

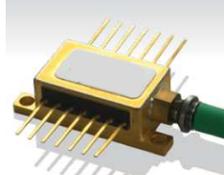


Développements de lasers Infrarouges Stabilisés en Fréquence sur l'Iode (Compacts - Fibrés - Transportables)



➤ Les points clés de ces développements:

- ❑ Les sources laser Telecom présentent un bruit de phase intrinsèque très bas, inégalé à d'autres λ
- ❑ Les amplificateurs optiques dans cette gamme de longueur d'onde sont très bas bruit de phase
- ❑ Les composants opto pour moduler la phase/fréquence des lasers ont un niveau de TRL supérieur
- ❑ Ces différents éléments sont qualifiés spatial ou sont en cours de tests (*)
- ❑ Les transitions hyperfines de l'iode sont très étroites ($Q > 10^9$)



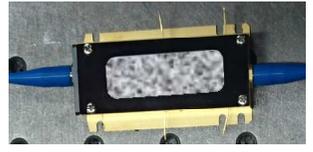
Laser Diode



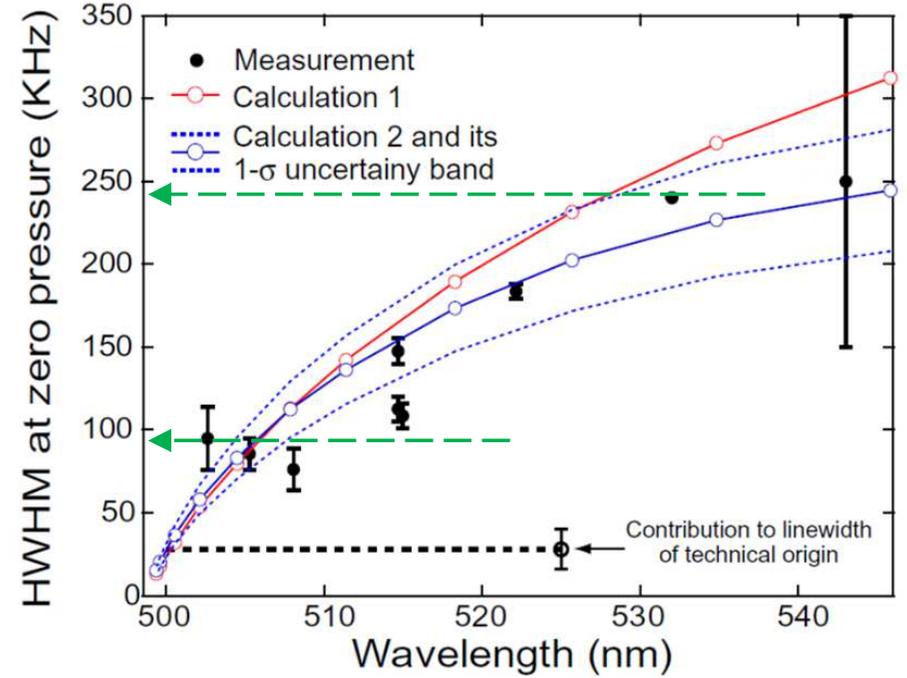
EOM & AOM



EDFA



Nonlinear Crystals



(*)

- V. Schkolnik et al., arXiv:1702.08330v1 (Feb. 2017)
- T. Lévêque et al., Applied Physics B, (2014)
- V. Menoret et al., Optics Lett., Vol. 36/ 21 (Nov. 2011)

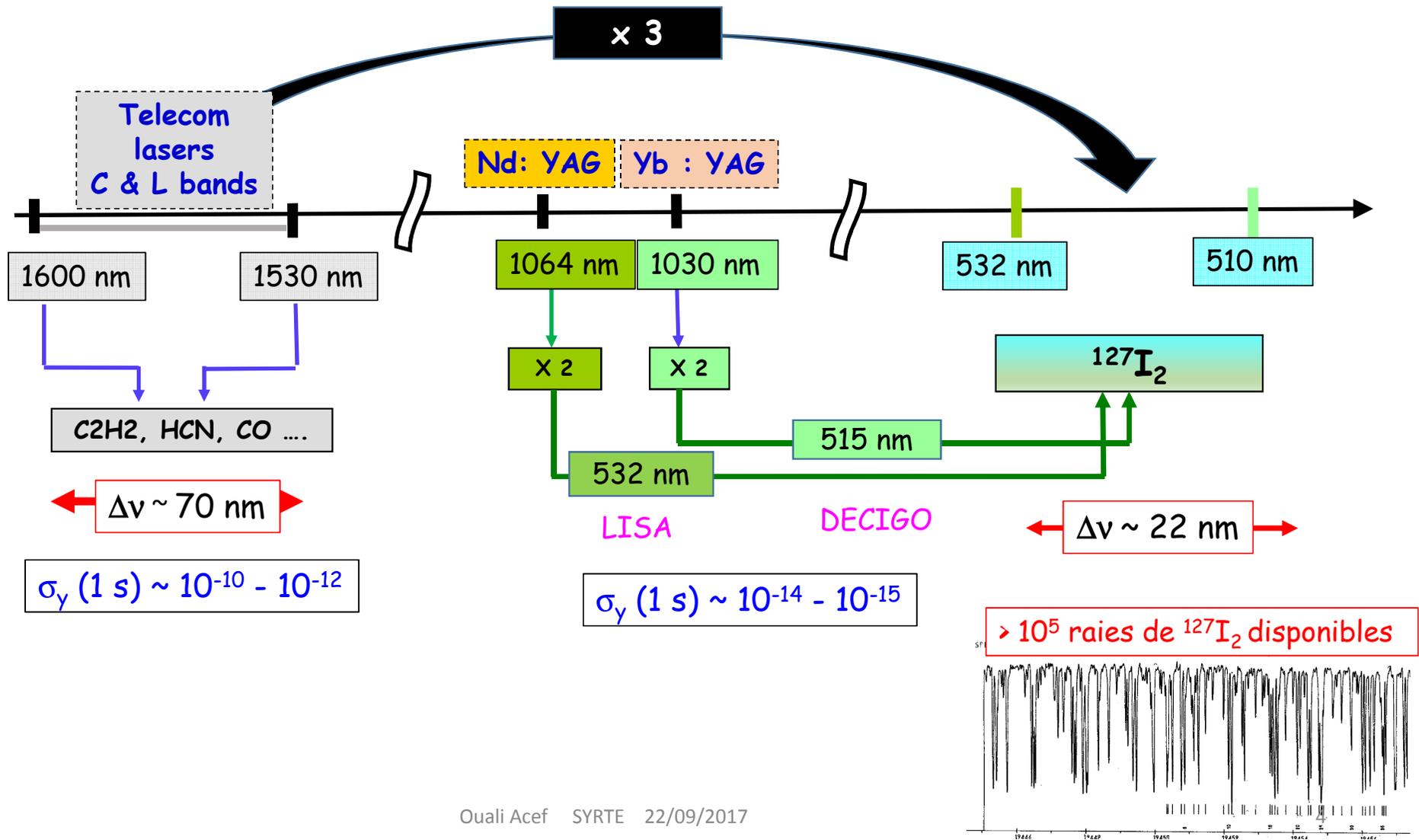
➤ Développement au SYRTE de sources laser Telecom, triplées en fréquence

- ❖ Puissantes dans le domaine vert du spectre électromagnétique
- ❖ Compactes : Volume < 5 l
- ❖ Fibrées
- ❖ Transportables
- ❖ A faible consommation électrique < 20 W
- ❖ Grande efficacité de conversion ($P_{3\omega}/P_{\omega} > 36 \%$, $P_{\text{optique}}/P_{\text{électrique}} > 1,5 \%$)

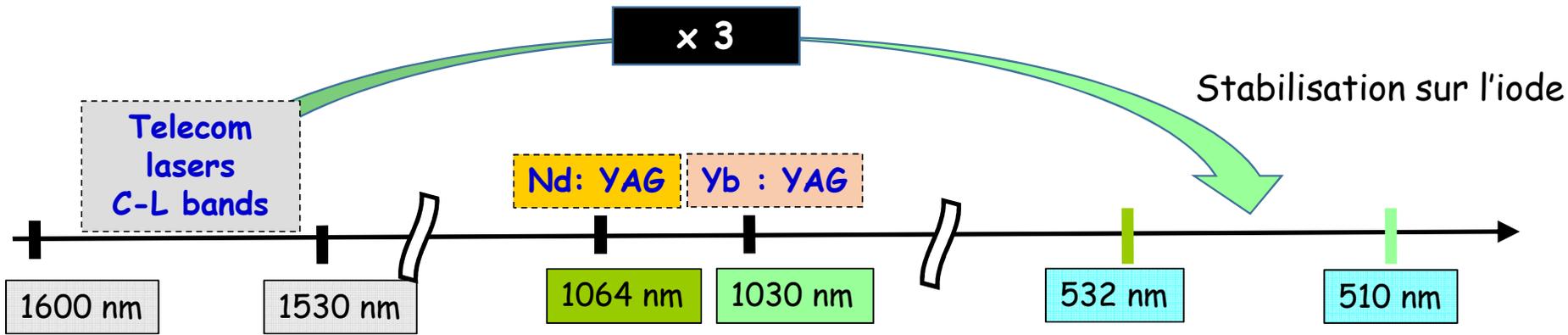
➤ Objectifs

- ❖ Conférer une stabilité de fréquence à un laser Telecom dans la gamme de $\sim 10^{-14}$ à court terme et $\sim 10^{-15}$ à moyen/long terme
- ❖ Transférer cette stabilité de fréquence à d'autres longueurs d'onde : dans l'IR proche et le visible

Possibilité de stabiliser en fréquence n'importe quel laser émettant dans la bande Telecom C ou L (pas < ~ 5 GHz dans l'IR)



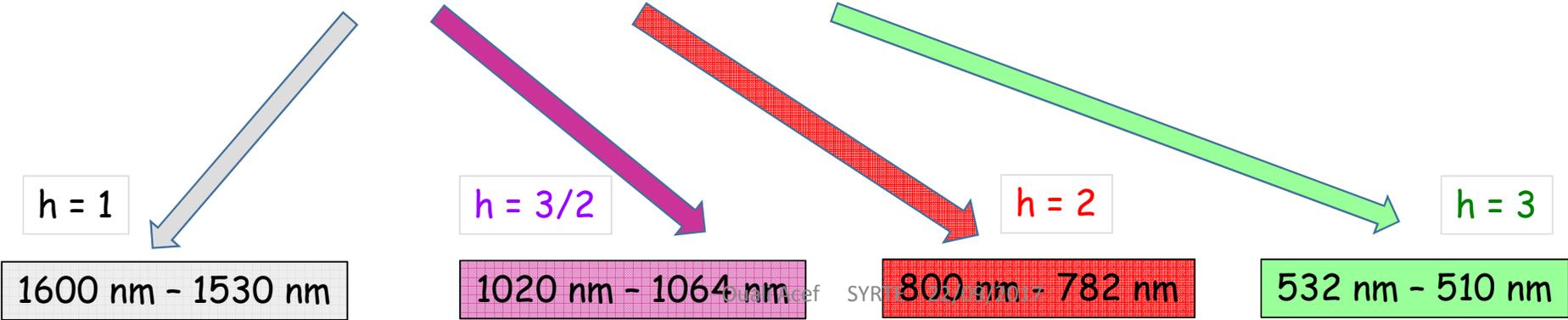
Possibilité de stabiliser en fréquence n'importe quel laser émettant dans la bande Telecom C ou L (pas < ~ 5 GHz dans l'IR)



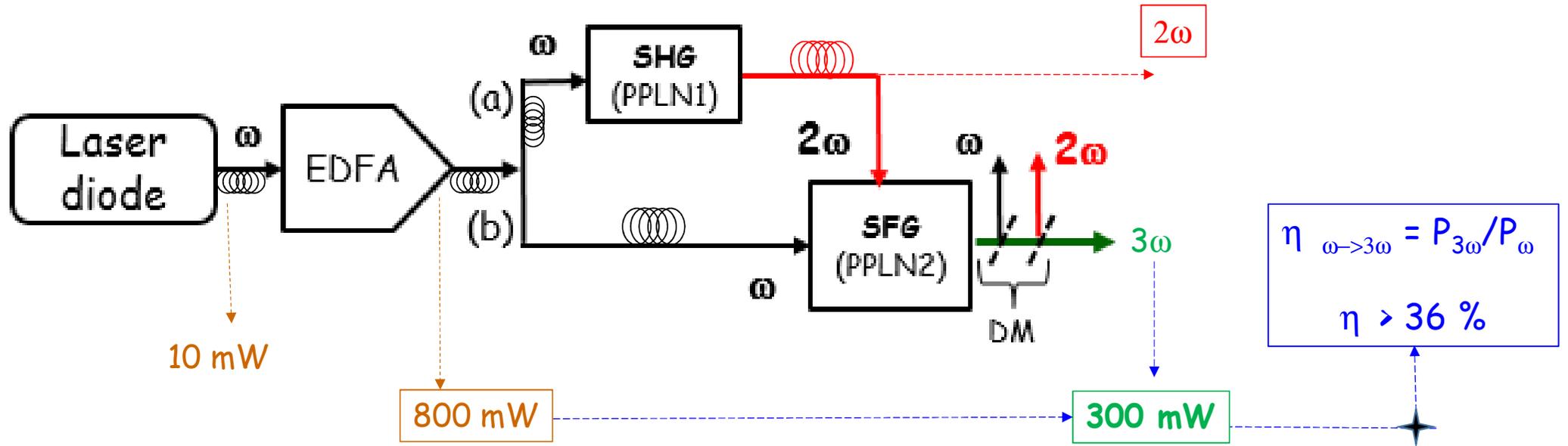
Stabilité de fréquence transférée à différentes longueurs d'onde en même temps

Puissances optiques disponibles Avec stabilisation en fréquence

- @ λ_{IR} $P > \text{Watt}$
- @ λ_{vis} $P \sim \times 100 \text{ mW}$



Triplage de fréquence

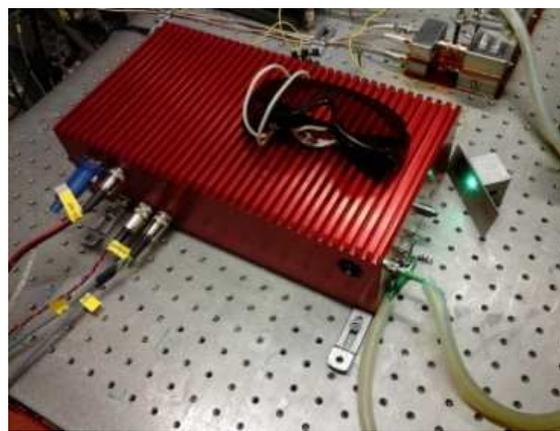


$$\eta_{\omega \rightarrow 3\omega} = P_{3\omega} / P_{\omega}$$

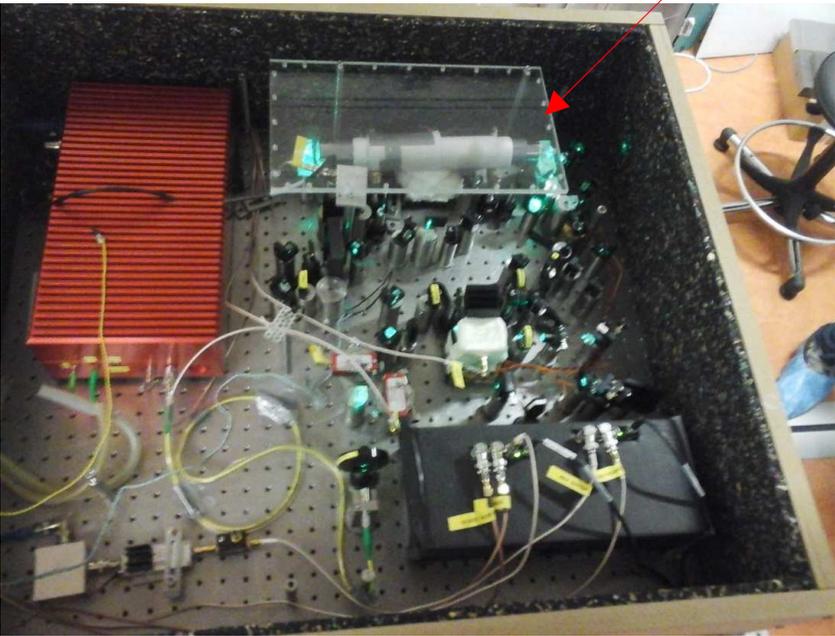
$$\eta > 36\%$$

Puissance électrique totale consommée 20 Watt

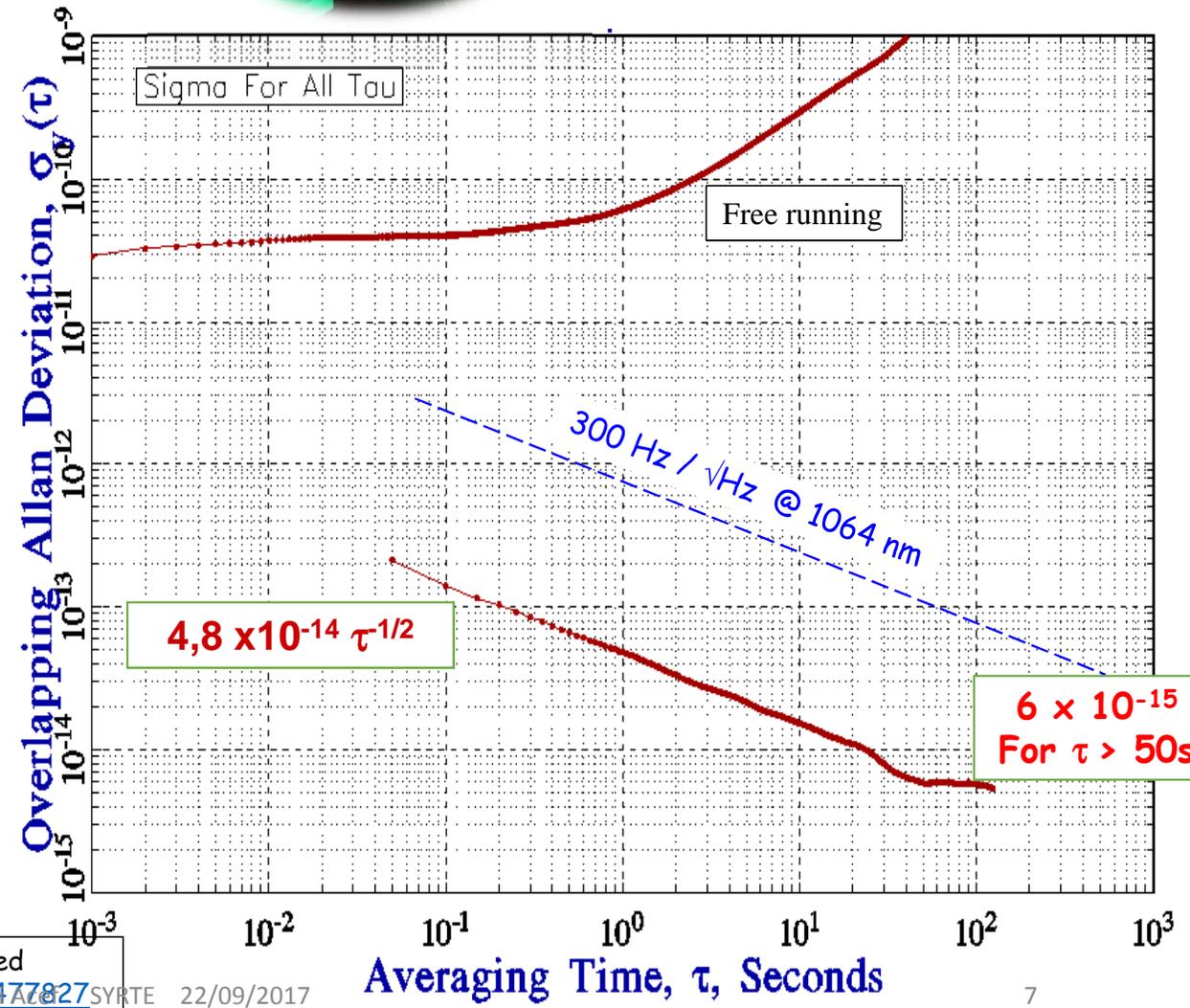
Le processus de stabilisation en fréquence sur l'iode ne nécessite que ~ 10 mW à 3ω



Stabilisation en fréquence sur l'iode:
Démonstrateur de laboratoire



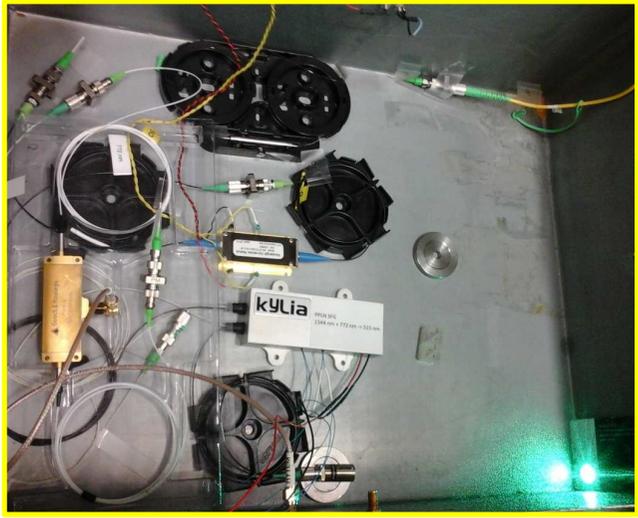
Cellule d'iode
Longueur 20 cm



Ch. Philippe et al., "Frequency tripled 1.5 μm telecom laser diode stabilized to iodine hyperfine line in the 10-15 range", DOI: [10.1109/EFTF.2016.7477827](https://doi.org/10.1109/EFTF.2016.7477827)

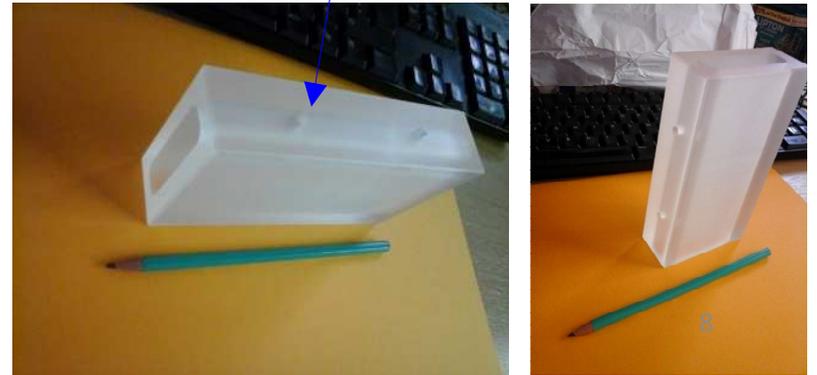
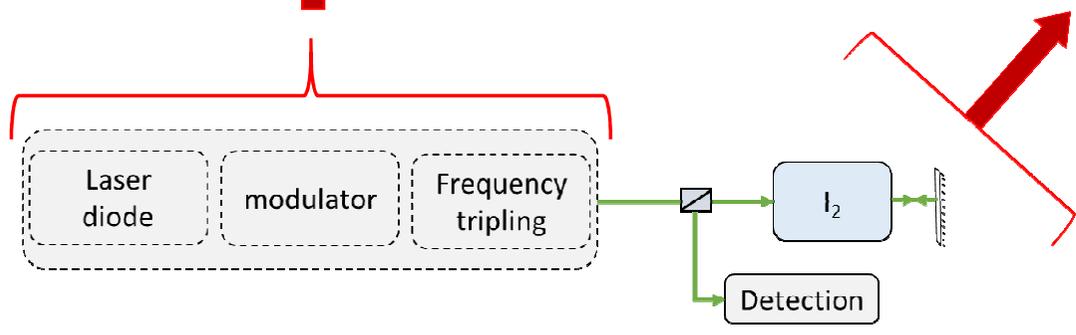
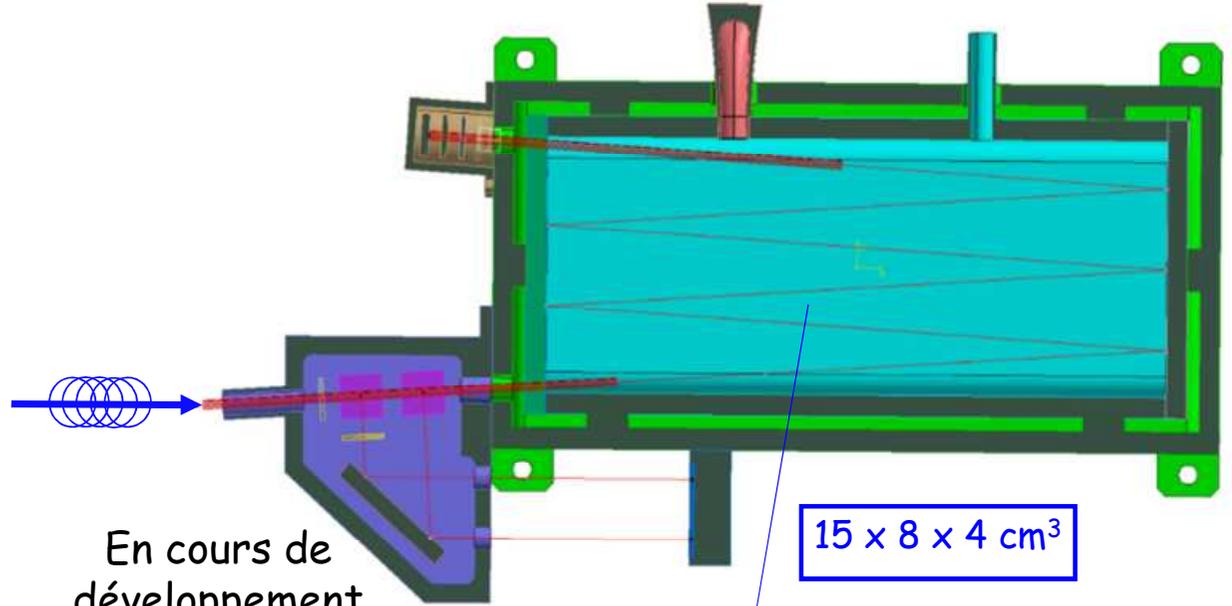
SYRTE 22/09/2017

Stabilisation en fréquence sur l'iode:
 Prototypé fibré transportable



Développé Banc laser fibré

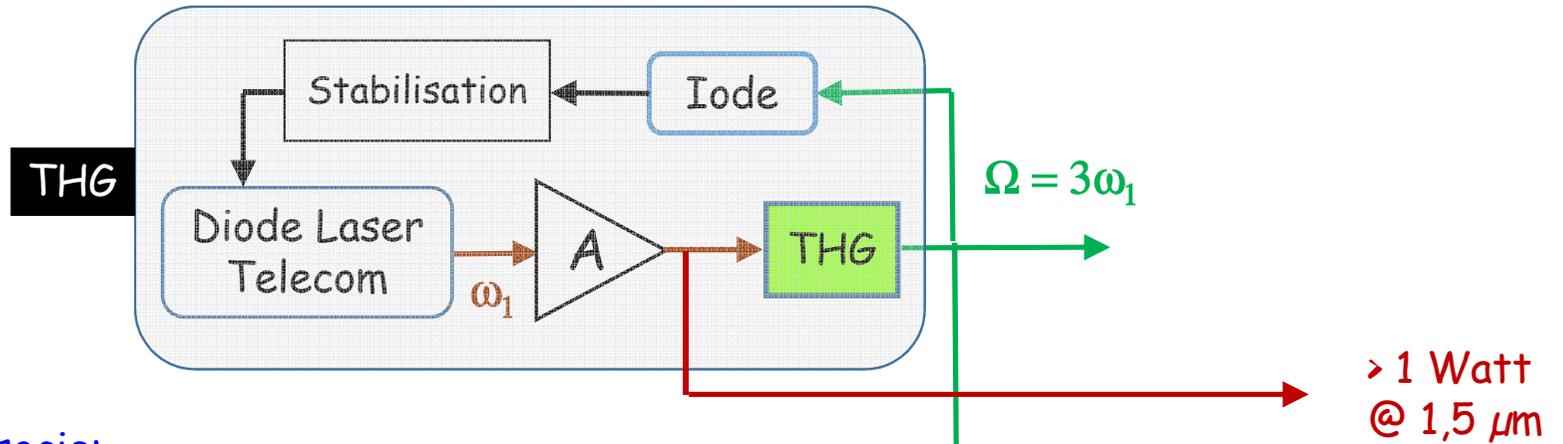
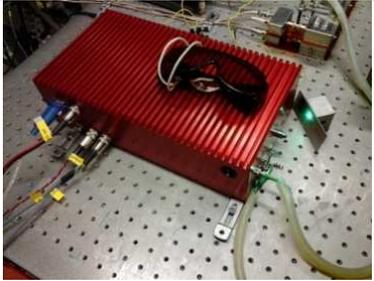
Cellule diode compacte -fibrée



Intégration opto-mécanique en cours

Transfert de stabilité 1542 nm \rightarrow 1030 nm

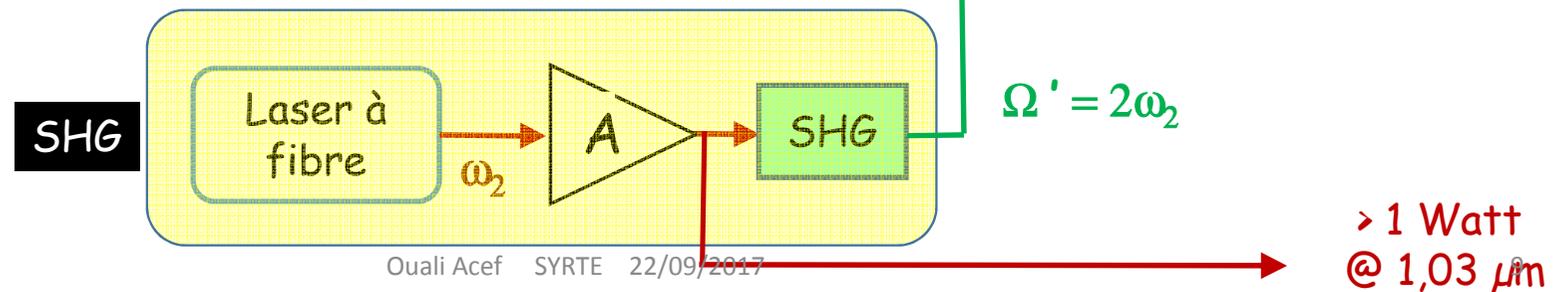
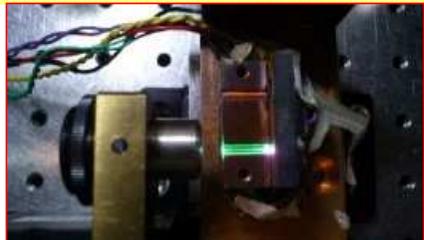
Diode Laser à 1542 nm
triplé en fréquence



On associe:

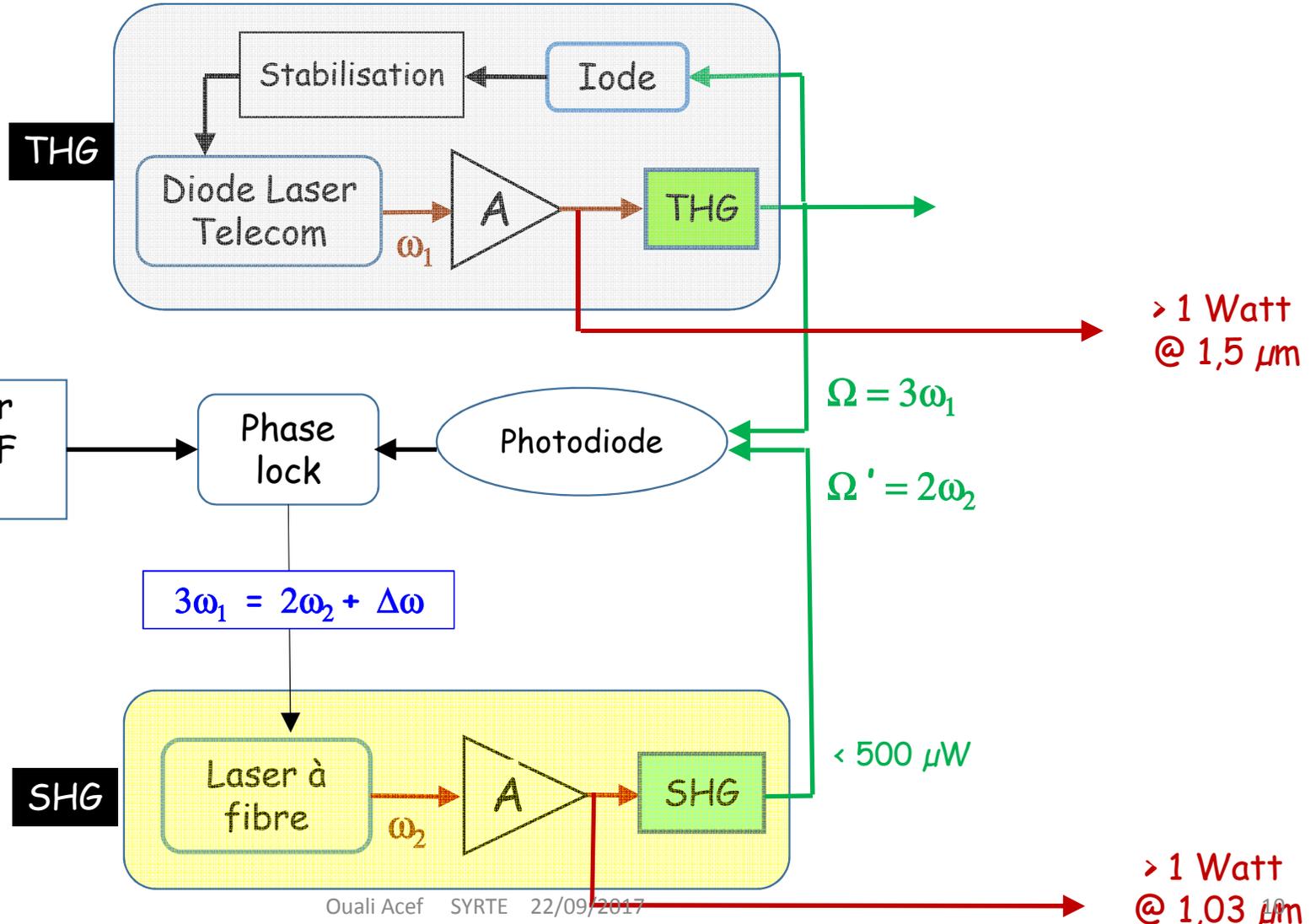
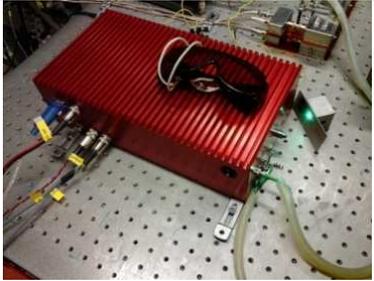
- Un laser Telecom à 1,5 μm triplé en fréquence
- Un laser à fibre à 1,03 μm doublé en fréquence

Laser à fibre à 1030 nm
doublé en fréquence

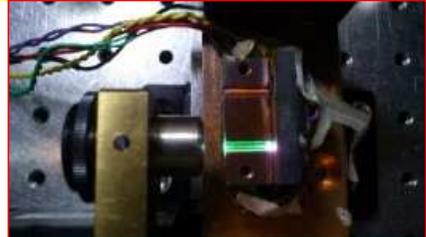


Transfert de stabilité 1542 nm → 1030 nm

Diode Laser à 1542 nm
triplé en fréquence



Laser à fibre à 1030 nm
doublé en fréquence



Laser 1,54 μm triplé en fréquence

+

Laser 1,03 μm doublé en fréquence

2936 OPTICS LETTERS / Vol. 39, No. 10 / May 15, 2014

Optical phase locking of two infrared continuous wave lasers separated by 100 THz

N. Chiodo,¹ F. Du-Burck,² J. Hrabina,³ M. Lours,¹ E. Chea,¹ and O. Acef^{1,*}

¹LNE-SYRTE, Observatoire de Paris/CNRS-UMR 8630/UPMC Paris VI, 61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France

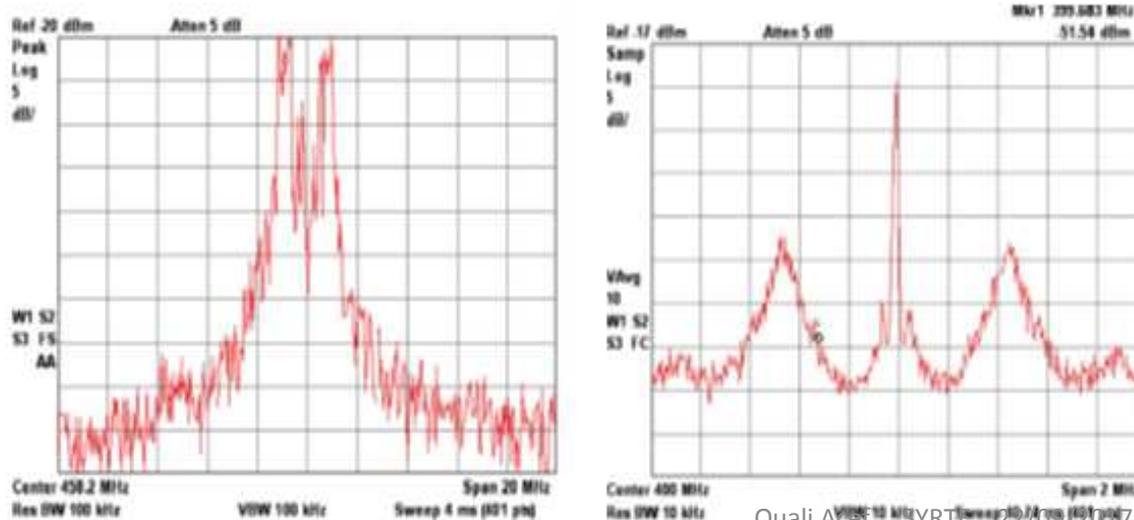
²LPL/CNRS-UMR 7538/Université Paris 13—Sorbonne Paris Cité, 99 avenue J. B. Clément, 93430 Villetaneuse, France

³Institute of Scientific Instruments of the ASCR, v.v.i., Královopolská 147, 61264 Brno, Czech Republic

*Corresponding author: ouali.acef@obspm.fr

Received December 20, 2013; revised March 28, 2014; accepted March 30, 2014;
posted April 11, 2014 (Doc. ID 203532); published May 9, 2014

We report on phase locking of two continuous wave IR laser sources separated by 100 THz emitting around 1029 and 1544 nm, respectively. Our approach uses three independent harmonic generation processes of the IR laser frequencies in periodically poled MgO:LiNbO₃ crystals to generate second and third harmonics of those two IR sources. The beat note between the two independent green radiations generated around 515 nm is used to phase lock one IR laser to the other, with tunable radio frequency offset. In this way, the whole setup operates as a mini-frequency comb emitting four intense optical radiations (1544, 1029, 772, and 515 nm), with output powers at least three orders of



$\lambda_1 \sim 1,54 \mu\text{m}$
 > 1 W

$\lambda_2 \sim 771 \text{ nm}$

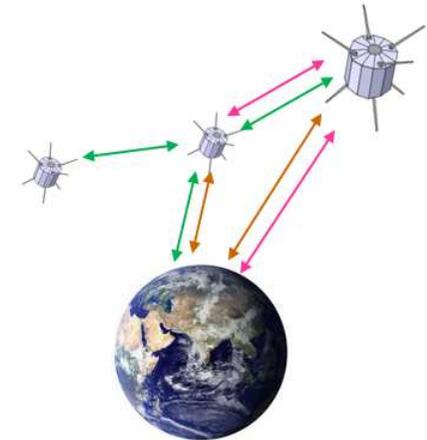


$\lambda_3 \sim 514 \text{ nm}$



$\lambda_4 \sim 1030 \text{ nm}$

 > 1 W

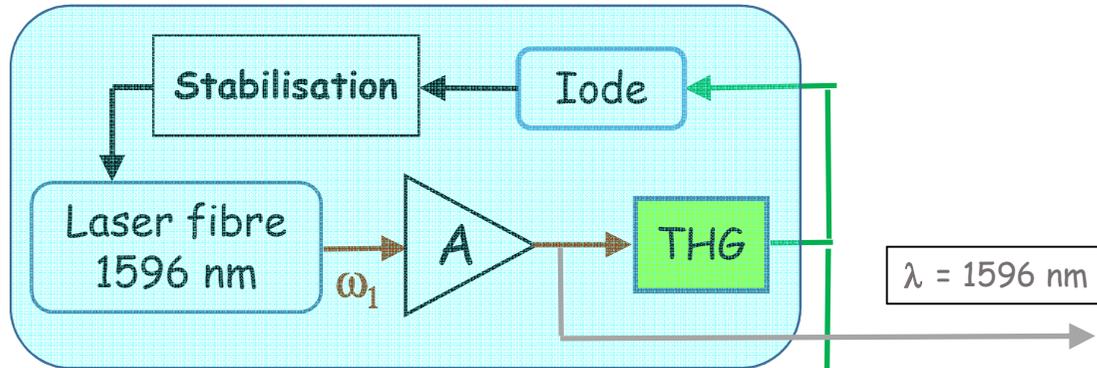


- Liens optiques longue distance (up/down),
- Télémétrie laser à multi- λ
-

N. Golubev et al., "Three-color optical range finding",
Appl. Optics, Vol. 33 N° 31, Nov. 1994.

Transfert de stabilité 1596 nm → 1064 nm

Source laser à 1596 nm
Largeur de raie ~ 1 kHz
Disponible



$\lambda = 1596 \text{ nm}$

$\Omega = 3\omega_1$

$\Omega' = 2\omega_2$

$< 500 \mu\text{W}$

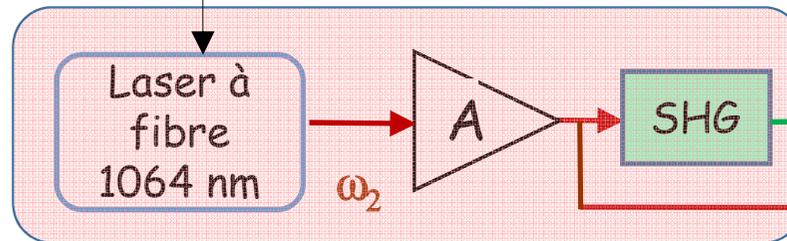
Synthétiseur
Fréquence RF
variable ($\Delta\omega$)

Phase
lock

Photodiode

$$3\omega_1 = 2\omega_2 + \Delta\omega$$

Simulation
compensation
Doppler entre
Les satellites



Proposition
de contribution
du SYRTE

$\lambda = 1064 \text{ nm}$
 $P > \text{Watt}$

sortie fibrée

Contribution possible du SYRTE:

- Source laser stabilisée en fréquence (300 Hz / $\sqrt{\text{Hz}}$ ou mieux) pour tests AIVT
- Dispositif fibré, compact et transportable
- Electronique numérique de commande intégrée dans le boîtier laser
- Longueur d'onde émise par le dispositif fibré $\lambda = 1064 \text{ nm}$ (+ 1596 nm)
- Puissance optique \sim 1 W à 1064 nm
- Fréquence accordable sur quelques dizaines de MHz
(si nécessaire pour tests compensation Doppler satellites)
- Electronique d'asservissement en phase/fréquence -bas bruit- développée
- Interfaces et spécifications à définir