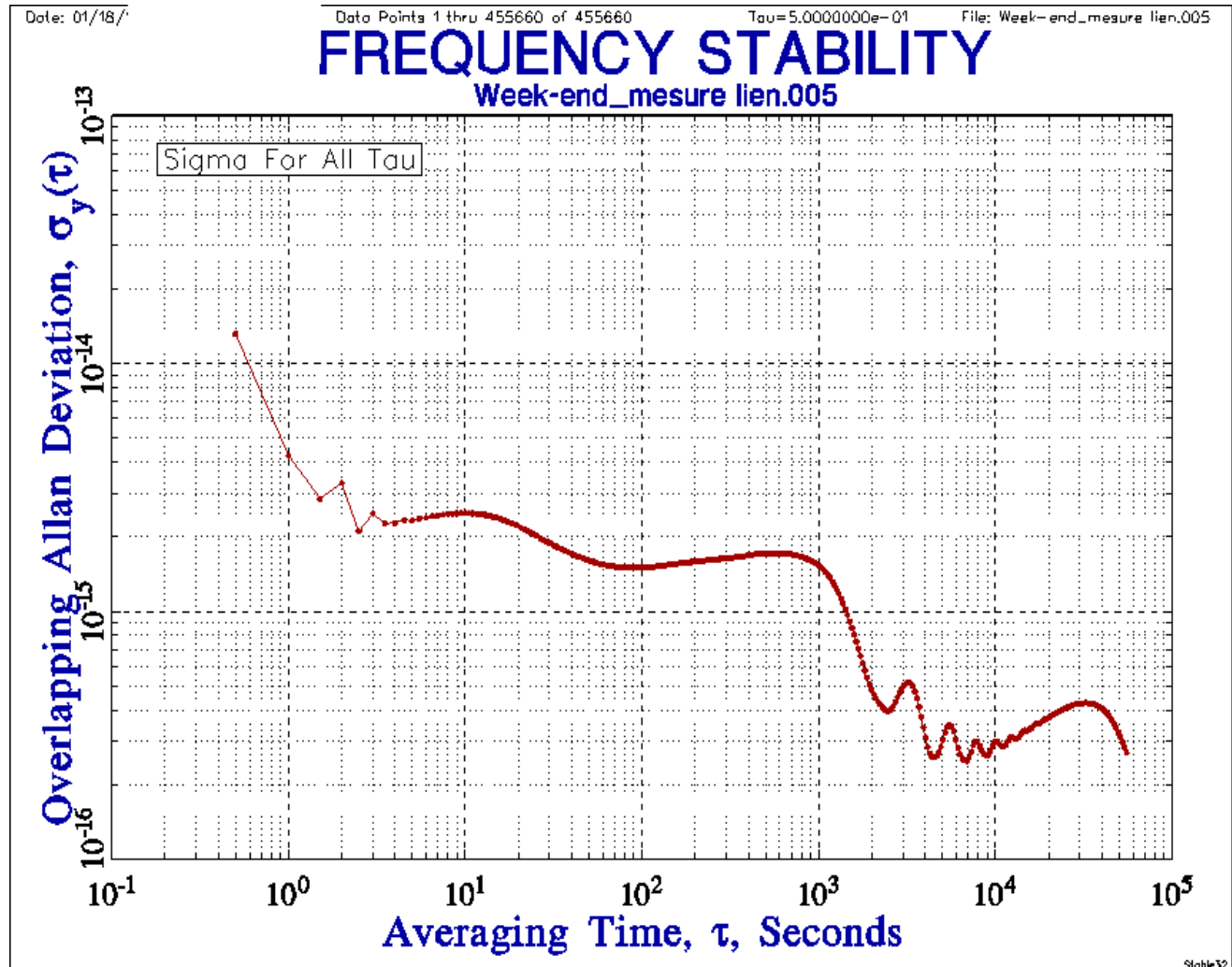


- Une compensation du bruit de fréquence du lien peut être utilisée, si nécessaire.



➤ Lien optique non-compensé (~200m)

- Le bruit de fréquence du lien optique ne limite pas la stabilité en fréquence de notre laser asservi sur l'iode

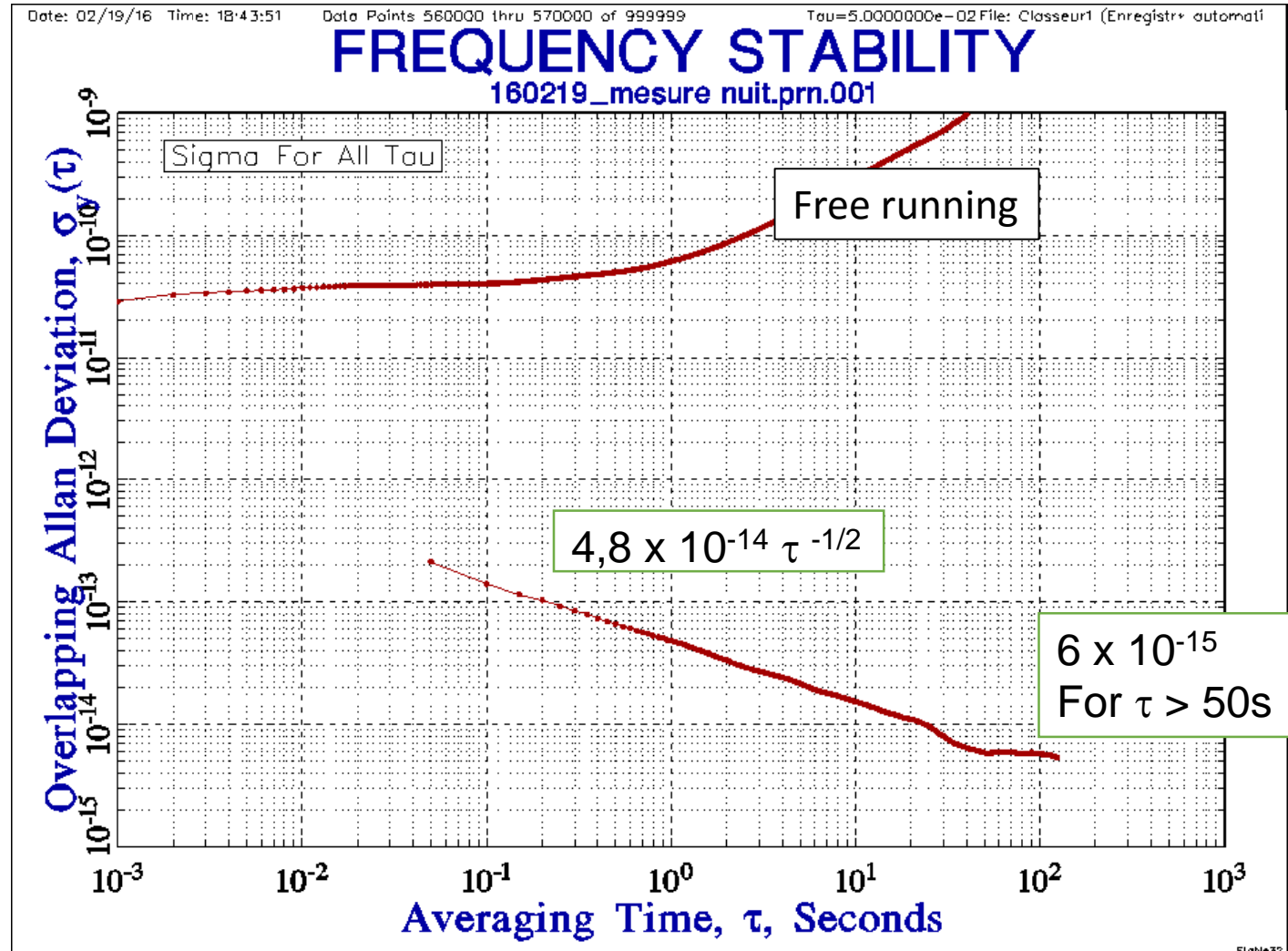


Stable32



- Évaluation préliminaire de la stabilité du laser

Diode laser butterfly stabilisé en fréquence sur la transition a_1 de la raie R 35 (44-0) de l'iode $^{127}\text{I}_2$ à 514,017 nm



Slide 32



Sommaire

- Pourquoi stabiliser une diode laser à 1,5 μm sur l'iode à 515 nm ?
- Triplage en fréquence efficace d'une source laser à 1,5 μm
- Stabilisation laser sur une transition hyperfine de l'iode moléculaire
- Conclusion & perspectives



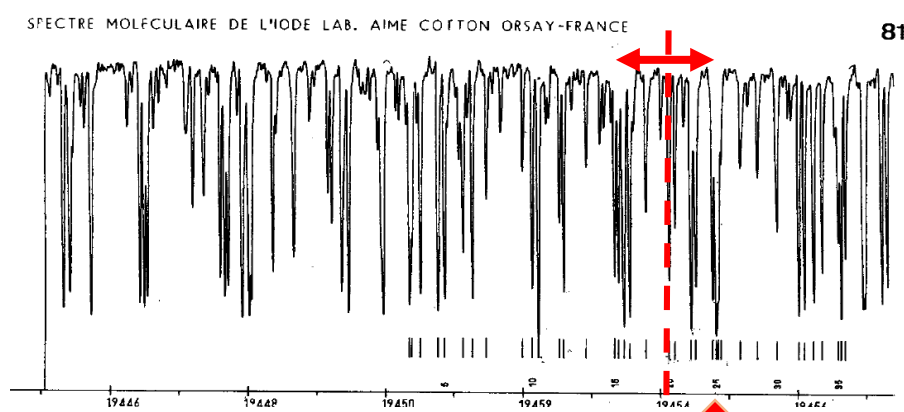
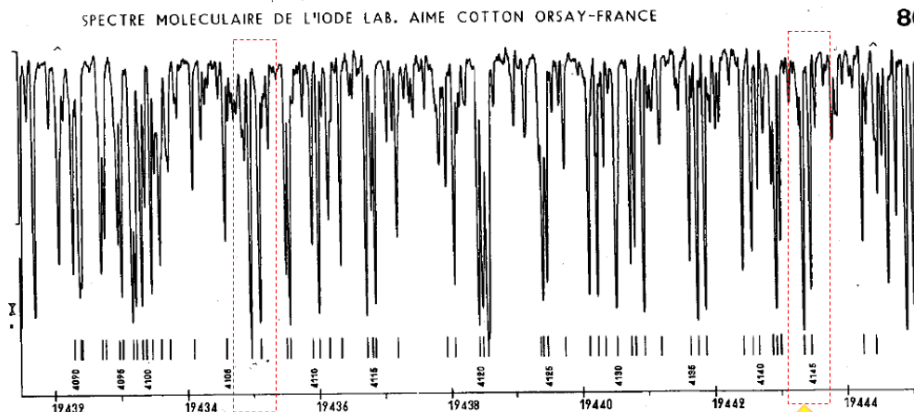
- **Conclusion**

- Nous avons développé une connexion efficace entre l'IR et le vert via un triplage en fréquence compact et fibré
- Nous avons obtenu jusqu'à 300 mW @ 515 nm à partir de 800 mW @ 1542 nm
- Nous avons démontré une efficacité de conversion de $P_{3w}/P_w > 36\%$
- Une stabilité en fréquence de 6×10^{-15} at 50 s est déjà atteinte



Amélioration de la référence atomique

Extrait de : *S. Gerstenkorn, and P. Luc, Atlas du spectre d'absorption de la molécule d'iode, Editions du C.N.R.S., Paris, France, 1978.*



Accordabilité de la diode laser
Utilisée actuellement ↔

Laser de référence : comptage - -

100 GHz

En coïncidence avec le canal 43 ITU
(raie de l'iode, intense, bien isolée)

En coïncidence avec le canal 44 ITU
(raie de l'iode actuellement utilisée)

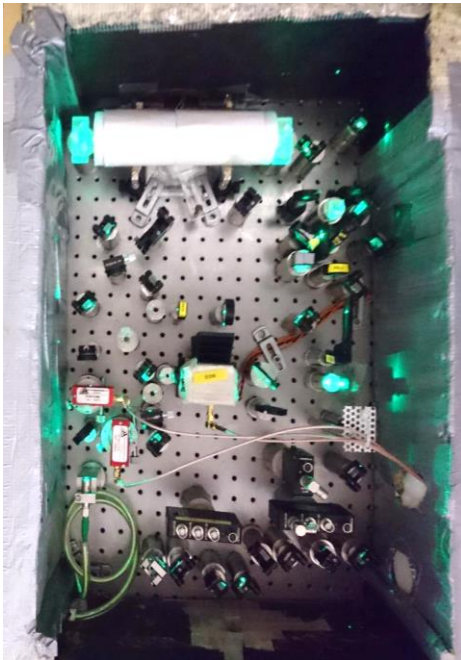
R 42 (44-0) @ 514. 315 nm
P 44 (44-0) @ 514. 310 nm } $\Delta \sim 11$ GHz

R 35 (44-0) @ 514,017 nm

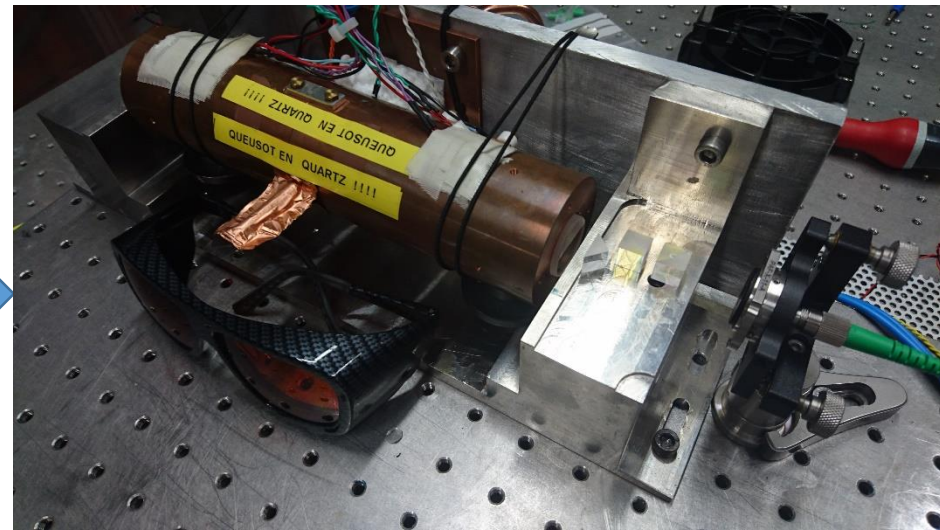
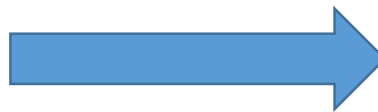


- **Amélioration de la compacité du dispositif**

- ➔ Meilleur compacité:
 - EOM fibré intégré à la source laser
- ➔ Meilleur isolation mécanique et à l'environnement
 - Homogénéité de la température amélioré
 - Surface d'échange avec l'environnement réduite



35 x 45 cm²



Développement en cours