

SPIRAL : Stabilisation de Pelgne de fRequences Auto-impulsionneLs

Amine Chaouche-Ramdane (doc), Pierre Grüning (Post-doc LABEX First-TF), Vincent Roncin (MCF, porteur de projet) et Frédéric Du-Burck (Pr)

Equipe Métrologie, Molécules et Tests Fondamentaux du **Laboratoire de Physique des Lasers**

Assemblée Générale du Labex First-TF
Talence, 8 et 9 juin 2017

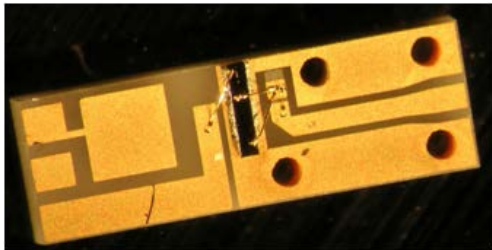
Plan de la présentation

- Le projet SPIRAL
 - Le peigne de fréquences compact MLLD, ses performances et les objectifs métrologiques
 - L'organisation du projet
 - La faisabilité des concepts, publications
- Les résultats scientifiques
 - Les cavités de transfert
 - Le transfert de stabilité
 - La stabilisation par injection optique

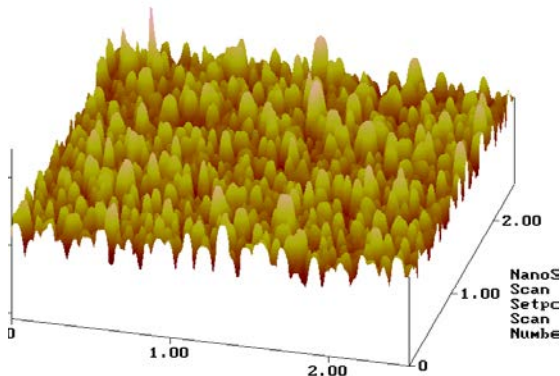
Les Composants

- Le laser auto-impulsionnel MLLD -> projet ANR ROTOR (application télécom -> récupération de rythme)

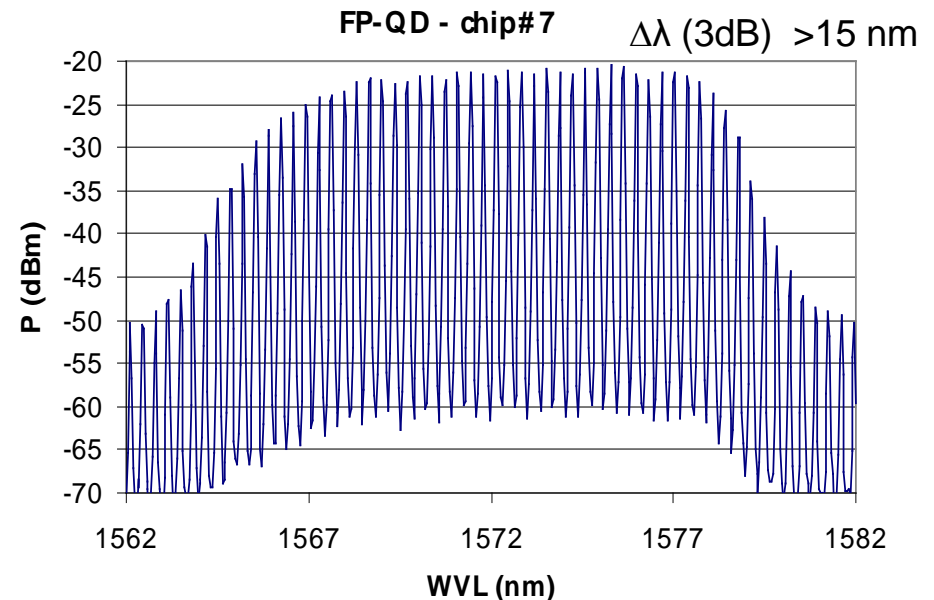
Compacité -> ISL > 10 GHz



-> Faible bruit des structures Q-dash



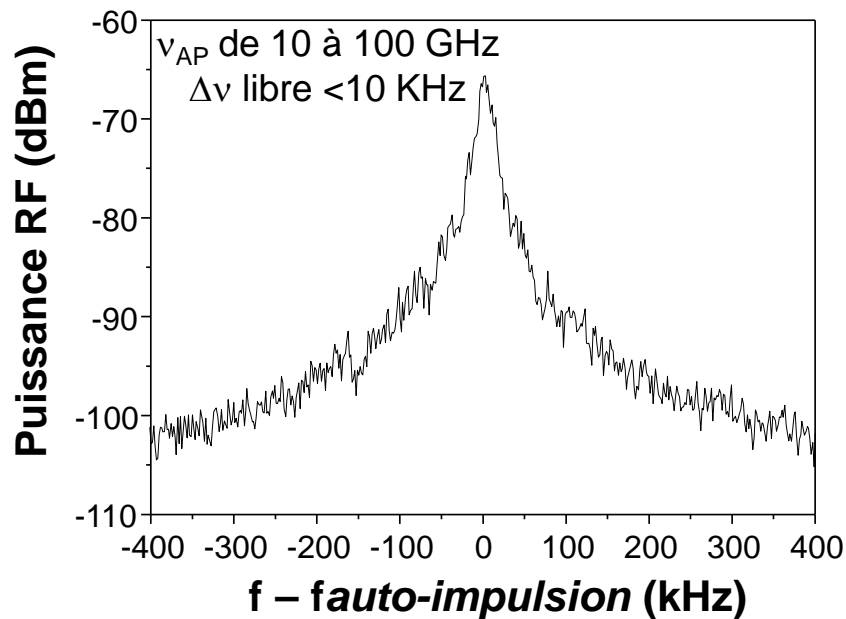
-> Peigne de fréquences (Fabry-Perot)



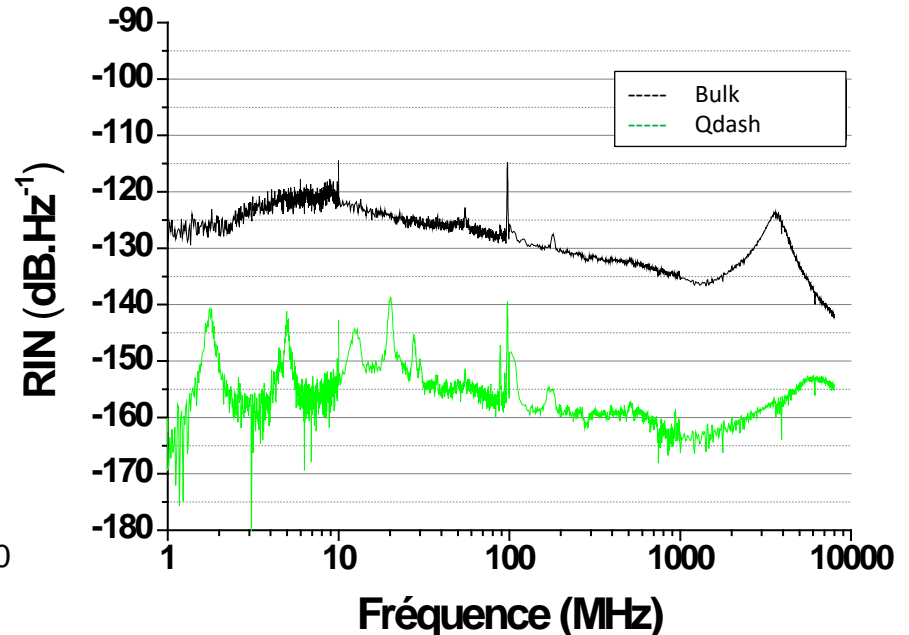
les propriétés

- Le laser auto-impulsionnel MLLD -> un peigne de fréquences compact (projet SPIRAL)

-> Bruit de phase corrélé (auto pulsation)



-> Bruit d'amplitude de l'ensemble des modes (partition noise)



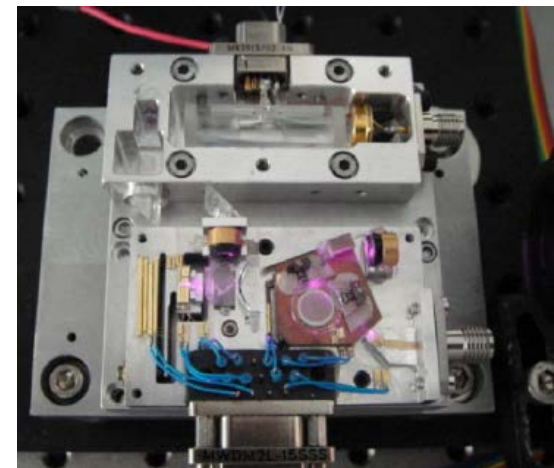
Les objectifs visés

- Transportabilité -> stabilisation sur référence moléculaire C₂H₂ en abs saturée < 10⁻¹² de 100 à 1000s [1]
- Transfert de stabilité de la référence vers le peigne de fréquences -> cavité de transfert
- Transfert de la stabilité sur tout le peigne par injection optique -> <10⁻¹² @ 1-100s
- Impact de la stabilisation sur la réduction du bruit de phase (collaboration Foton et TRT)
- Impact de la modulation RF (à f_{rep}) sur le jitter des impulsions (collaboration Foton et TRT)
- Dispositif transportable -> partie optique dans 1 rack 2U

-> Alternative aux Kerr Comb Oscillators [2]

[1] Ville et Al, "Fiber-based acetylene-stabilized laser." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 58.4, 1211-1216, (2009).

[2] A. Savchenkov, D. Eliyahu, W. Liang, V. S. Ilchenko, J. Byrd, A. B. Matsko, D. Seidel, and L. Maleki, "Stabilization of a Kerr frequency comb oscillator," *Opt. Lett.* 38, 2636-2639 (2013)



Savchenkov Opt.Lett. 2013

Organisation du projet

- Un soutien déterminant du Labex First-TF

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Période	2014-2016	2016-2017	2017-2018
Equipement Labex	34 k€	9 k€	21 k€
Manpower Labex	1 post-doc + env.	-	1 post-doc + env.
Autres aides	1 Thésard (ED)	21 k€ (GRAM, CE-CNRS)	ANR?
Dépenses	Achat matériel et montage des manip	Validation de l'ensemble des concepts (sauf référencement sur C2H2 en AS)	Vers un peigne de fréquences métrologique transportable de stabilisé $< 1.10^{-12}$ jusqu'à 1000s...

-> Démarrage du projet au sein du LPL: soutien déterminant du Labex

Aujourd'hui ...

Validation des concepts

Démonstrations de faisabilité :

- Transfert de stabilité de la référence HCN à 1549 nm via la cavité de transfert
- Stabilité du battement entre deux ECLD verrouillées sur deux modes de la cavité de transfert / un mode de deux cavités
- Une cavité de transfert transportable « tout-fibrée »
- Transfert de stabilité sur 116 nm avec une cavité de transfert à fibre
- Réduction de la largeur de raie des modes d'un laser MLLD par injection optique
- Transfert de stabilité sur le peigne de fréquences

Partenaires du projet

III-V Lab (A. Shen , G-H Duan)

Intérêt : Porteuses multifréquences stabilisées comme transmetteur cohérent en photonique intégrée

Interactions : échange de composants (lasers, sources de courant bas bruit)

Foton (P. Besnard, P. Féron)

Intérêt : Référencement et stabilisation de sources laser (nouveau projet)

Interactions : Banc de mesure de bruit de phase RF et gigue temporelle du peigne

TRT (L. Morvan, P. Berger)

Intérêt : Stabilité long terme d'oscillateurs micro-ondes compacts et transportables (battement entre 2 modes du peigne)

-> Demande ANR : projet TEOFIL pour « Transmetteurs efficaces en énergie et oscillateurs locaux radio-fréquence à faibles bruits à base de sources laser peigne de fréquences »

Publications du projet

- P. Grüning et al., “All-Fiber-Ring-Cavity for Frequency Stability Transfer at 1.55 μm ”, Soumission en cours à Optics Letter
- A. Chaouche Ramdane et al., « Compact Metrological Frequency Comb Stabilized with Optical Injection Locking Assisted by Long-term Optoelectronic Correction,» CLEO EUROPE 2017 / Novel sensing schemes, CH-4 Oral presentation
- A. Chaouche Ramdane et al., « Frequency Stability Transfer by Optical Injection Locking into a Semiconductor Frequency Comb,» EFTF 2017 / Optical Frequency Standards and Applications II Poster session C3P-L
- A. Chaouche Ramdane et al., « Stability transfer at 1.5 μm for metrological applications using a commercial optical cavity”, Applied Optics, 56(1), 8-14, (2017)
- P. Gruning et al., «Stabilisation et réduction de la largeur de raie d’un laser accordable autour de 1,55 μm avec une cavité en anneau fibrée et référencée», Journées Nationales d’Optique Guidées , Optique Bordeaux 2016, 4 et 7 juillet 2016
- A. Chaouche Ramdane « Transfert de stabilité au moyen d’une cavité», COLOQ, 4 - 7 juillet 2016, Bordeaux
- A. Chaouche Ramdane et al., « Stabilisation d’un peigne de fréquences issu d’un laser Fabry-Pérot à semiconducteurs à base de bâtonnets quantiques », OPTIQUE BRETAGNE 2015, RENNES 6 – 9 juillet 2015
- A. Chaouche Ramdane et al., «Premiers résultats sur la réduction de la largeur des modes optiques de lasers auto-impulsionnels à base de semiconducteurs à 1,55 μm », 34 èmes Journées Nationales d’Optique Guidée (JNOG2014) Nice 29 – 31 octobre 2014

2017

2016

2015

2014

Remerciements

- Au LPL :

Carole Grangier, Solen Guezennec et Maryse Médina (Finances et administration)

Haniff Mouhamad, Fabrice Wiotte (Atelier électronique)

Stéphane Simonazzi et Marc Barbier (informatique)

Min Lee, Anne Amy-Klein, Benoît Darquié, Olivier Lopez (les chercheurs)

Olivier Gorceix (le directeur)

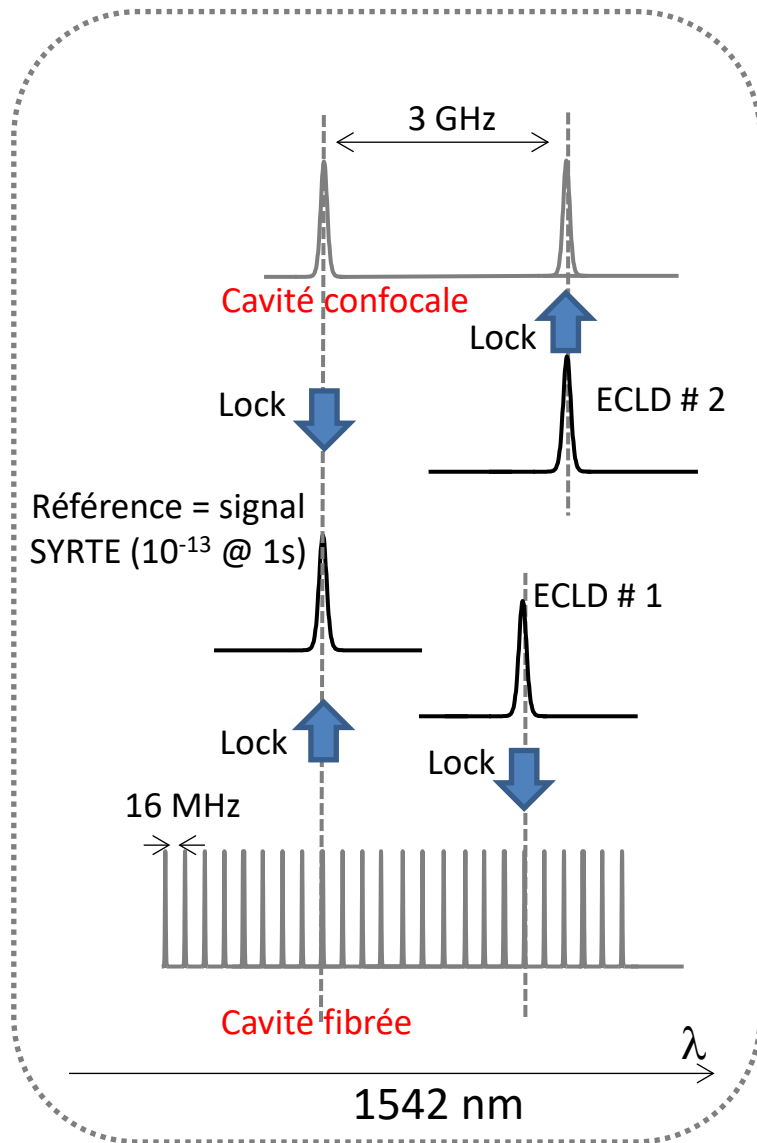
- Au SYRTE

Marine Pailler, Paul-Eric Pottie, Giorgio Santarelli et Noël Dimarcq

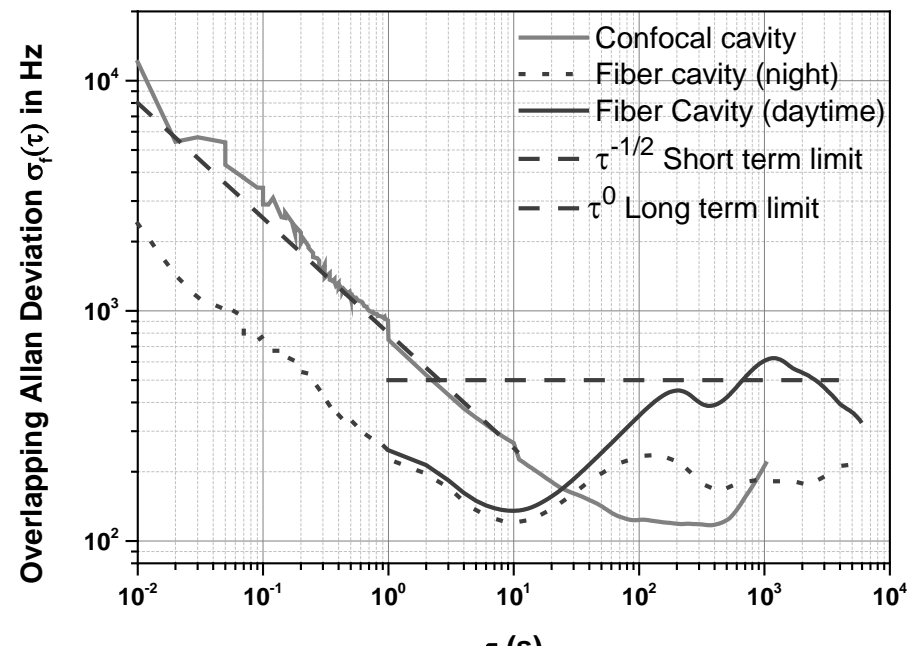
Plan de la présentation

- Le projet SPIRAL
 - Le peigne de fréquences compact MLLD, ses performances et les objectifs métrologiques
 - L'organisation du projet
 - La faisabilité des concepts, publications
- Les résultats scientifiques
 - Les cavités de transfert
 - Le transfert de stabilité
 - La stabilisation par injection optique

Les cavités de transfert

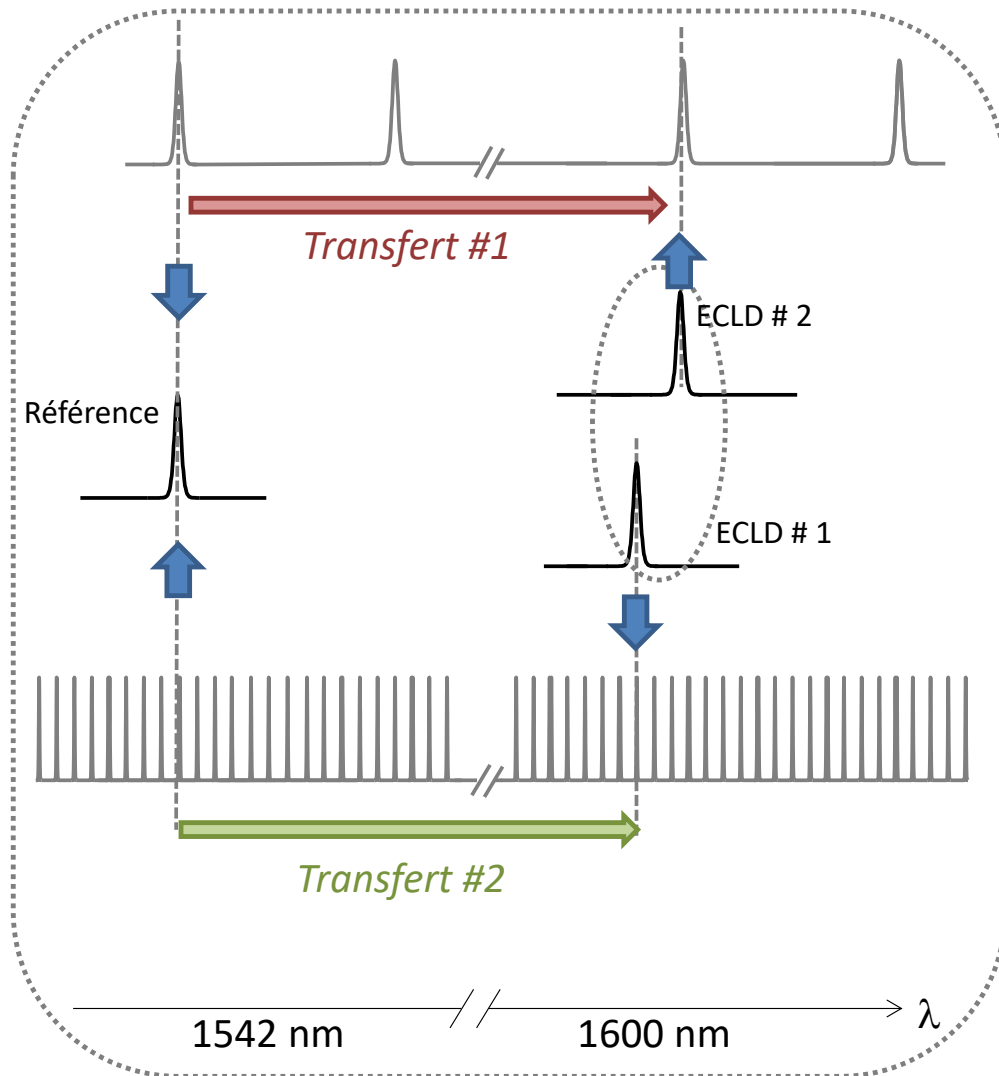


- Cavité confocale : résolution 5 MHz, plus stable thermiquement et mécaniquement ($7 \cdot 10^{-13}$ à 100 s)
- Cavité fibrée (anneaux) : résolution 800 kHz, plus compacte mais plus sensible aux temps longs ($7 \cdot 10^{-13}$ à 10 s)
- Sensibilité à l'environnement des cavités différente (thermique et acoustique)

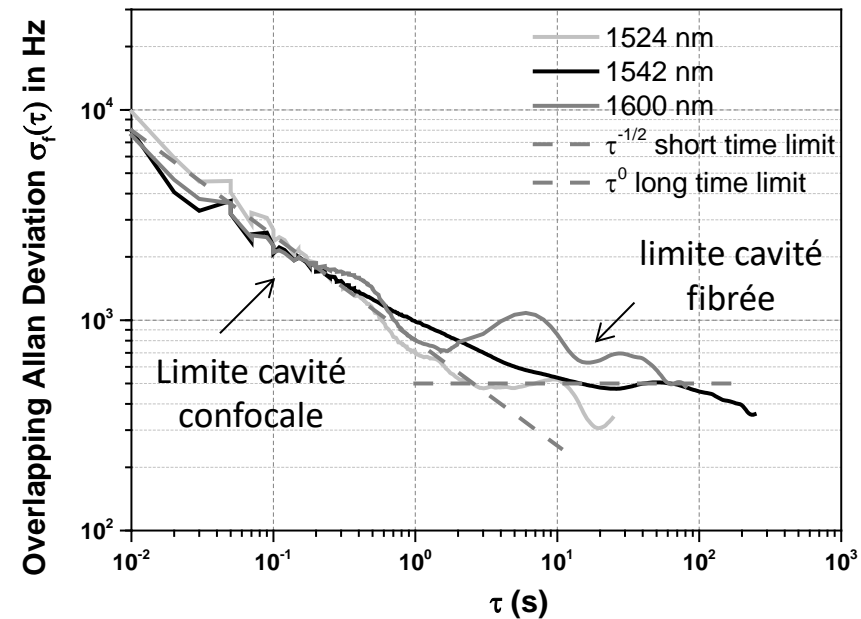


-> limitation asservissements sur les cavités

Le transfert de stabilité



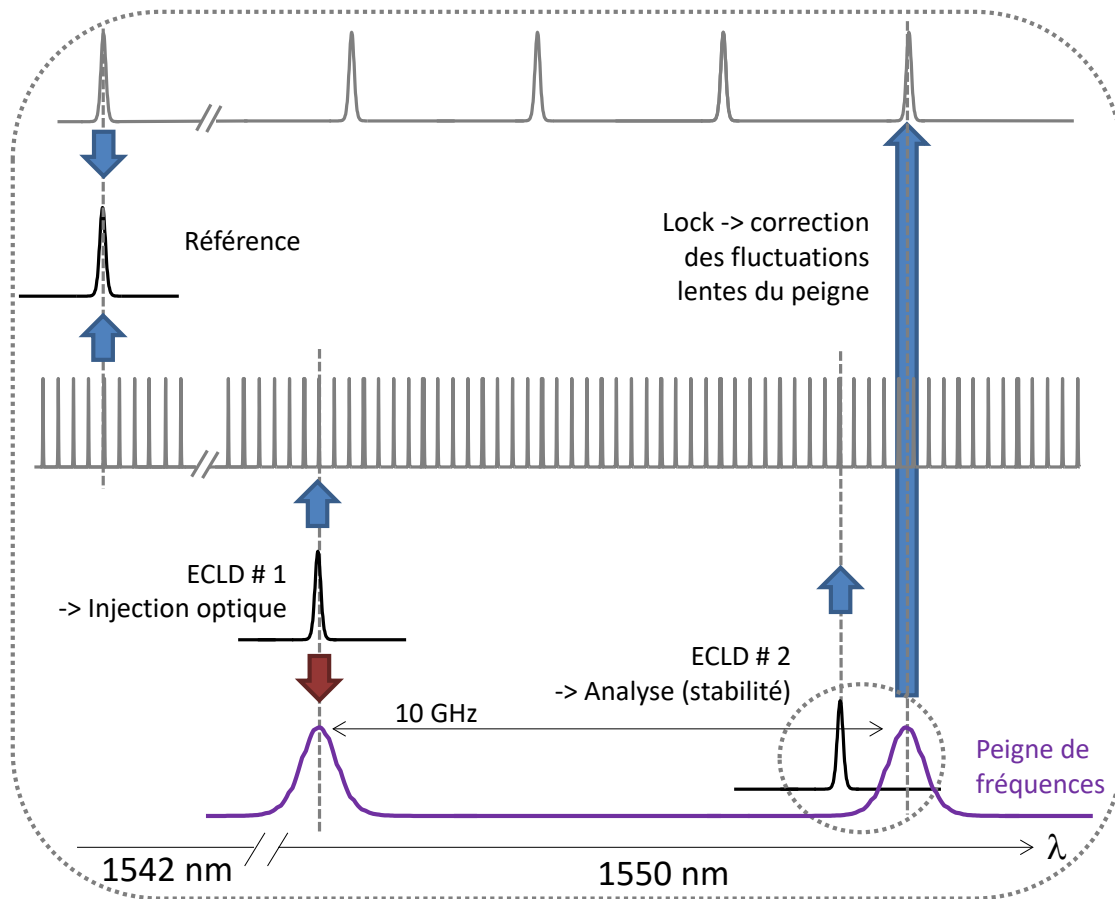
- Accordabilité ECLD sur 80 nm -> transfert maximum mesuré sur 116 nm
- On atteint la limite plancher des cavités sans transfert $2 \cdot 10^{-12}$ à 100 s



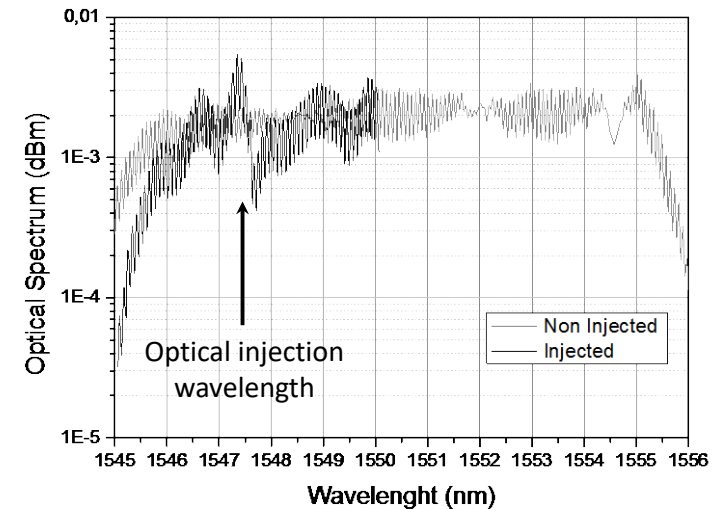
-> limitation asservissements sur cavités (pas par le transfert)

La stabilisation par injection optique

- Premiers résultats de stabilisation des modes du peigne par injection optique

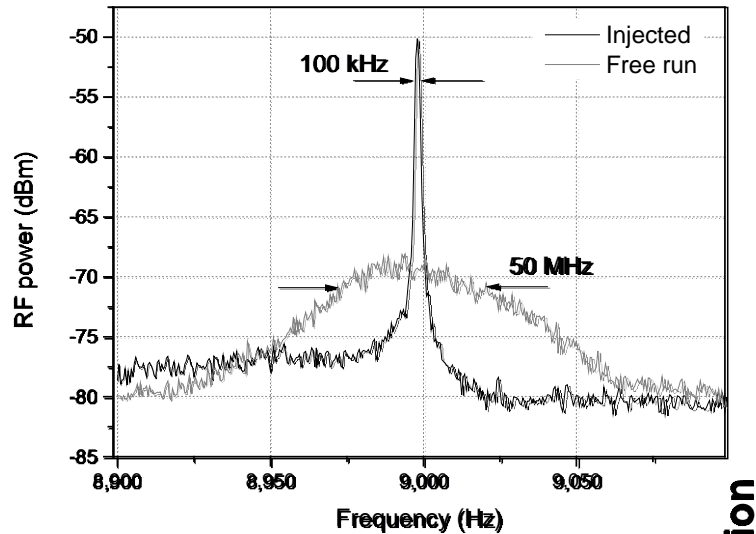


- Forte distorsion du spectre
- Pré-stabilisation d'un mode optique sur la cavité confocale (pour stabiliser l'injection)



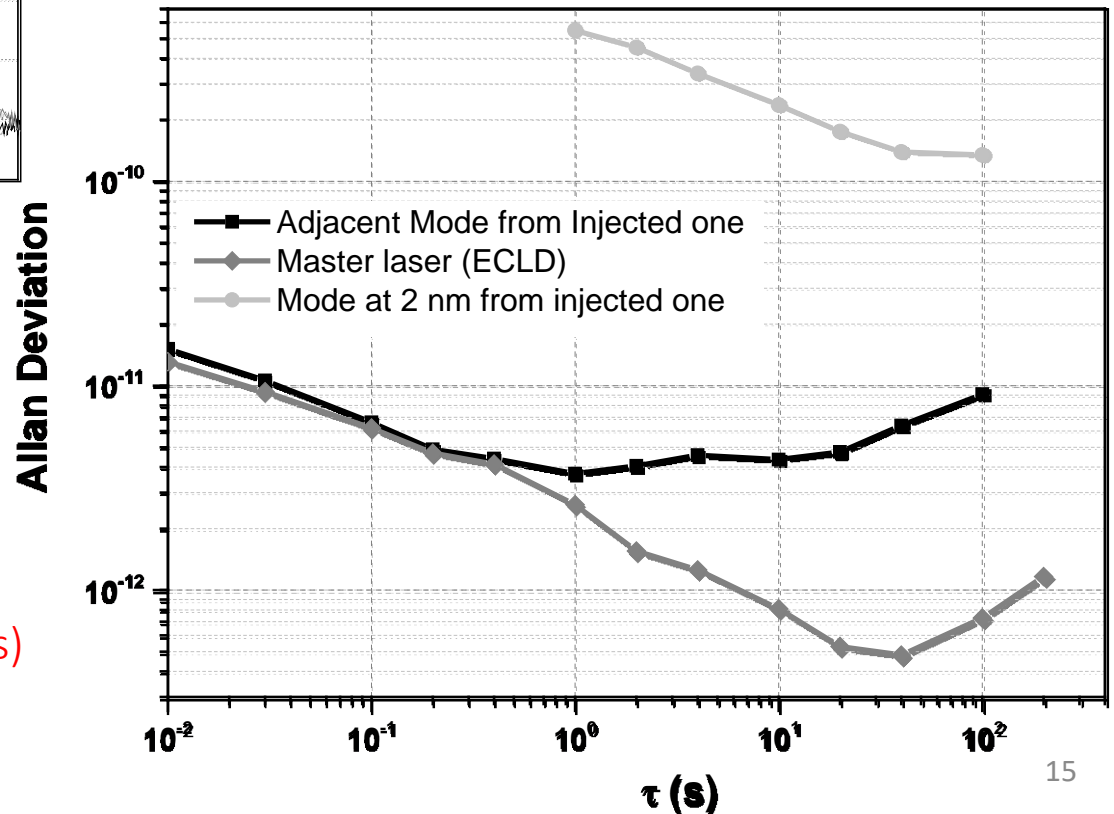
La stabilisation par injection optique

- Premiers résultats de stabilisation des modes du peigne



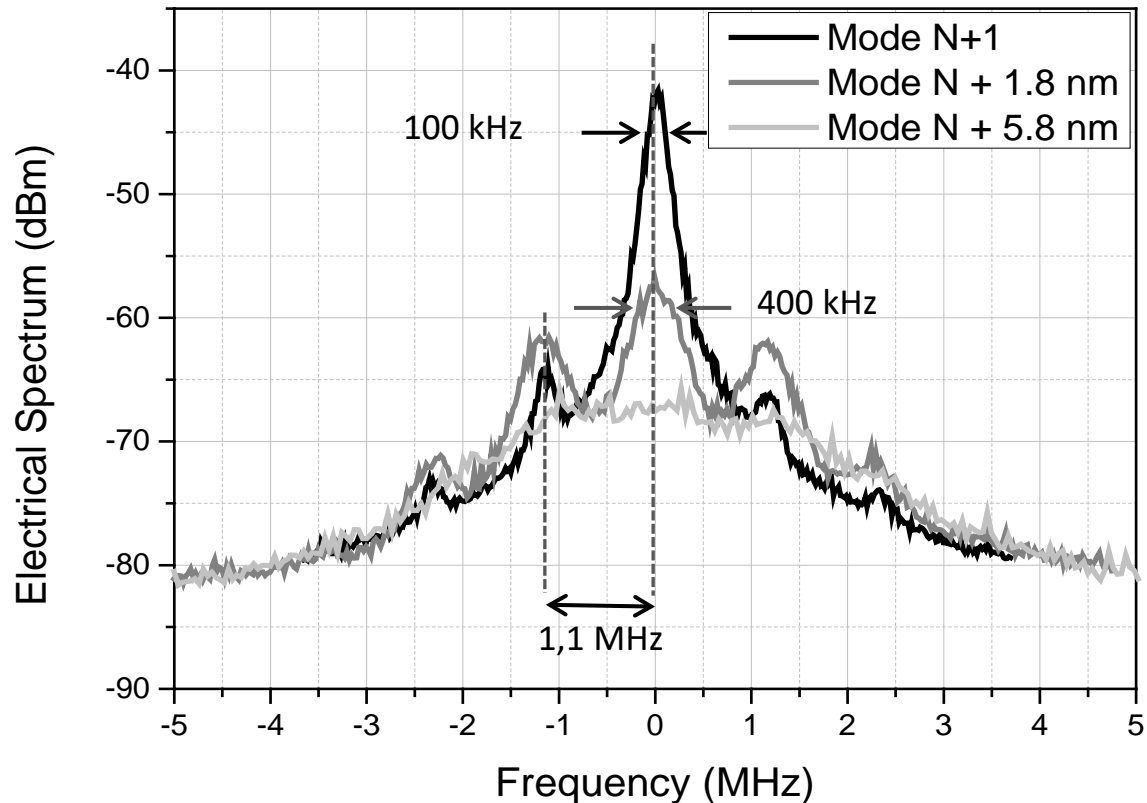
- Transfert de la pureté spectrale du laser d'injection au mode injecté
- Réduction de la largeur des modes d'un facteur 1000

-> Transfert de la stabilité du laser maître au mode voisin du mode injecté (quelques 10^{-12} jusqu'à 100 s)



La stabilisation par injection optique

- Premiers résultats du transfert de stabilité de la référence à tous les modes du peigne



- Elargissement des modes éloignés du mode injecté

Amélioration du transfert : -> modulation RF de la densité de porteurs du laser à la fréquence de répétition du peigne de fréquences

Conclusion

- Démonstration de faisabilité du projet
- Nécessité d'une référence transportable stable (point délicat)
- L'étude métrologique démarre (nouvelle salle de manip au LPL, dédiée)
- Amélioration des asservissements
- Amélioration des cavités de transfert (meilleure résolution)