



Dissémination d'une référence de fréquence optique ultra-stable sur le réseau fibré de télécommunications

Sources lasers ultrastables

A. Amy-Klein

Equipe Métrologie, Molécules et Tests Fondamentaux, Laboratoire de Physique des Lasers, Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité

Collaboration avec LNE-Syrté, Observatoire de Paris, sur les liens optiques

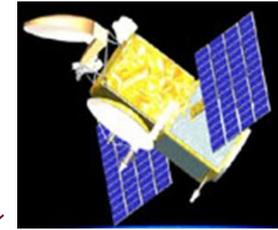


Enjeu : transfert longue distance d'une référence de fréquence

- Référence de fréquence optique ou RF
stabilité (1s) $\leq 10^{-15}$ et exactitude $\leq 10^{-16}$

- Liens satellitaires
 - GPS ou lien 2 voies ...
 - 10^{-11} (1s) - 10^{-15} (1 jour)

- Horloge compacte transportable
 - Beaucoup moins performantes que les fixes



100 à 1000 km



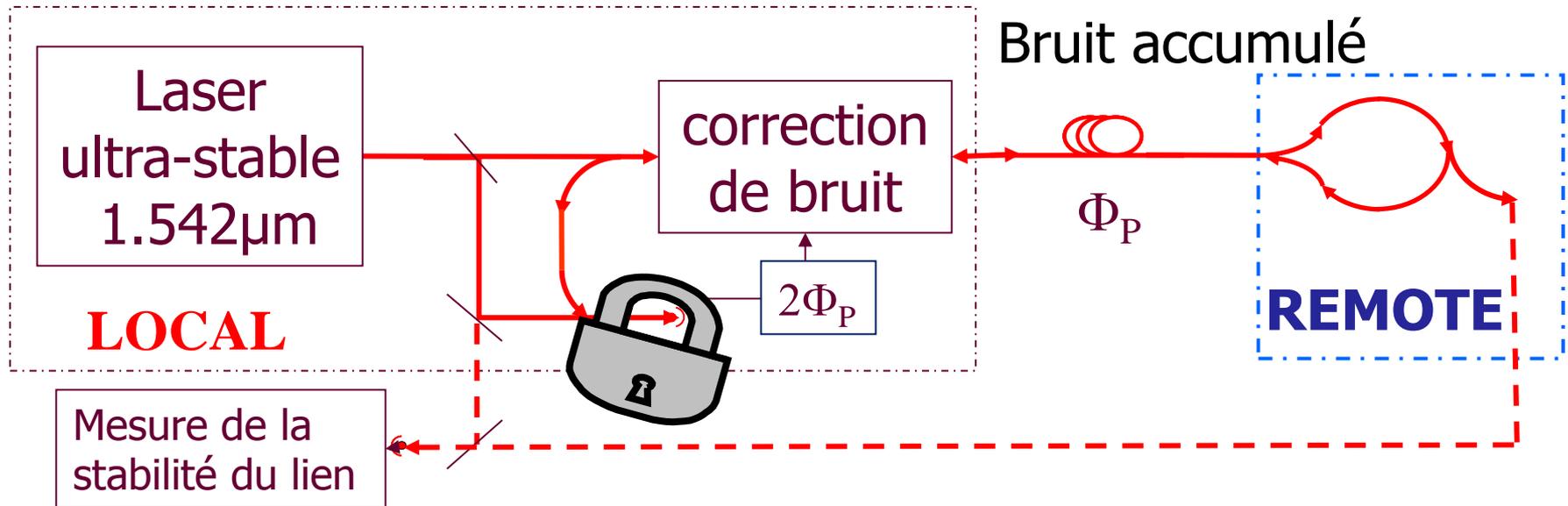
Transfert de fréquence par fibre optique

- Fort développement ces 10 dernières années
 - USA, Japon, Allemagne...
 - Transfert fiable sur des distances de 100-200 km
- Collaboration LPL et LNE-SYRTE (Observatoire de Paris)
 - Transfert RF (100 MHz à 10 GHz)
 - Transfert optique (laser ultrastable 1,542 μm)
- Collaboration avec GIP RENATER



Principe d'un lien optique

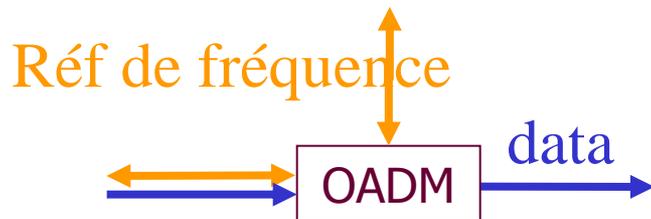
- Fluctuation du temps de propagation du signal
- Compensation de ce bruit avec une méthode d'aller-retour



- Démonstration avec 2 fibres parallèles
- Hypothèse: symétrie du parcours aller retour

Stratégie pour un réseau

- Transfert de la référence de fréquence sur le réseau internet
 - Multiplexage en longueur d'onde
 - **Besoin d'un canal de fréquence et non plus d'une fibre dédiée !**
- Collaboration avec RENATER : Réseau National de télécommunications pour la Technologie, l'Enseignement et la Recherche
- OADM (optical add drop multiplexer)



- Commercial (filtres 100 GHz)
- Pertes < 1dB, Isolation > 25 dB
- Bidirectionnel

Structure d'un lien optique multiplexé

Point clé : assurer une propagation bidirectionnelle et continue (pour la correction du bruit)

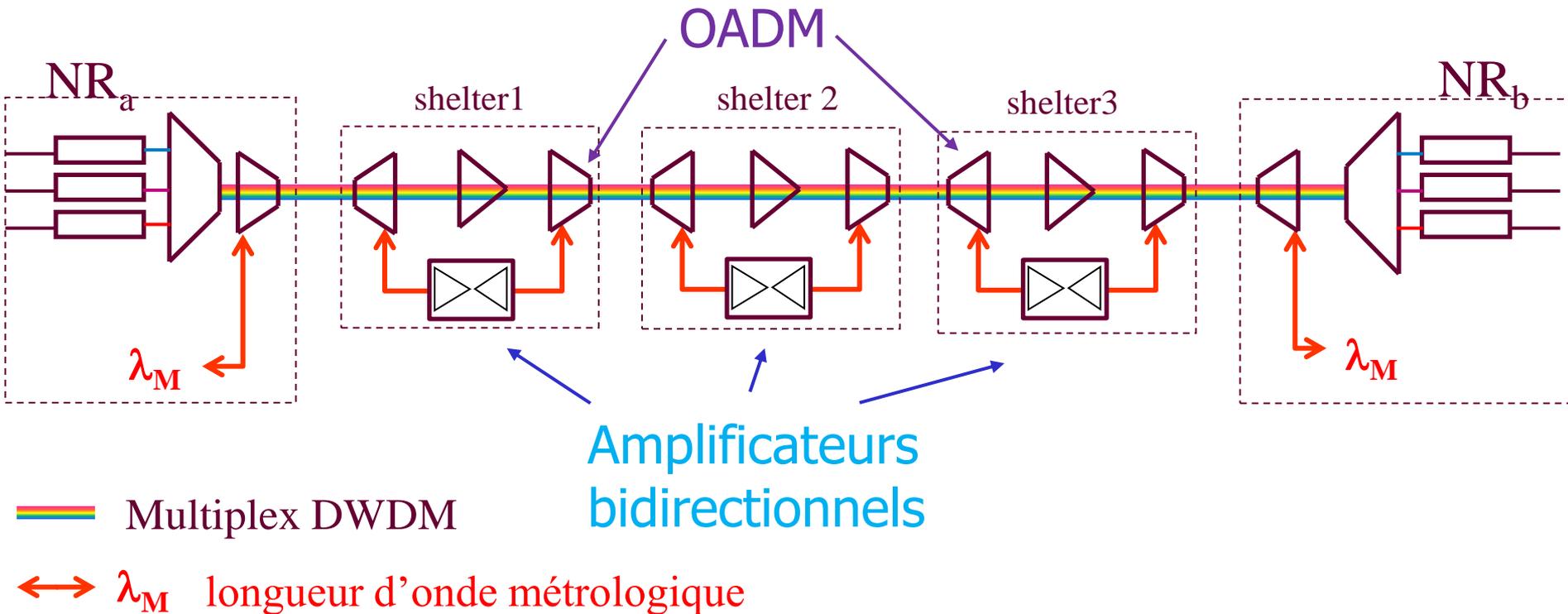
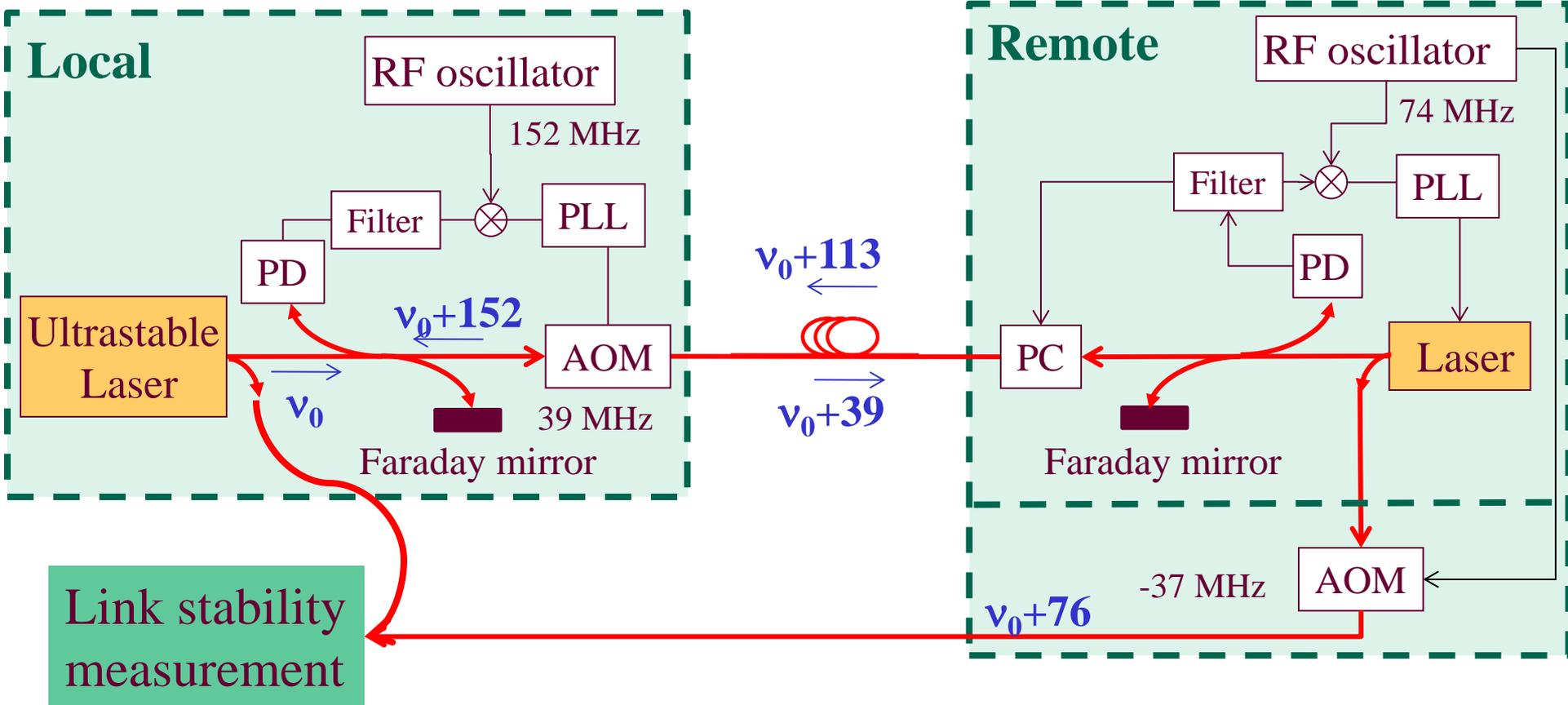
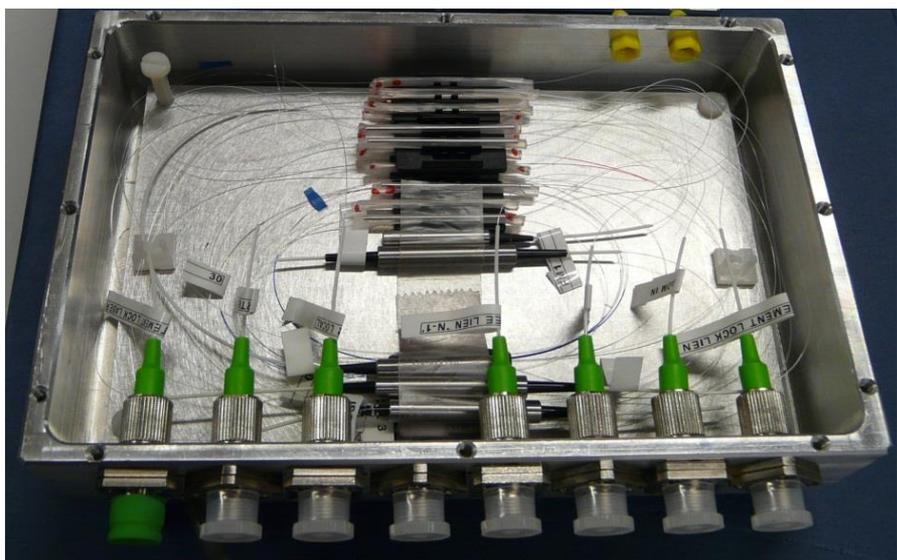
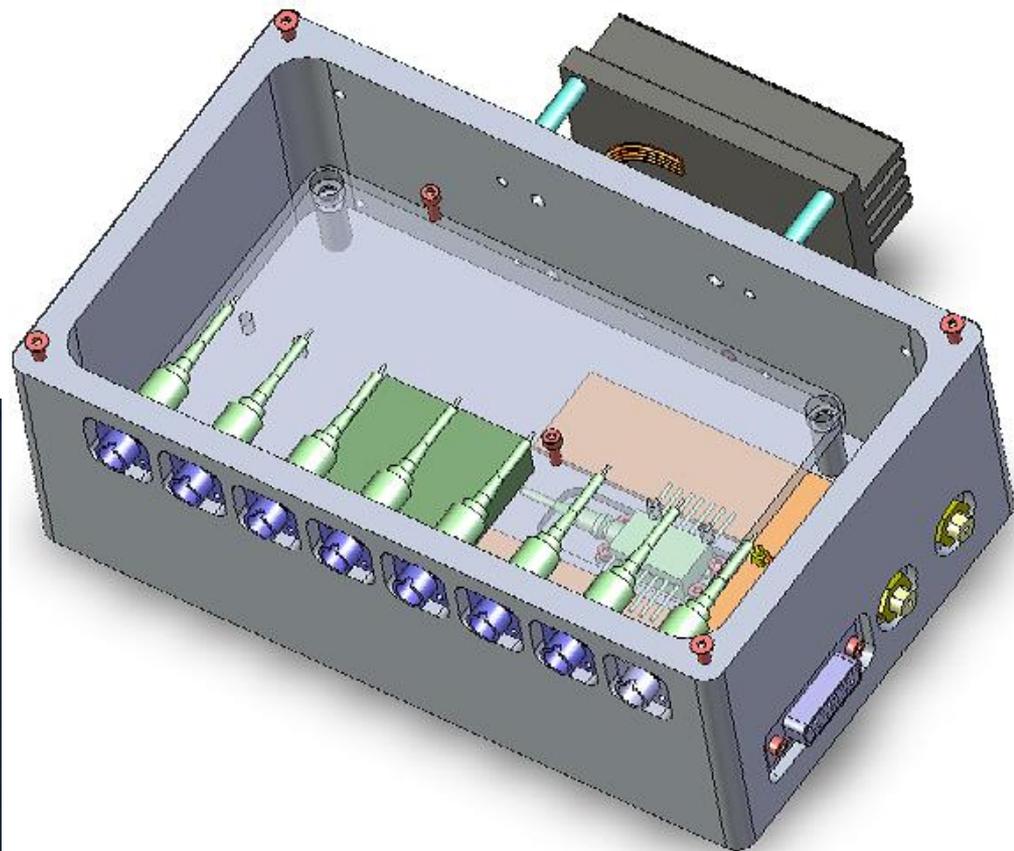


Schéma d'un lien optique complet

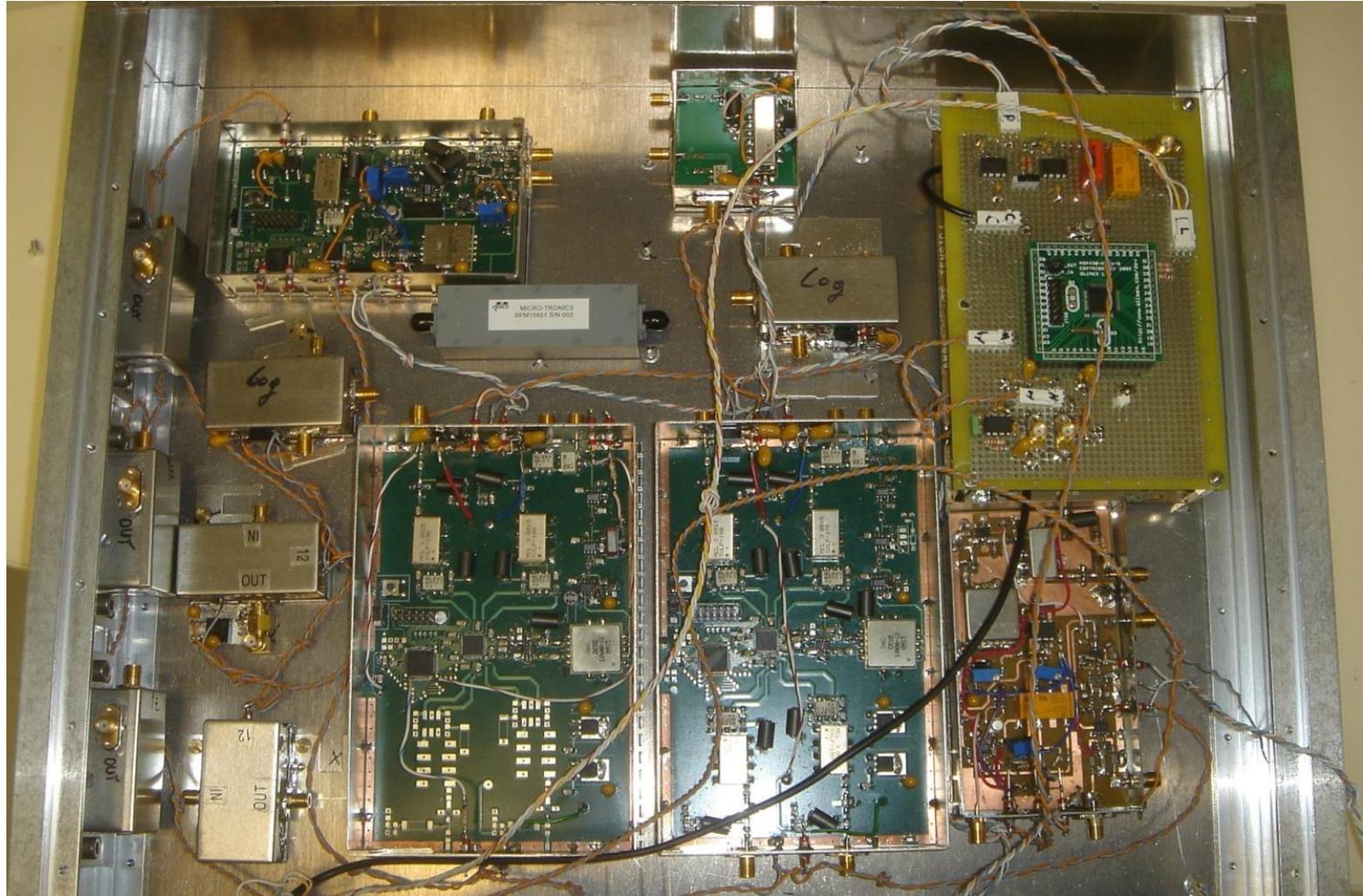


- Station automatique, régénération optique (boucle à verrouillage de phase)
- Contrôle automatique de polarisation

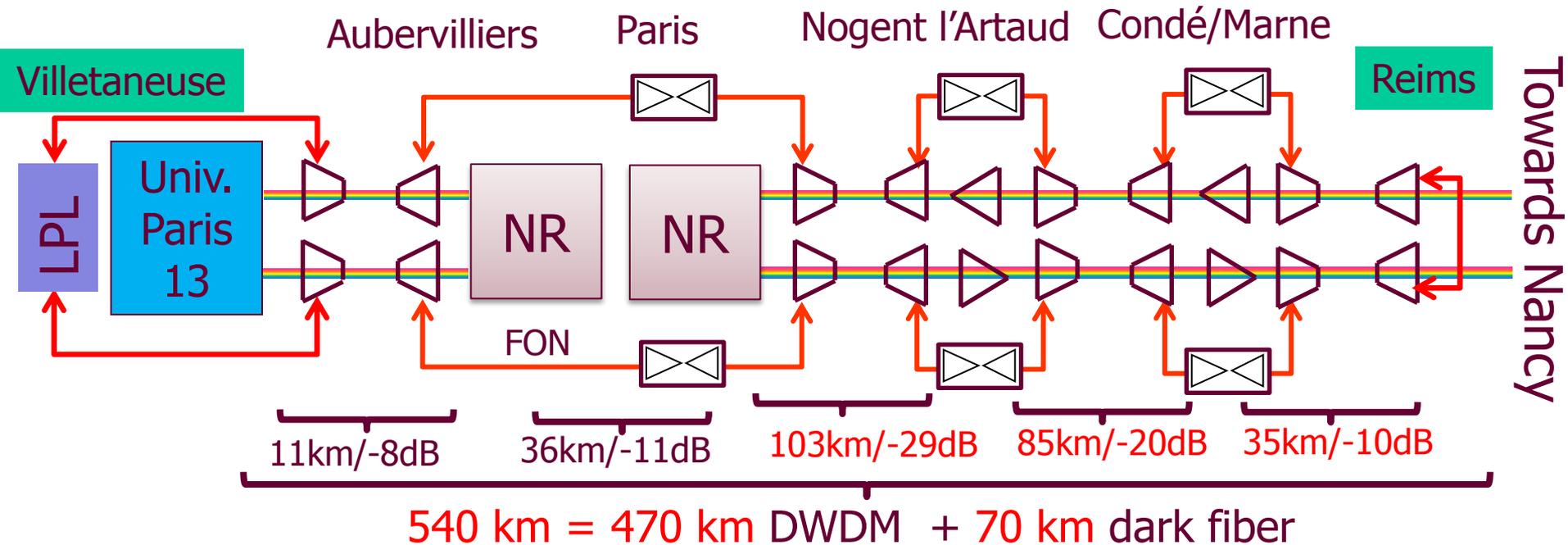
Module optique



Module électronique

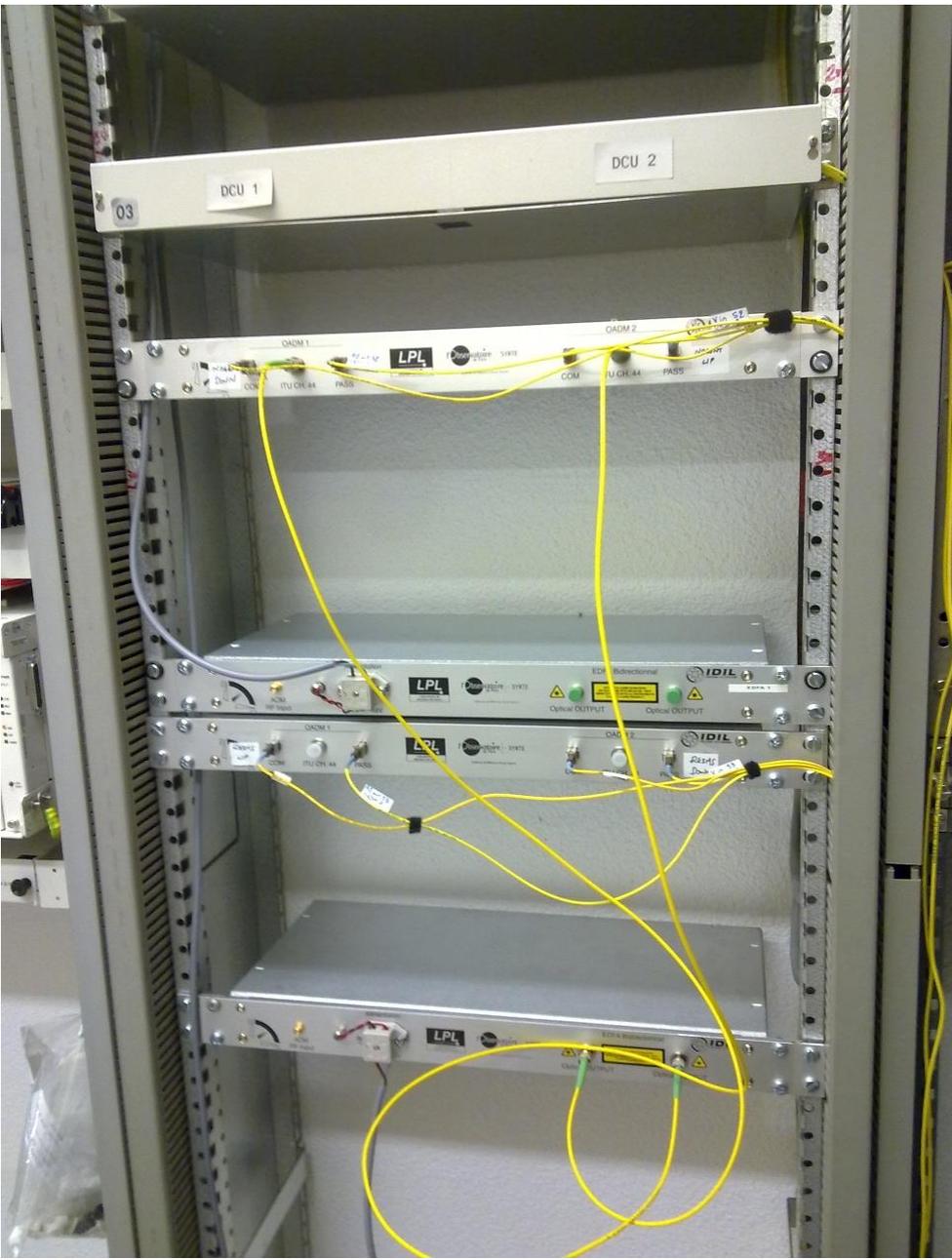


Lien optique LPL-Reims-LPL

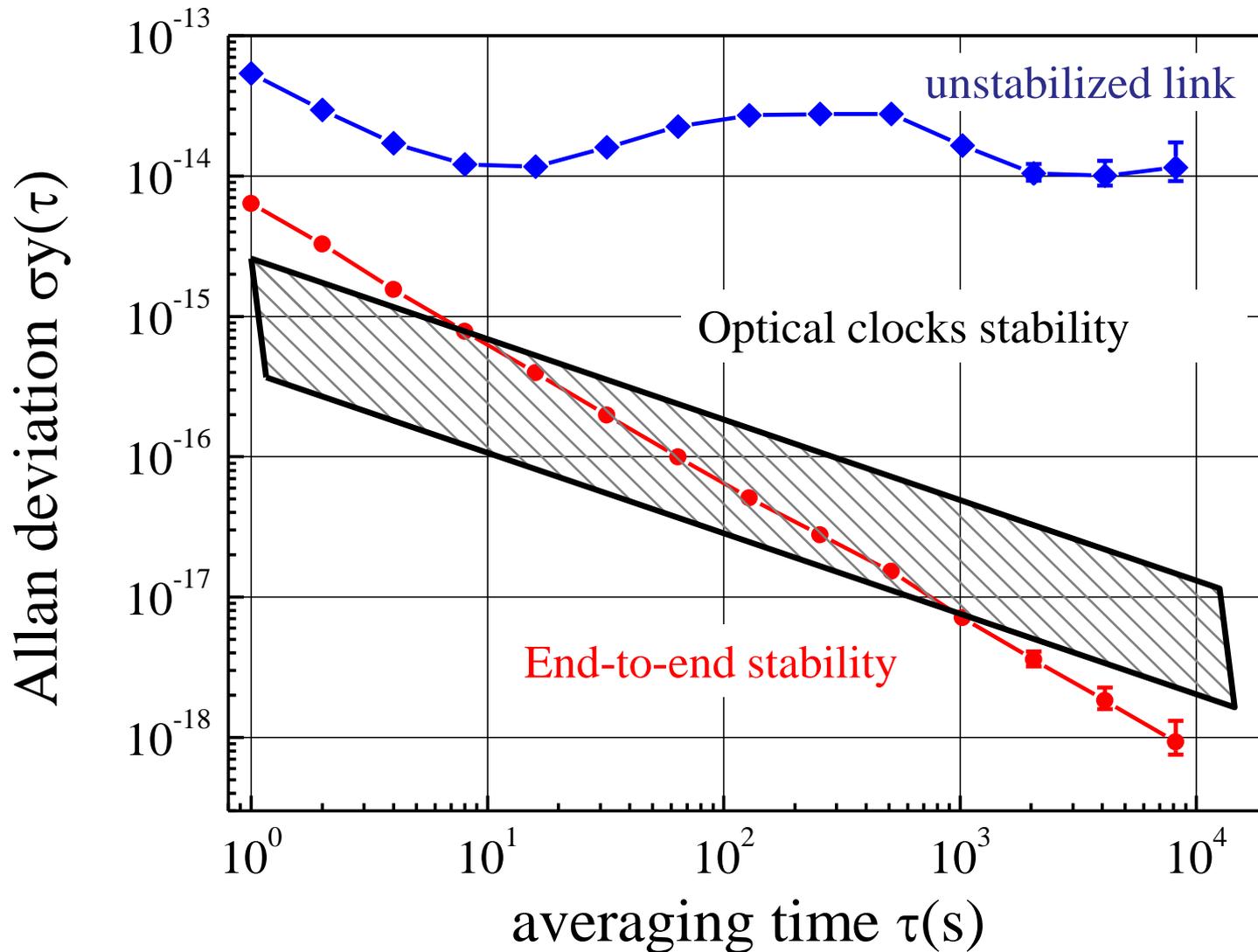


- 16 OADMs
- Atténuation aller > 150 dB 6 EDFA bidirectionnels (gain ~ 100 dB)

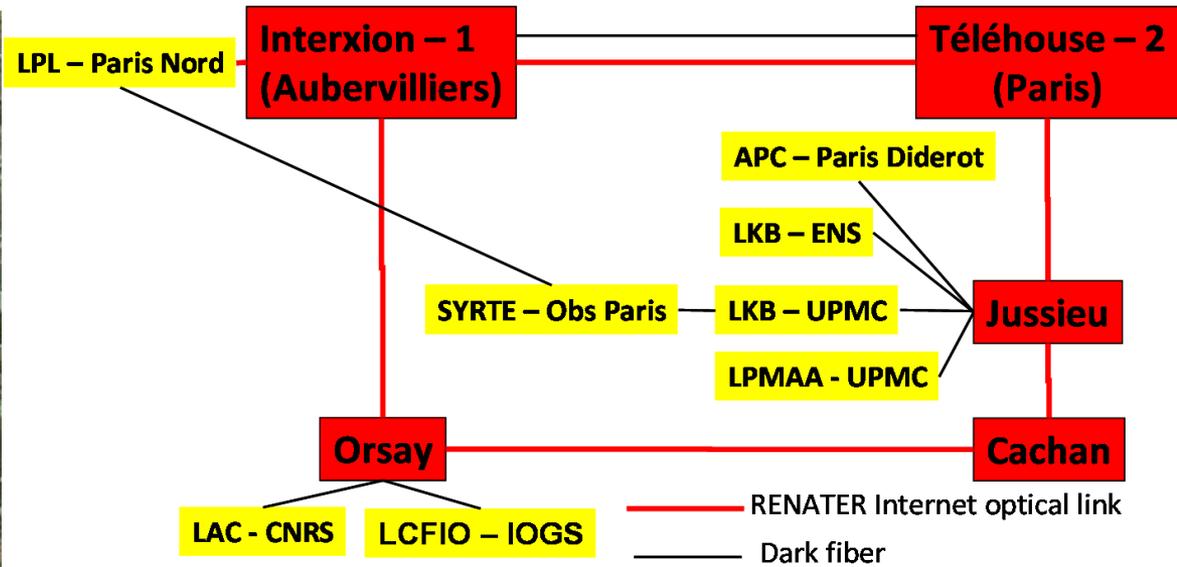
OADM et
amplificateurs
EDFA
à Condé/Marne



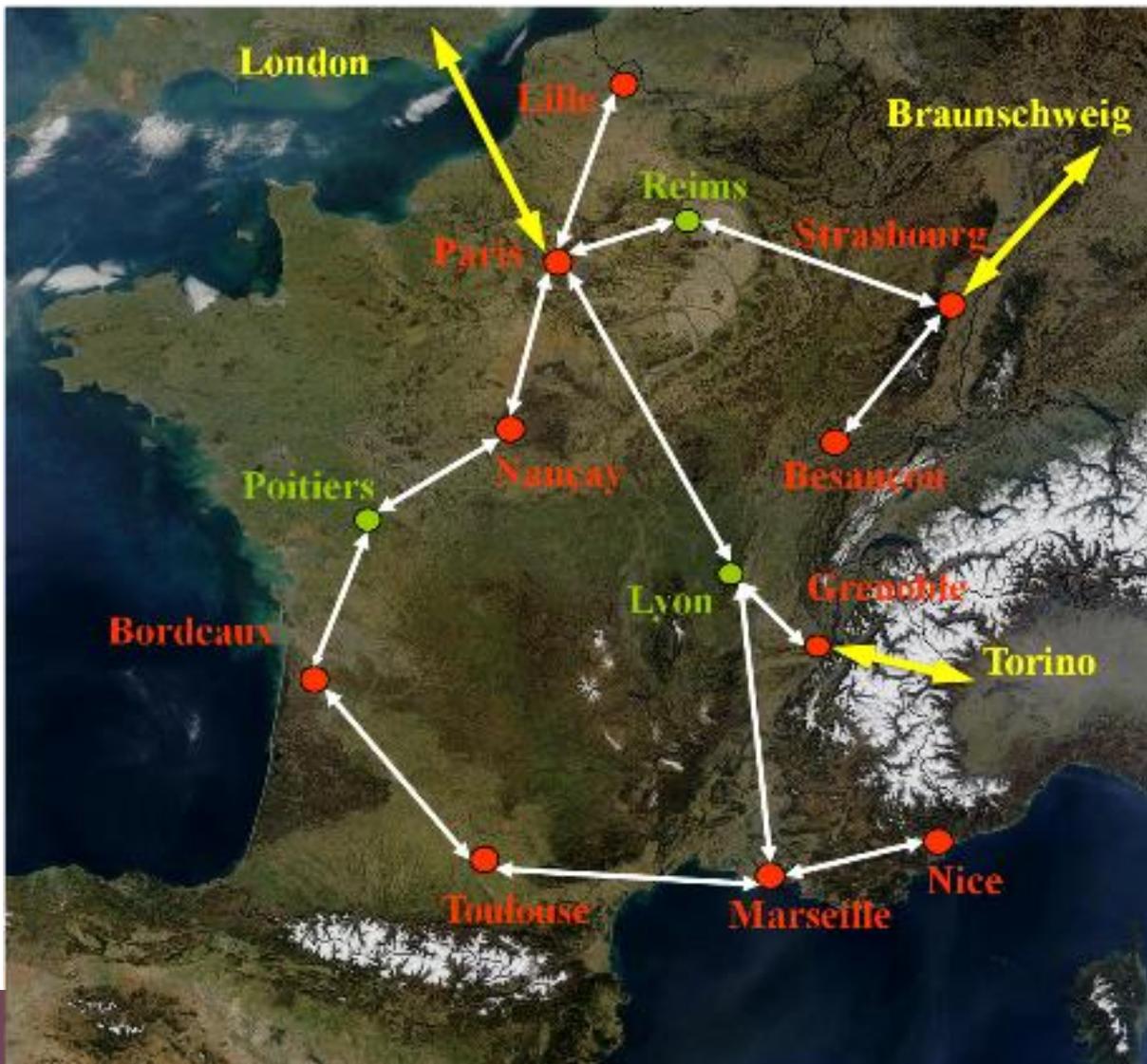
Stabilité de fréquence sur 540 km



Développement d'un réseau francilien



Réseau Fibré Métrologique à Vocation Européenne – REFIMEVE+



PI : C. Chardonnet, LPL
Budget : 6,7 M€ sur 8 ans
Partenaire : IDIL

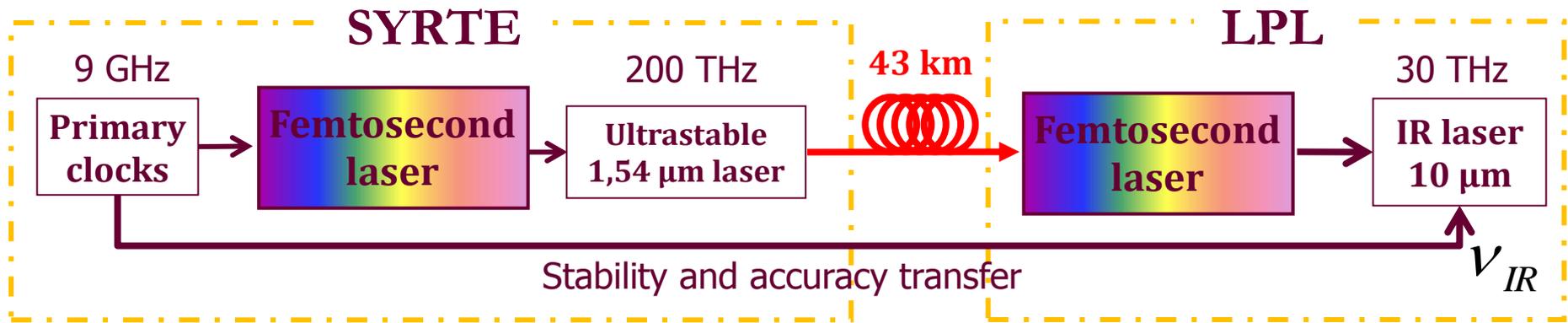
115 Racks OADM
38 Stations Réseau
83 Ampli. bidirectionnels
10 Extracteurs
8 Stations lien court
8 modules "arrivée lien court"

Applications scientifiques

- Comparaisons d'horloges
 - test et amélioration des horloges
- Mesures de très haute sensibilité, tests de physique fondamentale
- Synchronisation d'antennes en astrophysique
- Synchronisation de signaux dans les accélérateurs
- Transfert de temps

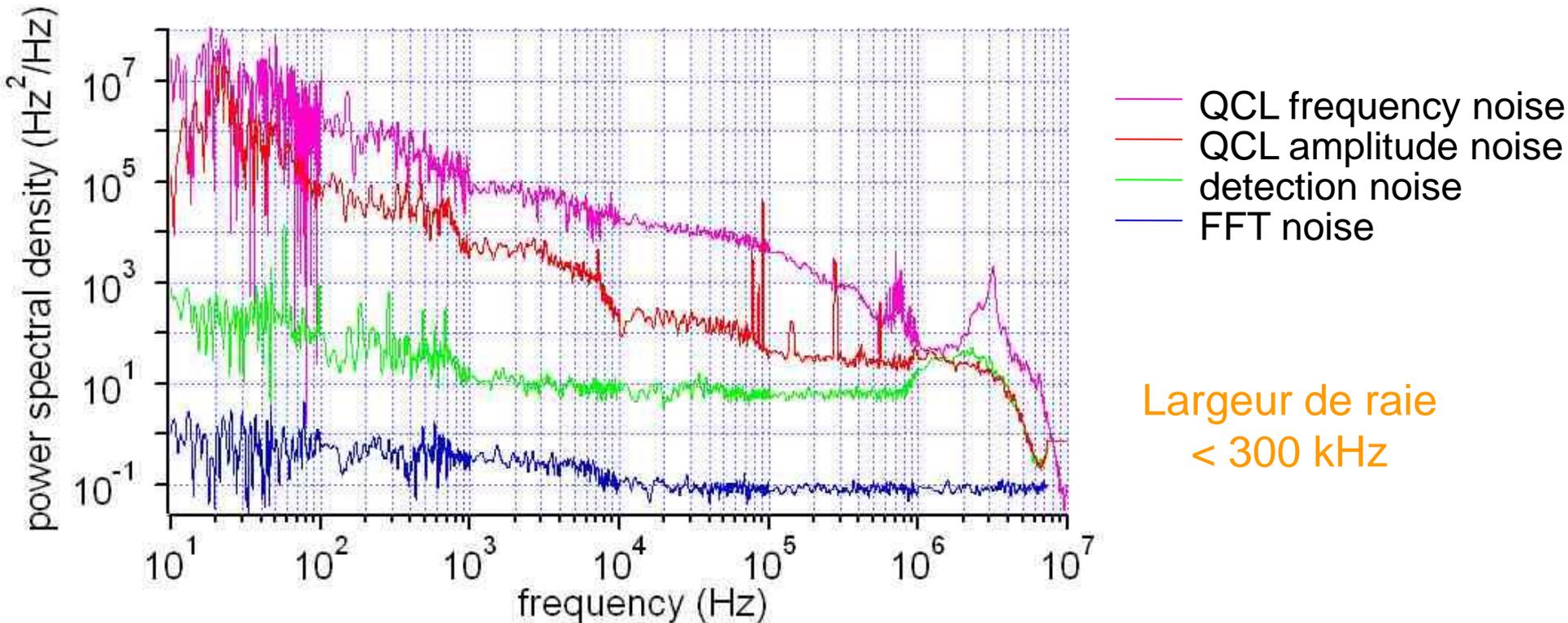
- Au LPL, stabilisation en fréquence de lasers IR pour la spectroscopie moléculaire à ultra-haute résolution

Développement d'un spectromètre IR ultrastable



- Stabilisation active avec un peigne de fréquences
 - Transfert de la stabilité et de l'exactitude de la référence de fréquence transférée par lien optique
 - Large fenêtre spectrale accessible avec un unique dispositif
 - La stabilisation sur résonance Fabry-Perot ou sur raie moléculaire devient obsolète!

Spectromètre large bande à base de lasers à cascade quantique



- Première étude d'une QCL à $\sim 10 \mu\text{m}$ à ce niveau de sensibilité
- Stabilité passive 10 x supérieure à l'état de l'art à $\sim 4.5 \mu\text{m}$
- Futur : stabilisation de fréquence avec le peigne

Contacts équipe MMTF



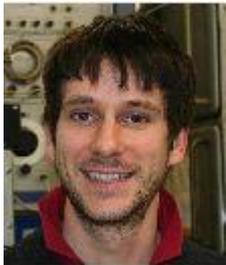
Anne Amy-Klein



Christian Chardonnet



Olivier Lopez



Benoît Darquié



Christophe Daussy



Frédéric Du Burck



Vincent Roncin

Collaboration avec G. Santarelli, P.-E. Pottie et Y. Le Coq,
LNE-SYRTE, Observatoire de Paris